

Helechos iridiscentes y su extraña conducta

Moran, R. C. *

Traducción por Diana Silva Puente y Leticia Pacheco

Después de llegar a un remoto bosque lluvioso en Panamá, en Febrero de 1988, lo primero que observé fue que *Trichomanes elegans*, era una especie terrestre de himenofilacea (Fig. 1). La planta crece en un bosquecillo obscuro y es conspicua por sus hojas brillantes de color verde-azul metálico. La planta se ve igual que un helecho de plástico que yo ocasionalmente vi en cementerios, restaurantes baratos y pantallas florales al aire libre debido a su color intenso y sus hojas gruesas y brillantes. Por un momento pensé que era un helecho de plástico que fue puesto ahí por algún bromista como un juego para probar mi astucia. Al rozar las hojas entre mis dedos pensé esto es real, estoy seguro. Pero el color verde-azul metálico aún me pareció gracioso. Yo revisé la hojas desde diferentes ángulos, el color se reflejaba sobre la superficie; pero cuando vi casi en el borde, el color desapareció y la hoja asumió el verde normal de la clorofila. Puede cualquiera creer este color?. Decidí fotografiar la planta, pero no llevaba cargada mi cámara con una película de alta velocidad para fotografiar en la sombra profunda del suelo del bosque. Me dirigí hacia la planta, la enfoqué y “empuje” el botón mediador de luz. La aguja media se zambulló en cero. Esto es demasiado oscuro. La fotografía puede esperar para otra planta en un lugar más luminoso.

Después de regresar a los Estados Unidos, aprendí que este encuentro con *Trichomanes elegans* era el primero que tenía con un helecho iridiscente. Únicamente un puñado de las especies de helechos son iridiscentes, y todas ellas son tropicales (tabla 1). Estas lucen colores metálicos igual que *Trichomanes*, pero algunas son azul-cielo en vez de verde-azul. Entonces me pregunte: ¿Qué extraña alquimia produce la iridiscencia, y como beneficia a las plantas?, ¿ocurre en todas? un paseo a la biblioteca me reveló, sin asombro, que para responder a mis preguntas, tenía que hacer una búsqueda por varios botánicos.



Figura 1. *Trichomanes elegans*, un helecho himenofilaceo iridiscente.

El primer botánico que investigó la iridiscencia fue Ernst Stahl, un morfológico alemán que trabajó en Bogor, Java. El examinó una especie de selaginela iridiscente, *Selaginella willdenowii*, y en 1986 publicó su reporte en el cual especula que la iridiscencia es causada por gránulos de un pigmento reflectivo embebido en la cutícula - la delgada capa de grasa o cera que cubre la pared externa de la epidermis de la planta.

No se habían hecho más investigaciones en iridiscencia sino hasta 1971, cuando Denis Fox y James Wells, investigadores del Instituto Cranbrook de Ciencias en Michigan, ellos reexaminaron la misma especie de selaginela estudiada por Stahl, lo que observaron fue que cuando las hojas de las plantas se mojaban con agua o alcohol o cuando se marchitaban, la iridiscencia desaparecía. A la inversa, cuando se mojan hojas secas, o cuando hojas marchitas recobran su turgencia, la iridiscencia reaparece. Fox y Wells concluyeron de estas observaciones que la iridiscencia debe ser causada por un efecto óptico en lugar de un pigmento.

*1995. Iridescent ferns and their shady behavior. Fiddlehead forum 22(1): 2-4, 8

El siguiente adelanto viene a mediados de los 70s con David Lee; el trabajo fue presentado en la Universidad Internacional de Florida y es uno de los líderes en como interactúan las hojas con la luz. El señaló que las hojas de *Selaginella willdenowii* no contienen pigmentos iridiscentes que son extraídos con solventes orgánicos, y que dichos pigmentos nunca han sido encontrados en ninguna planta o animal. Además, estudios con un microscopio de luz no revelan gránulos de pigmentos embebidos en la cutícula de *S. willdenowii* como fue postulado por Stahl. Estas observaciones, junto con las de Fox y Wells, descubrieron efectivamente la tapa del ataúd de la hipótesis del pigmento.

