

## Aproximación del AHS a la estimación de la diversidad biológica de las comunidades de matorral de la Reserva Biológica de Doñana.

Jiménez. M<sup>(1)</sup>, Díaz-Delgado. R<sup>(2)</sup>, Soriguer. R.C<sup>(2)</sup>, Fernández-Renau. A<sup>(1)</sup>, Prado. E<sup>(1)</sup>, Gutiérrez de la Cámara. O<sup>(1)</sup>.

<sup>(1)</sup> Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial. Carretera de Ajalvir Km 4. Torrejón de Ardoz. 28850.

<sup>(2)</sup> Estación Biológica de Doñana. CSIC. Avda. María Luisa s/n. Sevilla 41013.

### Resumen

La planificación de estrategias de conservación de flora en espacios naturales protegidos, requiere un conocimiento del patrón espacial de la riqueza y abundancia relativa de sus comunidades vegetales. Este trabajo realiza una valoración preliminar de las imágenes del sensor hiperspectral aeroportado AHS, para el estudio de la diversidad biológica de las comunidades de matorral que tapizan las arenas estabilizadas de la Reserva Biológica de Doñana. Se han comparado los valores de reflectancia y un análisis lineal de mezclas espectrales de las imágenes ortorectificadas de dos vuelos AHS, realizados en el año 2004, con datos de campo de algunas de las especies de matorral más representativas de este ecosistema: *Erica scoparia*, *Halimium halimifolium*, *Ulex australis* y *Rosmarinus officinalis*, que han consistido en; firmas de espectrorradiómetros de campo GER1500 y FieldSpec ASD y muestreos de abundancias relativas en parcelas dentro de la cobertura de la imagen.

### 1. Introducción.

La diversidad biológica es el resultado de la actuación conjunta de los procesos ecológicos y de perturbaciones en los ecosistemas [1]. El estudio de la estructura de las comunidades vegetales y su distribución espacial, puede ayudar a mejorar el conocimiento de los efectos que dichos procesos tienen sobre la flora. En el ecosistema de las arenas estabilizadas del Parque Nacional de Doñana, las comunidades de matorral forman junto con áreas de bosque ancestral y de repoblación una zona de monte y matorral mediterráneo. Estas comunidades requieren un seguimiento de sus poblaciones debido a que continúan sometidas a perturbaciones como: el descenso prolongado del nivel freático por extracciones del acuífero 21, y a la gestión de manejo de vegetación (ej aclareos) del Plan del Manejo del Lince [2].

La experimentación con sensores aeroportados ha favorecido los avances de las imágenes hiperspectrales en la cartografía de la diversidad biológica vegetal, reduciendo las dificultades que

plantea esta aplicación como; la escasa separabilidad de la respuesta espectral entre especies, o la alta variabilidad de estas respuestas para una misma especie en diferentes estados fenológicos. Este método de cartografía ha abordado con éxito trabajos en zonas de difícil acceso o de gran extensión, aplicados a tipos de vegetación como: marismas y bosques de coníferas, así como en matorral en zonas áridas [3] y matorral mediterráneo[4]



Figura 1: Índice de vegetación de la imagen AHS (21/09/2004) sobre Mapa de Usos del suelo de Andalucía 1:50.000.

Durante el año 2004, el INTA (Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial) realizó dos campañas de teledetección aérea hiperspectral con el sensor AHS sobre el Manto Eólico Litoral del Abalario-Doñana para el IGME (Instituto Geológico y Minero de España) [5]. De ambas campañas, se ha utilizado la pasada sobre la RBD (Reserva Biológica de Doñana), para estimar la idoneidad espacial, espectral y radiométrica de las imágenes AHS en la cartografía de la riqueza y abundancia relativa de las comunidades de matorral, comparándolas con datos de espectrorradiometría de campo y abundancias relativas tomados in-situ.

## 2. El paisaje de las arenas estabilizadas.

En la zona sur-oeste del Parque Nacional de Doñana se localiza la RBD, incluyendo en sus 6794 ha los tres ecosistemas más importantes del parque: marismas, dunas móviles y las arenas estabilizadas.

Las arenas estabilizadas, también llamadas “cotos”, ocupan la mayoría del territorio de la RBD, y proceden de sucesivos frentes de dunas que la vegetación ha ido estabilizando a lo largo del tiempo, formando la zona de transición entre la recarga y descarga del acuífero Almonte-Marisma. Su vegetación actual se compone de restos de sabinas (*Juniperus phoenicea subs turbinata*), pinares de repoblación (*Pinus pinea*), algunos pastizales en las zonas más deprimidas (corrales y navazos) y sobre todo de un mosaico de comunidades de matorral [6].

