

## Tesis doctoral

# **Cartografía de especies de matorral de la Reserva Biológica de Doñana mediante el sistema hiperespacial aeroportado INTA-AHS. Implicaciones en el estudio y seguimiento del matorral de Doñana**

**Autor:** M. Jiménez

**Directores:** A. Pou y R. Díaz-Delgado

**Lugar:** Área de Teledetección del INTA. Departamento de Ecología de la Universidad Autónoma de Madrid.

**Fecha:** Junio de 2011

---

En los ecosistemas terrestres el conocimiento de la distribución espacial de la cubierta vegetal está determinado habitualmente a nivel de comunidad. Ahora bien, la presencia y abundancia de las especies integrantes puede variar debido a los gradientes ambientales, a las perturbaciones, y a las cualidades y la tasa reproductora de las propias especies. En las últimas décadas se ha puesto de manifiesto la importancia que una cartografía de especie pueden tener en el seguimiento de las comunidades, y en la evaluación de las medidas de gestión implementadas en áreas naturales protegidas.

Los métodos convencionales para la elaboración de este tipo de cartografías pueden ser inviables sobre ecosistemas de difícil acceso, o suponer trabajos de campo prohibitivamente costosos en tiempo y dinero sobre áreas extensas. El desarrollo de imágenes de alta resolución espacial desde satélite, supuso un avance en el análisis y seguimiento de la biodiversidad sobre especies de gran porte en zonas de baja diversidad. Para zonas heterogéneas o de alta diversidad, como el matorral mediterráneo o bosques tropicales, las imágenes hiperespectrales de alta resolución espacial muestran una superior capacidad.

Un programa de seguimiento ecológico a largo plazo de la distribución espacial de es-

pecies vegetales mediante teledetección hiperespectral aeroportada, requiere de un protocolo que proporcione información periódica utilizando procedimientos repetibles y estandarizados, con los que poder detectar las zonas y la tasa de los cambios en composición de especies.

El objetivo principal de esta tesis es facilitar el uso de imágenes hiperespectrales aeroportadas para la elaboración de cartografías de especies vegetales, y que puedan formar parte de programas de seguimiento ecológico. Esta tesis se ha dividido en tres partes.

**Parte I.** En esta parte se ha determinado un procedimiento general para la realización de cartografías de especies mediante teledetección hiperespectral aeroportada. Se han recopilado las metodologías más recientes y estándares, que sirvan de referencia para la aplicación de cualquier sistema hiperespectral sobre todo tipo de formación vegetal.

Los aviones de «cota baja» que vuelan entre 300 y 5000 metros sobre el nivel del mar, son las plataformas más utilizadas. El formulario de requisitos de campaña publicado por EUFAR ayuda a concretar los aspectos más variables, como la resolución espacial y las trayectorias de las líneas de vuelo. Las imágenes son procesadas por el centro operador, gene-

rando un mosaico de reflectancia georreferenciada. El proceso geométrico se realiza mediante métodos paramétricos basados en sistemas inerciales de navegación. El proceso radiométrico está sustentado en una calibración radiométrica y espectral de laboratorio periódica y exhaustiva.

Los datos auxiliares son fundamentales para el proceso y análisis de las imágenes, en especial un modelo digital de terreno de alta resolución espacial. Este aspecto está cada vez más extendido y facilitado por la IDE de cada Comunidad Autónoma. También la toma de datos en campo como: la recolección del recubrimiento de especies en parcelas de campo, que permiten la validación de la cartografía generada; la elaboración de una librería espectral de las especies mediante espectro-radiometría de campo, que permite caracterizar la separabilidad espectral entre ellas. Estas firmas espectrales suponen además los «componentes puros» de entrada al algoritmo de desmezcla espectral.

El análisis lineal de mezcla espectral (ALME) es el algoritmo de desmezcla espectral más utilizado para la estimación de los elementos a nivel sub-píxel en imágenes hiperespectrales. Aunque la vegetación tiende a un comportamiento no-lineal en la integración de la señal que forma el píxel, los métodos lineales siguen siendo de mejor aplicación e interpretación a la hora de cuantificar las proporciones de cada especie dentro del píxel.

La comunidad científica demanda un uso más eficiente de los datos y productos geográficos. Las iniciativas INSPIRE, en el ámbito europeo, y la OGC, en el internacional, están promoviendo normativas sobre formatos y metadatos que aumentan la interoperabilidad de los datos geoespaciales. En la actualidad el estándar de metadatos al que se pueden adaptar las imágenes hiperespectrales es la ISO-19115-2; para las cartografías la norma es la ISO-19115; los datos de campo siguen el EML; las firmas espectrales, en cambio, no tienen un estándar a día de hoy.

**Parte II.** En esta parte se ha generado la cartografía de especies dominantes del matorral de la Reserva Biológica de Doñana utilizando el sistema hiperespectral aeroportado INTA-AHS.