Pero, ¿cómo sugerir la evidencia de que son producidos los colores? Lee señaló que el funcionamiento del color puede ser explicado por un efecto óptico llamado “interferencia de la película fina”. Este efecto ocurre cuando una o dos substancias con diferentes cualidades de refracción de luz (tales como agua y aire) están formando una capa o película. La capa fina refleja más de algunos colores de la luz y menos de otros; en otras palabras, algunos colores son más altamente reflejados y otros más altamente transmitidos. Aunque las bases físicas de la interferencia de la capa fina deben ser primariamente conocidas, solo a unos pocos del mundo de la ciencia le son familiares cada uno de los efectos de la capa fina. Esto causa que se vean los colores del arco iris en agua turbia cubierta con una película de aceite. Esto también produce que los colores se vean en el revestimiento de lentes de cámaras y binoculares, de la misma manera que se ven los colores metálicos en las alas de mariposas y escarabajos.

Lee sospechó que en las hojas de *Selaginella willdenowii* la iridiscencia es causada por la presencia de una capa fina en la epidermis superior. La capa debe reflejar más luz azul y transmitir más roja. Por ello, la hoja parece azul, porque ese color es más altamente reflejado. Sin embargo, Lee solo predijo la existencia de la capa delgada, él en realidad no lo había visto en plantas. Naturalmente su siguiente paso fue buscar la capa fina esperada.

En 1978, Lee empezó su búsqueda con Charles Hébant, de la Universidad de Montpellier, Francia. Ellos empezaron por calcular matemáticamente el espesor exacto de la capa fina necesario para reflejar la luz azul en la pared celular de las plantas. El espesor llega a ser de 71 a 80 nanómetros (un nanómetro es solo un billón de un milímetro). Después ellos hicieron trazos extremadamente delgados en secciones de hojas de dos especies de *Selaginella*, *Selaginella willdenowii* y *S. uncinata*, y examinaron las secciones con un microscopio electrónico de transmi-

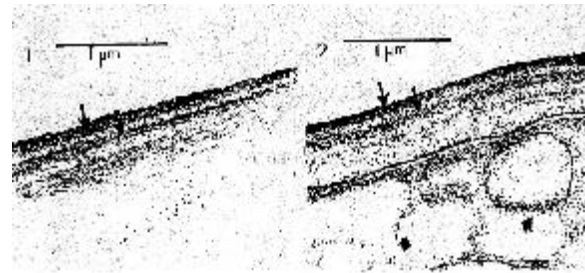


Figura 2. La capa delgada (las líneas negras indicadas por las flechas) vistas en corte transversal de la pared celular externa de la epidermis superior de *Selaginella willdenowii* (izq.) y *S. uncinata* (derecha). Fotografías tomadas con un microscopio de transmisión de electrones. (Hébant y Lee, 1984).

sión. En la pared celular externa de la epidermis superior, ellos no hallaron una sino dos capas delgadas (Fig. 2), paralelas una con otra en un arreglo conocido que intensifica colores iridiscentes en animales e insectos. Fue igualmente importante donde no había capas delgadas: a saber, en la pared celular externa de la epidermis inferior, la cual no es iridiscente, y en las hojas verdes (sin iridiscencia) de selaginelas normalmente iridiscentes (tal color verde, de hojas sin iridiscencia ocurre cuando plantas normalmente iridiscentes crecen completamente en la luz). Estos hallazgos asocian claramente la iridiscencia con la capa delgada.

Además, de selaginelas, la capa delgada también se ha encontrado en helechos. Así, aunque solo tres especies de helechos se han estudiado, la capa fina siempre está presente. Los helechos que se han estudiado son: *Danaea nodosa*, que pertenece a la familia primitiva Marattiaceae; *Teratophyllum rotundifoliatum* que pertenece a la familia altamente derivada Lomariopsidaceae; y *Trichomanes elegans*, una de las especies de helechos diafanos (Hymenophyllaceae) que por primera vez observé en Panamá.

La capa fina de estos tres helechos no es semejante. En *Danaea* y *Teratophyllum*, ésta se localiza en la pared celular externa de la epidermis superior y está orientada paralelamente una con otra como en las selaginelas. Pero el número de capas es de 18 a 30 en vez de 2 como en selaginelas. En *Trichomanes* es completamente diferente: esta capa fina está localizada en los cloroplastos dentro de las células de la epidermis superior. Los cloroplastos contienen cuerpos oscuros llamados grana llenos de capa fina de espesor exacto para reflejar la luz azul. Estas plantas no son afectadas al mojarse, porque la capa fina está dentro de las células en vez de estar en la pared celular externa. Por ello, las hojas de *T. ele-*

gans no pierden su iridiscencia cuando se mojan. (La humedad produce cambios en el índice de refracción de la capa fina, causando que pierda su refracción del azul.)