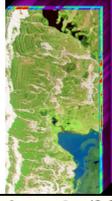
A escala del paisaje, la distribución de las comunidades de matorral viene determinada por la topografía dunar que han heredado estos “cotos”, que hace variar la distancia al nivel freático. Encontramos una mayor frecuencia y una mayor altitud media en la mitad occidental debido a su menor antigüedad y degradación. En el mosaico de comunidades, las zonas altas las domina el matorral esclerófilo o “monte blanco” llamado así por el aspecto blanquecino de las hojas de sus especies más abundantes; *Halimium halimifolium* y *Rosmarinus officinalis*. En las zonas más bajas, con mayor humedad edáfica se desarrollan mejor los brezales de *Erica scoparia* acompañados de *Ulex australis* y *Calluna vulgaris* constituyendo el “monte negro” por sus tonos “oscuros”. A escala local la presencia y abundancia de las especies más predominantes como: *Halimium halimifolium*, *Ulex australis* y *Erica scoparia*, genera una variabilidad gradual y continua, debido al aumento en el rango de soporte de la disponibilidad de agua de estas especies.[2]

## 3. Datos hiperespectrales AHS.

El espectrómetro de imagen AHS (Airborne Hyperspectral Scanner, *Imaging Group ArgonST*) es un sensor aeroportado tipo “line-scanner” que registra en 80 bandas (Tabla 1), dentro de las ventanas atmosféricas, desde el visible al infrarrojo térmico y divide la radiación incidente en 5 espectrómetros o “puertos” individuales.

Las campañas de vuelos con el sensor AHS se realizaron el 27 de abril y el 21 de septiembre de 2004, adquiriendo en esta última imágenes con la cámara multispectral AMDC (ver punto 4.1). Para ambas fechas se planificaron y registraron 6 líneas de vuelos de orientación NW-SE con un GIFOV de 6,5 m más dos repeticiones de 4,5 m.

Tabla 1: Características técnicas AHS

AHS Características Radiométricas	
FOV: 90° IFOV: 2,5 mrad GIFOV: 2 ÷ 6 m Digitalización: 12 bits 750 píxeles / línea Dos cuerpos negros para calibración canales térmicos.	
AHS config.espec / Región / n° canales/? ?	
Puerto 1 VIS+NIR / 442 -1019 nm / 20/30nm	
Puerto 2a SWIR / 1941 -1650 nm /1/ 200 nm	
Puerto 2 SWIR / 2091 -2488 nm / 42/13nm	
Puerto 3 MWIR / 3030 - 5410 nm /7/300nm	
Puerto 4 LWIR / 7950 -13170 nm /10/400nm	

### 3.1. Preparación de las imágenes

Se ha trabajado con las dos fechas de la pasada sobre la RBD a 4.5 m de GIFOV (figura 1), procesando únicamente los canales del VIS +NIR (tabla 1). Los niveles digitales originales se calibraron a valores de radiancia “en el sensor” mediante coeficientes de calibración obtenidos en el Servicio de Teledetección del INTA utilizando la “esfera integradora” USS 4000 (*Labsphere*) calibrada. La transformación a reflectancia “en el terreno” se ha realizado mediante el empleo, con ENVI, del “empirical line” utilizando firmas espectrales de superficies “brillantes” y “oscuras” tomadas en campañas de radiometría de campo coincidentes con cada vuelo (ver 4.2)

Para corregir las distorsiones introducidas en las imágenes AHS durante su adquisición, debido a los movimientos de la plataforma y del sensor, se ha abordado una corrección paramétrica utilizando el software de geocodificación directa PARGE (*ReSe*). La ortorrectificación de las imágenes mediante este método requiere datos de orientación externa medidos en el momento de adquisición, así como con un modelo digital del terreno de la zona de interés. Los datos de posición (X, Y, Z) y de alabeo, cabeceo y azimut han sido medidos por el sistema inercial POS/AV 410 de *Applanix* instalado a bordo de la plataforma aérea, y el MDT utilizado ha sido el remuestreo a 4m de la rasterización de la altimetría del IGN a escala 1:25.000

## 4. Datos de campo

Para esta aproximación ha sido imprescindible contar con datos de verdad terreno. Se ha contado con diversas fuentes de datos de campo incorporándolos todos a una base de datos georreferenciada en la misma proyección UTM 29 ED50 que las imágenes.