En el ecosistema de las *Arenas Estabilizadas*, se desarrollan comunidades de matorral pirófito de especies esclerófilas, semie-esclerófilas y leguminosas, que han sustituido de manera mayoritaria al matorral «noble», formado por especies esclerófilas de gran porte como lentiscos (*Pistacia lentiscus*) y arrayan (*Myrtus communis*), y los bosques originales de alcornoque (*Quercus suber*) y sabinas (*Juniperus phoenicea ssp. turbinata*). La orografía dunar condiciona el acceso a los recursos hídricos subterráneos, y con ello la distribución de las distintas comunidades de matorral *Monte Blanco*, *Monte Intermedio* y *Monte Negro*. Otro factor condicionante es el diferente régimen de lluvias estacional, se alternan una época seca con ausencia total de precipitaciones entre mayo-septiembre, y una época lluviosa, con una media de 600 ml, entre octubre-abril.

El 28 septiembre de 2005 (época seca) y el 29 de abril de 2008 (época lluviosa) se realizaron campañas de vuelos sobre la Reserva Biológica de Doñana con el sistema hiperespectral aeroportado INTA-AHS. Se procesaron las imágenes formando, para ambas épocas, mosaicos a 6 m de tamaño de píxel sobre el ecosistema de las *Arenas Estabilizadas*.

El test de *T-Student* aplicado sobre las firmas espectrales tomadas con el espectro-radiómetro ASD FieldSpec3 en las dos épocas, muestra que las especies exhiben una mayor diferencia inter-específica en época seca ( $p < 0.05$ ). Algoritmos que evalúan la similitud espectral, como SAM y SSV, aplicados sobre las firmas de época seca muestran diferencias significativas a nivel de comunidad y de tipos de hojas. A nivel de especie, las diferencias son también significativas, salvo para el caso de las bajas diferencias encontradas entre las especies de leguminosas.

Para estimar la cobertura de las especies dominantes se ha aplicado el algoritmo de desmezcla espectral *Multiple Endmember Spectral Mixture Analysis* (MESMA). Es una extensión del ALME que permite introducir variaciones de un mismo «componente puro». El LAI es uno de los factores más determinantes en la respuesta espectral del matorral y se introdujeron firmas espectrales de los rangos de LAI encontrados. La comparación fren-

te al recubrimiento de campo muestra una relación fuertemente positiva para *E. scoparia* en ambas fechas, el  $R^2$  es de 0.852 en época seca ( $p < 0.05$ ) y de 0.635 época lluviosa ( $p < 0.05$ ). Para *H. halimifolium* y *R. officinalis*, la correlación es también muy positiva con un  $R^2$  de 0.76 y 0.66 ( $p < 0.05$ ) para la imagen de 2005 y de 0.5 y 0.43 ( $p < 0.05$ ) para la imagen 2008. En cambio, las especies *U. australis* y *S. genistoides* muestran un acuerdo muy pobre en ambas fechas, sus valores de  $R^2$  están por debajo de 0.3.

**Parte III.** En esta parte se ha mostrado el potencial para el estudio y seguimiento de la estructura y funcionamiento de las comunidades vegetales, que se tiene con la cartografía explícita de la distribución espacial de las especies vegetales generada a partir de la imagen hiperespectral aeroportada INTA-AHS.

La extracción directa de multitud de «perfiles» y «sub-escenas» con la presencia y abundancia de cada especie frente a las alturas del modelo digital del terreno, permite profundizar en el estudio de las relaciones de esta distribución y los procesos ecológicos. En las *Arenas Estabilizadas* se observa la presencia de especies del matorral en sitios donde potencialmente no las sitúa por las condiciones hídricas. Se observa detectan zonas de laxitud en

composición de especies entre comunidades frente al modelo de distribución de Muñoz Reinoso.

Se generaron cartografías de tipos funcionales y servicios utilizando caracteres y tipos funcionales publicados por Díaz Barradas et al 1999. El tipo más abundante y mayoritario es el que aglutina las especies semi-esclerófilas de mayor distribución como el jaguarzo y el romero. Ambas son especies que colonizan terreno de *Las Naves* y de *Manto Arrasado*.

A día de hoy, diferentes medidas de gestión sobre el territorio como: las repoblaciones de pino piñonero y eucaliptos, los desbroces llevados a cabo en el Plan del Manejo del Lince y las extracciones masivas del acuífero de Doñana, afectan a dichas formaciones originarias y al matorral actual. Se ve necesario realizar un seguimiento de sus poblaciones para la planificación de estrategias de conservación. Se ha definido un protocolo para el seguimiento de la distribución espacial de las especies dominantes del matorral de Doñana mediante el sistema INTA-AHS.

La motivación de esta tesis ha sido acercar el uso de la teledetección hiperespectral aeroportada a los organismos de investigación en ecología terrestre y a los gestores de espacios naturales protegidos.