Aunque los helechos iridiscentes y las selaginelas difieren en detalles de su capa delgada, también tienen cosas en común: todas, excepto *Anemia markinii* crecen en obscuridad profunda. Esto sugiere que la iridiscencia es una adaptación de las plantas a medios ambientes oscuros. Al evaluar esta idea, es necesario examinar que plantas son superiores contra la tenebrosa penumbra del suelo del bosque.

En el suelo del bosque, una planta no vive en el paraíso. Los niveles de luz ahí son típicamente bajos comparados con el porcentaje completo de luz del sol que llega al bosque, la obscuridad severa es una limitante para la fotosíntesis de muchas plantas. En la Estación Biológica la Selva en Costa Rica, David Lee encontró que el porcentaje promedio de luz que llega a un sitio del suelo del bosque donde crece *Trichomanes elegans* es solamente 0.25 solamente la mitad del problema. La calidad de la luz —la suma de diferentes colores que componen la luz— es además pobre. La luz roja es particularmente escasa porque la mayoría de ella ha sido absorbida por la vegetación de arriba. Al reducir la luz roja, las plantas languidecen, porque el rojo es el color más eficientemente usado en la fotosíntesis. Por ello, bajo el punto de vista de las plantas, el suelo del bosque es un sitio que dificulta la vida, porque no solo es oscuro sino también deficiente en luz roja.

Bajo estas condiciones de estrés ¿cómo beneficia la iridiscencia a las plantas? La iridiscencia permite más paso de luz roja a través de la pared celular epidérmica a los cloroplastos sitio donde se lleva a cabo la fotosíntesis. Con esto se refleja más luz azul de lo normal —tal luz es menos eficiente en la fotosíntesis. Esto incrementa la transmisión de luz roja aumentando la fotosíntesis y el crecimiento mejora por ello. El principal beneficio de la iridiscencia a las plantas— el incremento de transmisión de luz roja— es algo que los humanos no vemos. ¿Qué vemos? —la iridiscencia— es meramente un bello producto.

Al lado de la capa fina, los helechos iridiscentes tienen otras adaptaciones para vivir en el suelo del bosque. Los cloroplastos en su epidermis superior son más grandes y menos por célula. Las demás plantas tienen de 20 a 200 cloroplastos por célula y estos solo miden de 4 a 6 micrómetros de diámetro. Pero los helechos iridiscentes y la selaginela tienen de 1 a 12 por célula y estos miden de 10 a 27

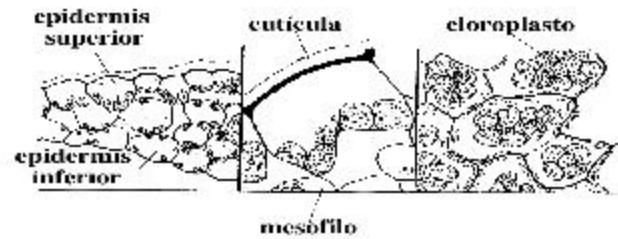


Figura 3. Cortes transversales de la hoja de *Teratophyllum rotundifoliatum* que muestran la localización de los cloroplastos en la superficie interna de las células de la epidermis superior. La luz está enfocada en los cloroplastos por un lente formado en las células de la pared externa. A la izquierda y en medio se muestran cortes transversales; a la derecha se muestra una sección paradormal - - corte casi en el mismo plano de la superficie de la hoja. (Nasrulhaq-Boyce y J. G. Duckett, 1991).

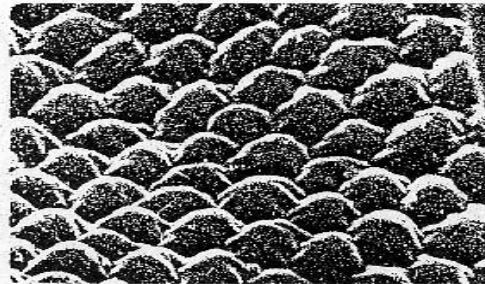


Figura 4. Curvatura convexa de las células de la epidermis superior de *S. wildenowii*. Fotografía digitalizada de un microscopio electrónico. (Héban y Lee, 1984).

micrómetros de diámetro. Menos cloroplastos capturan la luz a lo largo de una capa casi continua (Fig. 3, derecha).