#### 4.1. Cámara multispectral AMDC

La AMDC (Airborne Multispectral Digital Camera) es una cámara digital matricial de 2024 x 2041 píxeles con un FOV de 35° y 5 bandas espectrales (3 en el visible, 1 infrarrojo y 1 pancromático). Durante la campaña de septiembre se obtuvieron "frames", cubriendo las pasadas AHS, de 1km x 1km con 1m de píxel, ortorrectificados mediante *OrthoEngine (PCI Geomatics)* utilizando los datos *Applanix* de la cámara durante el vuelo y el mismo modelo digital del terreno aplicado a las imágenes AHS. Las imágenes AMDC han servido para la selección y localización de zonas homogéneas de vegetación y parcelas de muestreos.

#### 4.2. Campañas de radiometría de campo

Para la calibración de las imágenes a reflectancia (punto 3.1) se tomaron firmas espectrales de superficies homogéneas, de agua y arena, a escala de los espectrorradiómetros utilizados y las imágenes. Para la imagen de abril se utilizó el *FieldSpec ASD* del CEDEX (Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas)[5].

También se tomaron firmas espectrales de especies de matorral en dos campañas de radiometría de campo con las siguientes características:

Tabla 2:Firmas espectrales de matorral

Fecha	Abril 04	Febrero 05
Equipo	INTA	Last EBD
Radiómetro	GER 1500	FieldSpec ASD
Firmas matorral	Monte negro, blanco y hojarasca	4 especies de matorral representativas
Método	0,5 m sobre dosel	0,25 m sobre ramas y hojas apiladas
Muestreo	3 plantas por especie y medias de 4 firmas	2 plantas por especie y medias de 3 firmas por planta

#### 4.3. Muestreos de campo

Se han realizado dos tipos de muestreos de campo:

A) Para el vuelo de primavera se muestrearon la abundancia y cobertura de las especies matorral presentes en 16 parcelas de 50 x 50 m estratificadas para recoger la mayor variabilidad de la RBD. Para cada una se realizaron 3 transectos de 30 x 1 m. Los límites de estas parcelas se georreferenciaron mediante GPS.

B) En sucesivas visitas a la zona de campo, apoyadas por cartografía e imágenes AMDC, se localizaron áreas homogéneas representando los tipos de vegetación: matorral esclerófilo, brezales, sabinars, pinares, pastizales y herbazales, como zonas monoespecíficas de algunas de las especies más representativas del matorral: *Erica.s*, *Halimium.h*, *Ulex.a* y *Rosmarinus.O*.

### 5. Metodología

El análisis de los datos se ha realizado con ENVI. Un primer paso ha consistido en comparar las firmas espectrales de campo de las especies de matorral, entre ellas y con firmas extraídas de las imágenes AHS de las zonas monoespecíficas apuntadas (figura 2). Posteriormente se ha aplicado un análisis lineal de mezclas espectrales a las imágenes, para cruzar la abundancia relativa estimada con los datos de los muestreos. Este análisis se ha aplicado sobre las zonas de presencia del matorral y para ello previamente se han clasificado las formaciones vegetales.

#### 5.1. Clasificación supervisada de formaciones vegetales y superficies naturales.

Sobre las pasadas AHS georreferenciadas se superpuso el vector de la unidad de arenas estabilizadas proveniente del Mapa Ecológico de Doñana[7], dentro se extrajeron áreas de entrenamiento de los tipos de superficies y de vegetación mediante las localizaciones de las campañas de campo: lámina de agua, arenas, sabinar, pinar, juncal, pastizal, matorral esclerófilo, brezal hidrófilo, brezal xerófilo, y última clase de "otros2" para formaciones vegetales de poca representación en superficie: alcornoque, chopos, etc.... Entre todas las clases la separabilidad ha sido superior a 1.9 (índice de Jeffries-Matusita), el criterio de clasificación empleado fue el de "máxima probabilidad" aplicándolo sobre los autovalores de *Minimum Noise Fraction* mayores que 5, reduciendo el volumen de datos a la mitad. Los píxeles ocupados por las tres clases de matorral se vectorizaron para formar el área de ocupación del matorral y aplicar sobre esta área el análisis de mezclas espectrales.

