

Efectos de la radiación solar y ultravioleta tipo C sobre las propiedades mecánicas de la seda de captura de *Nephila clavipes* (Linnaeus, 1767)

J. P. Cardozo-De La Hoz¹, S. Viveros Zapata¹ & A. Arenas Clavijo¹

¹Programa de Biología, Departamento de Ciencias Naturales y Matemáticas, Facultad de Ingeniería y Ciencias, Pontificia Universidad Javeriana Cali

Resumen

La luz ultravioleta (UV) ocupa un espectro de longitudes de onda más corto del que pueden ver los seres humanos. Este tipo de luz es altamente energética y puede ocasionar daños en compuestos biológicos, como lo es la seda de araña. Entre los estudios que tratan la interacción entre la seda y los rayos UV, el género *Nephila* ha sido objeto de estudio por las propiedades inherentes a sus telarañas, mismas que presentan una alta resistencia a la radiación solar y UV. El presente estudio evaluó si la elongación pre ruptura de la seda de captura de *Nephila clavipes* se ve reducida por la exposición a luz solar y UVC para conocer cómo los efectos del cambio climático y subsecuente degradación de la capa de ozono pueden afectar su ecología. Se observó que la exposición de la seda a los rayos UVC no afecta significativamente su elongación máxima, sugiriendo posibles adaptaciones que promueven la resistencia y durabilidad de las telarañas de la especie. Además, es posible que factores externos no tenidos en cuenta influyen en el efecto de la irradiación de las telas.

Introducción

La luz ultravioleta (UV) abarca un espectro de longitudes de onda que puede afectar materiales biológicos. La radiación UVC es la más energética y puede degradar proteínas y ácidos nucleicos. La seda de arañas del género *Nephila*, especialmente *Nephila clavipes*, ha sido estudiada por su resistencia a la radiación UV y su importancia ecológica. Esta investigación evaluó si la exposición a la luz solar y UVC afecta la elongación pre-ruptura de la seda de captura de *N. clavipes*, permitiendo entender los posibles impactos del cambio climático en su ecología. Se hipotetizó que la exposición reduciría la elongación de la seda, afectando su capacidad para capturar presas. Dado el papel fundamental de la seda en la supervivencia de estas arañas, su estudio permite comprender cómo estos cambios ambientales pueden alterar sus interacciones ecológicas y su éxito en la captura de presas.

Estudios previos han demostrado que las arañas del género *Nephila* han desarrollado adaptaciones estructurales y químicas en su seda para resistir condiciones ambientales adversas. La seda de estas arañas se destaca por su alta resistencia mecánica y elasticidad, propiedades que le permiten soportar tensiones considerables sin romperse. Esto la convierte en un material de interés tanto en el campo de la biología como en el de la ingeniería de biomateriales. Comprender cómo la exposición a la luz UV afecta estas propiedades puede proporcionar información valiosa sobre la evolución adaptativa de estas especies y su potencial aplicación en la fabricación de materiales sintéticos avanzados.

Metodología

El estudio se realizó en la finca Miramonte, Palmira, Valle del Cauca (Figura 1). Se recolectaron 10 hembras adultas de *N. clavipes* y se alojaron en contenedores diseñados para facilitar la construcción de telarañas adaptados del diseño de Wolff et al. (2018) (Figura 2). La alimentación se basó en *Musca domestica*, *Sarcophaga carnaria* y *Blatina vexans*, seleccionadas por su disponibilidad y valor nutricional. Para evaluar los efectos de la radiación, se expusieron muestras de seda a luz solar y UVC durante tres horas, adaptando los métodos de Osaki (2004), usando como control muestras protegidas de la luz en envoltorios de aluminio.

