

RICARDO DÍAZ-DELGADO, JAVIER BUSTAMANTE  
Y DAVID ARAGONÉS

## Caso 5. La teledetección como herramienta en la cartografía de especies invasoras: *Azolla filiculoides* en Doñana

El helecho acuático *Azolla filiculoides* es una pequeña planta flotante originaria de América y naturalizada en amplias zonas de Europa templada. Su forma y fisiología de crecimiento limitan el acceso a la luz a la vegetación sumergida. *Azolla* tiende a agotar el fósforo, genera anoxia por debajo de los densos tapices que forma, y termina impidiendo el desarrollo de otra vegetación sumergida o flotante. Este helecho fue detectado por primera vez en la marisma de Doñana en el año 2000, y se ha encontrado de manera recurrente durante la época de

inundación ocupando, aparentemente, extensiones cada vez mayores. En Doñana invade áreas de marisma abierta (masas de agua libre), marisma cubierta por helófitos y macrófitos, lucios y caños. Es por tanto difícil de cartografiar mediante métodos convencionales dado que la marisma de Doñana, con una extensión de 25.000 ha es de difícil acceso cuando está inundada. El helecho crece y se extiende cuando comienza la inundación (a partir de enero) para acabar muriendo a lo largo del proceso de secado (meses de mayo a junio).

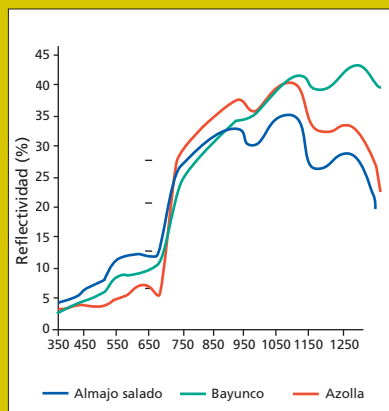


Figura 1. Respuesta espectral de la *Azolla filiculoides* en la región del visible e infrarrojo cercano del espectro (400-1300 nanómetros). Nótese los picos de absorción en la región del visible (azul y rojo) y la gran reflectividad en la región del Infrarrojo cercano (700-1100 nm).

Fuente: Díaz-Delgado, R.

La teledetección, entendida como el empleo de imágenes de la radiación emitida o reflejada por la superficie terrestre y que son capturadas mediante sensores remotos a bordo de aviones o satélites, se presenta como una de las mejores herramientas para la cartografía y el seguimiento de especies invasoras, sobre todo en el caso de especies vegetales. Las ventajas de la teledetección residen en su visión sinóptica del área de estudio (el sensor recoge en un instante información simultánea y continua de un área muy extensa), la información puede ser multi o hiperspectral (es decir recogida en muchas más longitudes de ondas de las que es sensible el ojo humano), los datos pueden ser multitemporales, y el coste es razonable para áreas extensas. Desde el punto de vista de la teledetección, la especie invasora puede dominar en el dosel, codominar con una especie autóctona o bien aparecer sobre determinadas especies o en el sotobosque. En el rango óptico del espectro los sensores de teledetección discriminan mejor la especie invasora cuando ésta se encuentra en el dosel, posee una firma espectral característica y distinta de la de otras especies, y especialmente cuando es dominante y contribuye mayoritariamente a la radiación total reflejada por la cubierta.

En la marisma del Espacio Natural de Doñana, el LAST (Laboratorio de SIG y Teledetección) de la Estación

Biológica de Doñana está trabajando en la cartografía de inundación durante los últimos 30 años mediante el empleo de una serie temporal de imágenes de los satélites Landsat. Además de la discriminación de cuerpos de agua y de los niveles de inundación, cada 16 días se cartografían otros parámetros característicos de estos humedales como son la profundidad, la turbidez y el recubrimiento de vegetación acuática. Es en este contexto donde se enmarcan las primeras pruebas de utilización de sensores de teledetección por parte del LAST para la cartografía del grado de invasión por *Azolla filiculoides*. El pico de actividad de esta especie, concentrado en la época de máxima inundación, hace pensar que es posible distinguirla por el incremento que supone de actividad fotosintética en las zonas inundadas. El helecho aparece en la marisma como cubierta dominante o como cobertura mixta por debajo de los helófitos, tales como la castañuela (*Scirpus maritimus*), el bayunco (*Scirpus litoralis*), el candilejo (*Juncus subulatus*) o el almajo salado (*Arthrocnemum macrostachyum*). En las zonas invadidas termina cubriendo totalmente la lámina de agua y por lo tanto modifica las características reflectivas de la superficie. El helecho tiene una firma espectral característica (figura 1), distinta de la de otras especies de



vegetación acuática, y por tanto es posible cartografiarlo incluso en situaciones en las que no es la especie dominante. Desde el ciclo 2003-2004 el LAST lleva a cabo campañas de adquisición de datos de verdad-terreno en la marisma registrando la presencia

y recubrimiento de *Azolla* en coincidencia con la adquisición de las imágenes por los sensores multispectrales TM, ETM+ a bordo de los satélites Landsat. En ellos las zonas con mucha *Azolla* aparecen como manchas altamente reflectivas en

Las marismas son muy vulnerables a las invasiones biológicas.