La habilidad de las plantas para capturar luz se incrementa más por la forma de la pared celular externa de la epidermis superior. En selaginela y *Teratophyllum*, las paredes tienen una curvatura semejante a la de los lentes. Cuando vemos por debajo de un aumento concentrado, la forma tiene la apariencia de ser un material empaquetado en una burbuja de plástico. Al igual que en los lentes, la luz es enfocada en los cloroplastos localizados en el interior de la célula (Fig. 3). Estos cloroplastos se orientan paralelamente en la superficie de la hoja conformando una gran área de superficie que captura la luz que encuentran.

Estas adaptaciones para capturar la luz de los helechos iridiscentes y la selaginela es remarcable. Esto puede compararse con la cámara que usé para fotografiar a *Trichomanes elegans* en Panamá.

Tabla 1. Helechos y selaginelas iridiscentes

Helechos	Distribución
<i>Anemia makrinii</i> Maxon	México.
<i>Athyrium cordifolium</i> (Blume) Copeland	SE de Asia e Indonesia.
<i>Danaea nodosa</i> (L.) J. E. Sm	Trópicos de América.
<i>Danaea ulei</i> H. Christ (solo las hojas juveniles)	Amazonas.
<i>Didymochlaena truncatula</i> (Sw.) J. Sm.	Trópicos del mundo, pero se cita como iridiscente solo en Malasia.
<i>Diplazium cordifolium</i> Blume. (solo las hojas juveniles)	Brunei Darussalam.
<i>Diplazium pinnatifidum</i> Kunze	Oeste de Amazonia.
<i>Diplazium palmense</i> Rosenstock	Costa Rica y Panamá.
<i>Diplazium porphyrorachis</i> (Backer) Diels (solo hojas juveniles).	Brunei Darussalam.
<i>Elaphoglossum</i> sp.	Ecuador.
<i>Lindsaea lucida</i> Blume	Sureste de Asia.
<i>Lindsaea scandens</i> Hook. var. <i>terrestris</i> Holttum	Península de Malayo, Borneo, Sumatra.
<i>Mesophlebion falcatilobum</i> Holttum	Brunei Darussalam.
<i>Polystichopsis hanifii</i> (Holttum) Holttum	Oeste de Malasia.
<i>Teratophyllum rotundifoliatum</i> (Bonap) Holt.	Malasia.
<i>Trichomanes elegans</i> Rich	Trópicos de América.
Selaginellas	Distribución
<i>Selaginella willdenowii</i> (Desv.) Parker	SE de Asia e Indonesia.
<i>Selaginella uncinata</i> Spring	China.

La capa fina en la epidermis superior de las plantas actúa igual a la capa de los lentes de las cámaras, reflejan más de algunos colores y menos de otros. La pared celular exterior convexa corresponde a los lentes de la cámara, enfocar la luz hacia el interior de la célula, o el cuerpo trasero de la cámara. Y en los cloroplastos en el sitio focal posterior, igual que en las películas de las cámaras, se absorbe la luz que penetra.

Seguro que esta analogía no puede conducirnos muy lejos. Los helechos iridiscentes y selaginelas pueden trabajar muy bien en el suelo oscuro del bosque —mi cámara no.

Bibliografía

1. Fox, D. L. and J. R. Wells 1971. Schemochromic blue leaf-surfaces of *Selaginella*. American Fern Journal 61: 137-139.
2. Graham, R., D. W. Lee, and K. Norstog 1993. Physical and ultrastructural basis of blue leaf iridescence in two neotropical ferns. American Journal of Botany 80: 198-203.
3. Hébant, C. and D. W. Lee 1984. Ultrastructural basis and developmental control of blue iridescence in *Selaginella* leaves. American Journal of Botany 71: 216-219.
4. Lee, D. W. 1977. On iridescent plants. Gardens' Bullentin. Straits settlements. Singapore. 30: 21-31.
5. Lee, D. W. 1986. Unusual strategies of light absorption in rain-forest herbs. pp. 105-131. In: T. J. Givinish, On the Economy of Plant Form and Function. Cambridge, New York.
6. Lee, D. W. and J. B. Lowry 1975. Physical basis and ecological significance of iridescence in blue plants. Nature 254: 50-51.
7. Nasrulhaq-Boyce, A. and J. G. Duckett 1991. Dimorphic epidermal cell chloroplasts in the mesophyll-less leaves of an extreme-shade tropical fern, *Teratophyllum rotundifoliatum* (R. Bonap.) Holtt.: a light and electron microscope study. New Phytologist 119: 433-444.
8. Wylie, R. 1948. The dominant role of the epidermis in the leaves of *Adiantum*. American Journal of Botany 35: 465-473.

Los traductores agradecen al Sr. Jorge Lodigiani la digitalización de las figuras del texto.