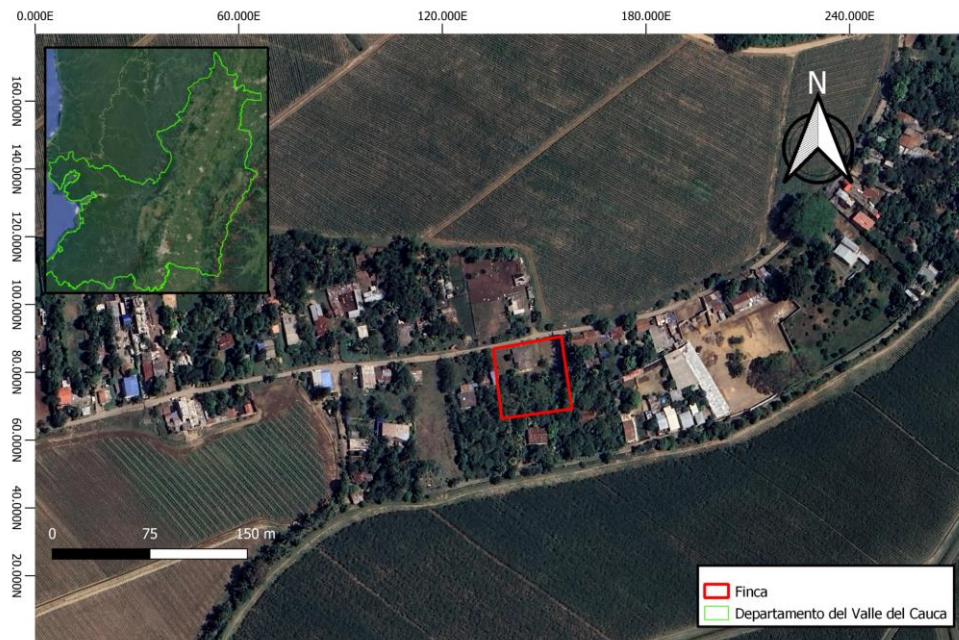


Figura 1. Mapa de la zona de estudio. En rojo se marca la finca Miramonte.

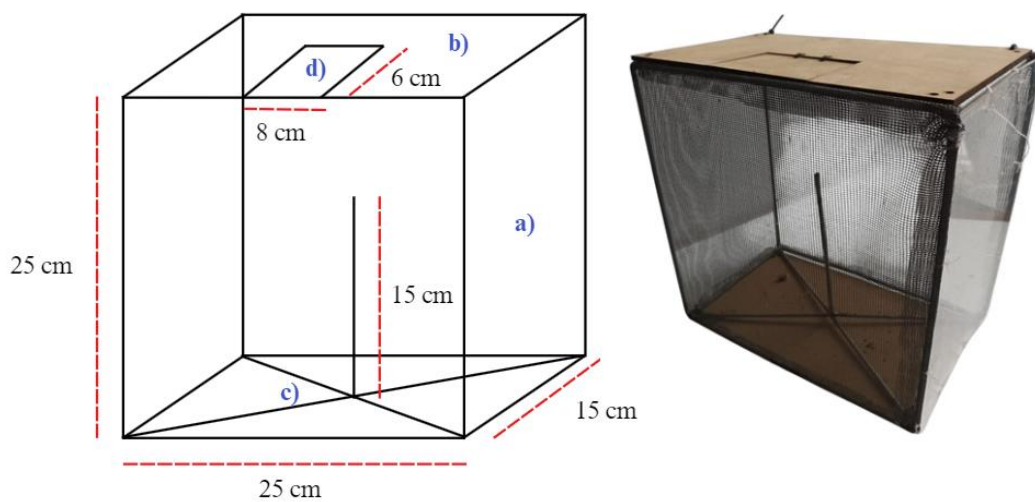


Figura 2. Contenedor de alojamiento. a) Lado de acrílico. b) Lado removible de madera para introducir un individuo de *N. clavipes*. c) Lado de madera. d) Compuerta de madera para ingresar alimento. Los contenedores fueron construidos en acero y los lados restantes forrados en malla de fibra de vidrio.

Para medir la resistencia de la seda, se utilizó una tensadora casera basada en un sistema de poleas controlado con Arduino (Figura 3). Este sistema permitió aplicar una tensión uniforme y progresiva sobre las muestras, midiendo el punto de ruptura con alta precisión. Se registraron los datos de elongación y se analizaron con ANOVA y pruebas de Tukey para determinar diferencias significativas entre tratamientos. Además, se realizaron pruebas piloto previas para garantizar la estabilidad del sistema de medición y la fiabilidad de los datos obtenidos.