#### 5.2. Análisis lineal de mezclas espectrales

Se ha aplicado sobre la pasada de septiembre por ser final de época seca en Doñana y así evitar la influencia de las herbáceas anuales que cubren el suelo. El análisis de mezclas espectrales es muy dependiente del número y tipo de "miembros puros" que se utilizan para ejecutarlo, para este caso se han utilizado las firmas espectrales procesadas GER 1500

de las especies: *Erica scoparia*, *Halimium halimifolium*, *Ulex australis* y *Rosmarinus officinalis*, hojarasca o materia vegetal seca y arena, no introduciendo un “miembro puro” de sombra.

## 6. Resultados

Las especies de matorral de distintas comunidades *Erica scoparia* y *Cistus libanotis*, tienen entre ellas una alta separabilidad, en cambio las especies de “monte blanco” como *Halimium.h* y *Rosmarinus.o*, muestran muy baja separabilidad. Para *Erica.s* y *Halimium.h* se han superpuesto las firmas AHS extraídas y las de ambos espectrorradiómetros, conservando en todos los casos sus respectivas resoluciones espectrales. Esta comparación muestra un buen ajuste para el caso de la *Erica.s* y un mal ajuste con el *Halimium.h*.

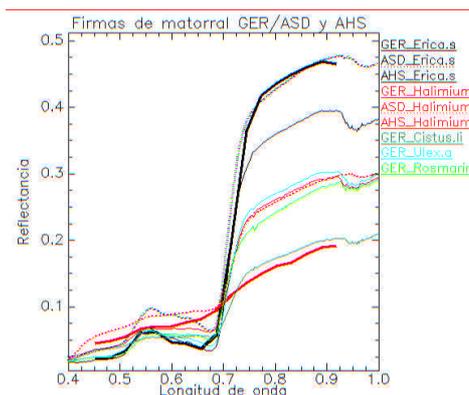


Figura 2: Comparación GER1500 y AHS (septiembre 2004) y ASD (febrero 2005)

La clasificación de formaciones vegetales obtenida se ha cruzado con localizaciones de verdad terreno obteniendo un coeficiente *Kappa* de 0.77.

Las abundancias estimadas de *Erica.s* y *Halimium.h* por el análisis de mezclas muestran un coeficiente de correlación de 0,43 ( $p < 0.05$ ) frente a las abundancias de estas especies muestreadas en 12 puntos a lo largo de la pasada.

## 7. Conclusiones

Las imágenes hiperespectrales AHS permiten distinguir las variaciones de abundancia de las especies de matorral consideradas, siendo mayor esta capacidad para “monte negro” que “monte blanco”, debido posiblemente a que las primeras forman cubiertas más homogéneas al ser el *Halimium.h* una

planta de arquitectura ahuecada y con ello muy dependiente de los ángulos de iluminación y de observación.

El muestreo espectral y radiométrico que efectúa el puerto1 del AHS (figura 2), es suficiente para explicar las variaciones en las respuestas espectrales de las especies de matorral y diferenciar entre especies de distintas comunidades. El empleo del SWIR e IR-térmico donde el AHS también registra imágenes permitirá aumentar su capacidad discriminativa para las especies de una misma comunidad.

La resolución espacial empleada muestra un equilibrio adecuado entre la discriminación de especies y la operatividad del volumen de datos, si bien un estudio comparativo entre las resoluciones posibles (Tabla1) se ve necesario.

## 8. Agradecimientos

Antonio Pou (Departamento de Ecología de la U.A.M.) por la dirección de la Tesis donde se engloba este trabajo, a Carmen Antón-Pacheco del IGME por la cesión de las imágenes, y a Christian Kiffner de la Universidad de Gottingen y Simón Fraser y Didier Fent de la Universidad de Munich por su ayuda en los trabajos de campo.

## 9. Referencias

- [1] Magurran A.E. Measuring biological diversity. Blackwell. 2003.
- [2] Parque Nacional de Doñana. Esfagnos. 2002.
- [3] Lewis, M. Spectral characterization of Australian arid zone plants. Can.J.Remote Sensing, vol 28, N°2, pp219-230, 2002
- [4] Roberts,D.A. Mapping chaparral in the Santa Monica mountains using multiple endmember. Remote Sens Env 65:267-279. 1998
- [5] Antón-Pacheco. C, et al. Contribución al estudio de los humedales del MEL a partir de imágenes AHS. En estos proceedings, 2005.
- [6] Muñoz-Reinoso, J.C., García Novo, F. Vegetation patterns on the stabilized sands of Doñana Biological Reserve.. Proceedings IAVS Symposium, pp. 162-165. 2000
- [7] Montes, C., Borja, F., Bravo, M.A. y Moreira, J.M. Reconocimiento Biofísico de Espacios Naturales Protegidos. Doñana: Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía. 1998.