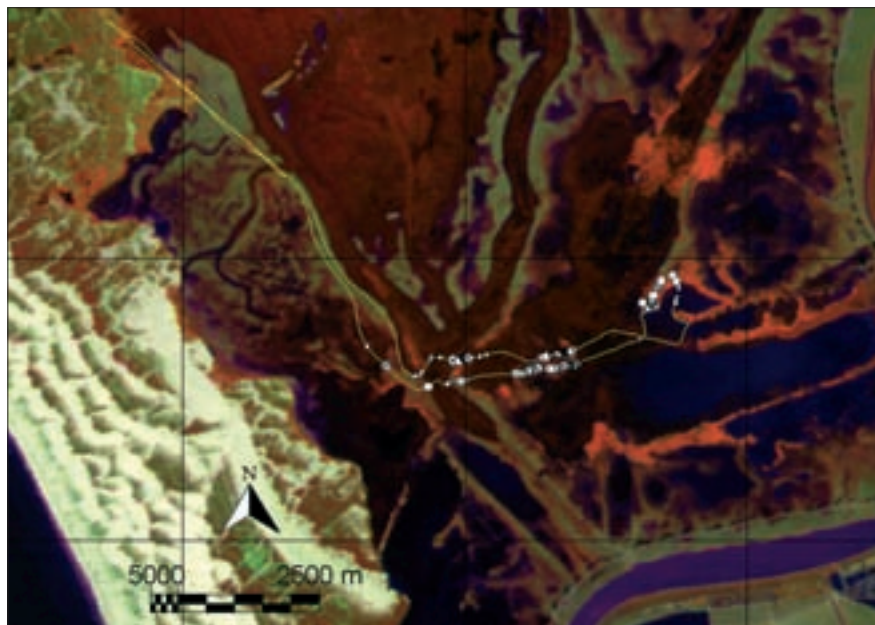
Fuente: Bascompte, J.



*Azolla filiculoides* en Sanlúcar.

Fuente: Dana, E.

el infrarrojo cercano (700-1100 nanómetros) lo que indica una elevada actividad fotosintética, muy superior a la de la vegetación nativa, en lugares inundados (figura 2). Durante el ciclo 2006-2007 y en el marco de un proyecto de la ESA hemos adquirido también imágenes de CHRIS-Proba, un sensor hiperspectral experimental, simultáneas con nuestros recorridos de campo. El sensor CHRIS tiene muchas más bandas que los sensores TM y ETM+ lo cual permite una mejor discriminación de *Azolla*. En Doñana, *Azolla* suele presentarse en las aguas libre en forma de masas rojizas relacionadas con su estado de estrés frente a la elevada insolación, esta característica le confiere una mayor detectabilidad en las imágenes hiperspectrales en la región del espectro entorno a 755 nm, Actualmente el LAST está realizando vuelos con los sensores hiperspectrales aeroportados Hawk y Eagle, dentro del proyecto Europeo



ALIENS, para determinar si se mejora la discriminación aumentando la resolución espacial o espectral. Sin duda, la teledetección es una herramienta muy útil para investigar qué factores a gran escala parecen estar asociados a la invasión de *Azolla*.

Figura 2. Imagen Landsat del 5 de mayo de 2007 en falso color (composición de bandas 4-5-3) de la marisma de Doñana con la ubicación de los puntos del transecto efectuado el mismo día. Las manchas densas de *Azolla filiculoides* se identifican en la imagen de forma conspicua con tonos rojizo-anaranjados y en el transecto por los puntos de mayor grosor con respecto a los de *Azolla* dispersa.

Fuente: Díaz-Delgado, R.

## Referencias

- Bustamante, J.; Pacios, F.; Díaz-Delgado, R. et al (2007). *Predictive models of turbidity and water depth in the Doñana marshes using Landsat TM and ETM+ images*. J Environ Manag (en prensa).
- García Murillo, P.; Sánchez-Gullón, E.; Cobo, MD et al (2004). "Plantas exóticas e invasoras en el Parque Nacional de Doñana". *Medio Ambiente* 46. [http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/contenidoExterno/Pub\\_revistama/revista\\_ma46/ma46\\_46.html](http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/contenidoExterno/Pub_revistama/revista_ma46/ma46_46.html).