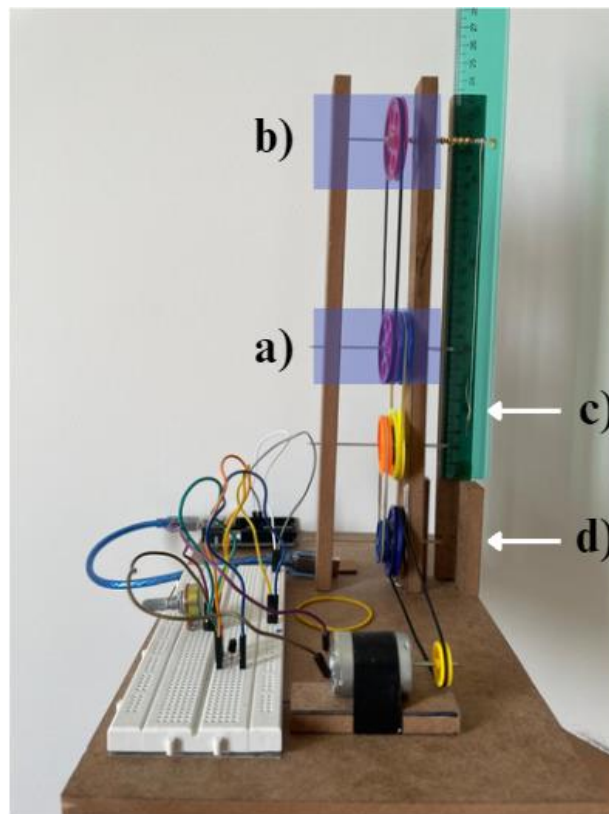


Figura 3. Tensadora casera (TC). Las poleas marcadas en a) y b) no disminuyeron RPM al ser todas del mismo radio, solo se usaron para brindar altura a la TC. c) Gancho para anclar las muestras. d) Pilar de madera para fijar las muestras en su extremo superior.

Resultados y Discusión

El análisis estadístico mostró que la exposición a la luz solar y UVC no afectó significativamente la elongación de la seda (Figura 4). Aunque se esperaba una disminución en su capacidad de estiramiento, las muestras expuestas a la luz UV mostraron incluso valores superiores a los del control en algunos casos. La seda de *N. clavipes* presentó una elongación que puede alcanzar hasta cinco veces su longitud original antes de la ruptura, lo que indica una notable flexibilidad y resistencia estructural.

Se identificó una alta variabilidad entre individuos, especialmente en aquellos en estado reproductivo, siendo estos el número 1 y 5 (Figura 5). Este hallazgo sugiere que factores

internos, como la edad o el estado fisiológico de las arañas, pueden influir en la calidad de la seda. La literatura sugiere que la estructura de las gotas glicoproteicas y la capacidad de absorción de los rayos UV por la seda pueden influir en estos resultados (Osaki & Osaki, 2010). Estudios previos como los de Kitagawa & Kitayama (1997) y Stellwagen, Opel & Clouse (2016) y Osaki & Osaki (2010) han demostrado que especies diurnas pueden desarrollar adaptaciones que refuerzan la resistencia mecánica de sus telarañas frente a la radiación UV, asegurando su funcionalidad en ambientes altamente iluminados.

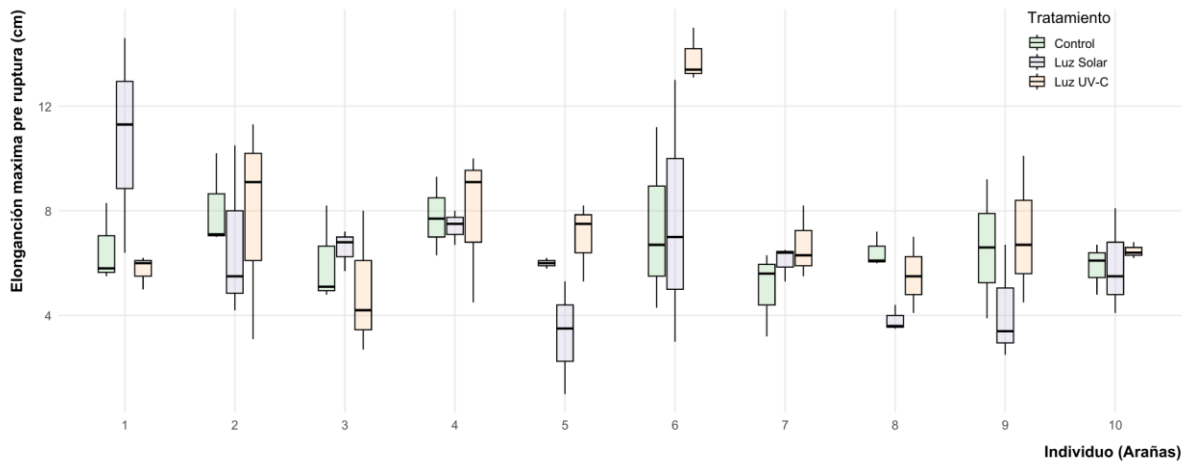


Figura 5. Gráfico de cajas y bigotes de los resultados de cada tratamiento para cada espécimen de *N. clavipes*.

Otro factor relevante es la posible capacidad de la seda para reorganizar sus componentes proteicos tras la exposición a la luz UV, lo que permitiría una resistencia prolongada y una mejor adaptación a entornos hostiles. En este sentido, estudios previos han demostrado que los rayos UV pueden inducir cambios estructurales en las proteínas de la seda, favoreciendo su entrecruzamiento y aumentando su durabilidad. Estas propiedades podrían tener aplicaciones en la ingeniería de biomateriales y en la producción de fibras sintéticas con resistencia mejorada a la degradación lumínica.

Además, se observó que la orientación de las fibras dentro de la seda juega un papel crucial en su resistencia mecánica. La disposición en espiral de las proteínas contribuye a la capacidad de la seda para absorber impactos y resistir tensiones elevadas. En comparación con otros materiales biológicos, la seda de *N. clavipes* muestra un comportamiento elástico que le permite recuperar su forma original tras ser estirada, lo que es crucial para la funcionalidad de las telarañas en la captura de presas.

Conclusiones

Los resultados indican que la radiación solar y UVC no reducen significativamente la elongación de la seda de *N. clavipes*, lo que sugiere adaptaciones para resistir la exposición a la luz. La seda puede extenderse hasta cinco veces su longitud original antes de la ruptura, lo que resalta su flexibilidad y resistencia. Este hallazgo es relevante no sólo para comprender la biología de la especie, sino también para futuras investigaciones en biomateriales de alta resistencia.

Se identificaron posibles mejoras metodológicas para futuras investigaciones, como el uso de herramientas de medición más precisas y la extensión del tiempo de exposición a la

radiación. También se recomienda mejorar el diseño de los contenedores, asegurando condiciones óptimas para la producción de seda, y establecer fuentes de alimento controladas para evitar interrupciones en el estudio.

Además, el análisis de la composición química de la seda podría proporcionar información sobre los mecanismos moleculares que permiten su resistencia a la radiación UV. En particular, el estudio de las proteínas estructurales involucradas en la formación de la seda podría abrir nuevas oportunidades en el desarrollo de materiales bioinspirados con aplicaciones en la industria textil, la medicina y la ingeniería aeroespacial.

Finalmente, este trabajo contribuye al conocimiento sobre la biología de la seda de arañas y sus posibles aplicaciones en materiales resistentes a la radiación UV. La posibilidad de desarrollar fibras artificiales inspiradas en la seda de *N. clavipes* podría abrir nuevas oportunidades en la industria textil y en la fabricación de materiales biocompatibles con alta resistencia estructural y flexibilidad. Futuras investigaciones podrían explorar los efectos de exposiciones prolongadas a la radiación y analizar la composición química detallada de la seda para optimizar su producción y aplicación en diversas industrias. El desarrollo de tecnologías basadas en seda de araña podría revolucionar la manufactura de biomateriales avanzados con aplicaciones en la fabricación de tejidos ultra resistentes, dispositivos médicos y estructuras livianas de alto desempeño.

Referencias

Osaki, S. (2004). Ultraviolet Rays Mechanically Strengthen Spider's Silks. *Polymer Journal*, 36(8), 657–660. doi:10.1295/polymj.36.657

Osaki, S., & Osaki, M. (2010). Evolution of spiders from nocturnal to diurnal gave spider silks mechanical resistance against UV irradiation. *Polymer Journal*, 43(2), 200–204. doi:10.1038/pj.2010.119

Stellwagen, S. D., Opell, B. D., & Clouse, M. E. (2016). The impact of UVA on the glycoprotein glue of orb-weaving spider capture thread from a diurnal and a nocturnal species (Araneae: Araneidae). *Journal of Arachnology*, 44, 401–404. doi:10.1636/m15-78.1

Wolff, J. O., Jones, B., & Herberstein, M. E. (2018). Plastic material investment in load-bearing silk attachments in spiders. *Zoology*. doi:10.1016/j.zool.2018.05.002