

Uso de sensores hiperespectrales embarcados en RPAs como herramienta de caracterización de defensas químicas en masas forestales de *P. pinaster* Ait.



Juan del Barrio Markadia¹

María Duarte Navalón², Santiago Fernández Movilla², Álvaro García Mateos³, David Muñoz Morón²

1 Director del Grupo Igm-Zumain.

2 Departamento de Vehículos Aéreos No Tripulados (VANT). Zumain Ingenieros.

3 Responsable de I+D+i del Grupo Igm-Zumain.



CONAMA 2022

INTRODUCCIÓN

Los efectos adversos provocados por el **cambio climático** son un problema a nivel global, que afecta tanto a los ecosistemas naturales como a los sistemas socioeconómicos. Uno de los principales efectos es el **calentamiento global**, cuyas consecuencias provocarán el aumento de la periodicidad de las sequías y olas de calor, constituyéndose como uno de los desencadenantes de los procesos de decaimiento forestal de presente y futuro, llegando a observar en los casos más extremos eventos de **mortalidad masiva y pérdida de ecosistemas en algunos territorios**.

En la actualidad, necesitamos empezar a trabajar en una **herramienta de apoyo para la gestión forestal**, que permita la pronta detección de las plagas y enfermedades oportunistas y permita tomar medidas de prevención, contención y rectificación ante el inminente problema de salud forestal previsto por los expertos.

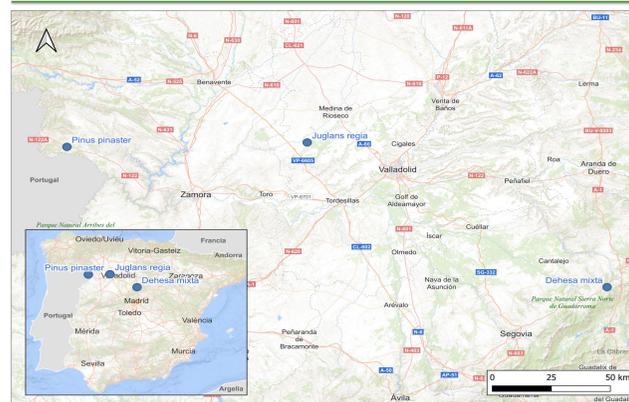
Por ello, los dos últimos años IGM ha invertido esfuerzos en estudiar el uso de la **tecnología hiperespectral aerotransportada mediante RPAs para la detección temprana de plagas**.

OBJETIVOS

Valorar la capacidad de la tecnología hiperespectral aérea como herramienta de para la **detección temprana de plagas**

Poner en valor el método testado como base para el desarrollo de una herramienta de apoyo en la **gestión forestal para sostenibilidad de los montes en un escenario de cambio climático actual y futuro**

LOCALIZACIÓN



METODOLOGÍA

1. Zonas de estudio

Plantación de nogal, Juglans regia, compuesta por variedades *Chandler* y *Howard* como productoras y *Fernette* como polinizadora. La parcela de estudio arrastra varios años de afección por un Oomiceto de género *Phytophthora* que entró durante una reposición de marras que contenía el agente infeccioso y se extendió por gran parte de la parcela

Masa de pino, Pinus pinaster, con síntomas de decaimiento por **agentes fúngicos**. Se estudian 3 localizaciones: la primera de ellas en el municipio de Alcorcillo, donde se identifica a la acción del hongo *Heterobasidion annosum* o *Armillaria mellea*, difíciles de distinguir a simple vista. La segunda con síntomas de decaimiento en el municipio de Sejas de Aliste donde se intuye la acción de un patógeno fúngico desconocido.

Dehesa mixta en Segovia, compuesta por sabina, *Juniperus thurifera*, roble, *Quercus pyrenaica* y fresno, *Fraxinus angustifolia*. La dehesa muestra síntomas de **decaimiento sin un motivo claramente definido**, además de la presencia de *Cerambyx*.

2. Trabajos de campo

Inventario visual donde se clasifica el estado de cada pie en 'bueno', 'regular' y 'malo'. En el caso del nogal, la clasificación se realizó del 0 al 4 según el grado de afección de *Phytophthora* identificado visualmente.

Muestras de raíz, madera y hoja para análisis en laboratorio. En nogal para identificar los pies realmente afectados y en las otras dos zonas orientados a determinar la presencia de cualquier otro patógeno perjudicial, especialmente de carácter fúngico.

Adicionalmente, en el área de Alcorcillo, se realizó un **segundo inventario** en el año 2022 junto con un vuelo óptico con el objetivo de registrar la evolución de la masa durante el tiempo transcurrido. Esta información se utilizó para entrenar el modelo clasificador.

Vuelos con RPAs y diferentes sensores, 1 en el pinar de Alcorcillo, 3 en la dehesa de Segovia y 3 sobre el nogal.



1. Selección de zonas y visita de campo



2. Campañas de campo vuelo y muestras



3. Procesado y extracción de características espectrales.

5. Selección del modelo de clasificación

4. Análisis y comparación de firmas espectrales

5. Selección del modelo de clasificación

Mediante combinaciones de los valores de reflectancia se generaron 53 índices espectrales de vegetación, conformando un total de **285 variables explicativas** sobre las que se realizó una selección empleando el algoritmo de decisión que determina si una variable aporta información relevante.

Con el 80% de la muestra se evaluaron un total de **10 algoritmos de clasificación**, escogiendo finalmente el más exitoso. El 20% de la muestra restante se emplea para la validación del algoritmo.

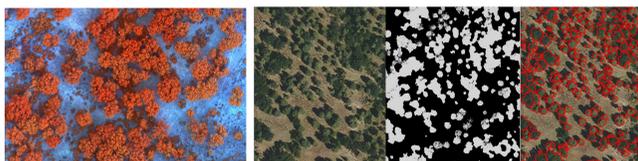
4. Análisis de firmas espectrales

El estudio de la forma de la firma y la distancia espectral entre firmas permite evaluar la **capacidad de la tecnología hiperespectral para discriminar entre árboles sanos y enfermos**, así como entre diferentes afecciones

3. Procesado de los datos

Las imágenes captadas mediante RPAs pasan por un **proceso de calibración radiométrica, ortorrectificación filtrado y clasificado**, para obtener la **firma espectral** de los pies estudiados eliminando las anomalías y el ruido.

Esta información espectral se integra con los datos recabados mediante inventario y los resultados de laboratorio para generar el set de datos con el que trabajar en las fases posteriores.



RESULTADOS

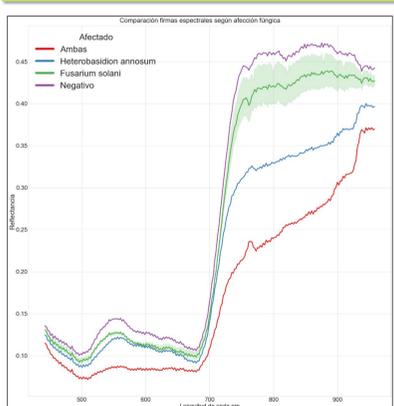
PINAR DE PINUS PINASTER CON AFECCIÓN FÚNGICA

Resultados del modelo clasificador en la parcela de Alcorcillo

Pruebas de laboratorio

Pie	Heterobasidion annosum	Fusarium solani
AL1	Positivo	Positivo
AL2	Positivo	Negativo
RA1	Negativo	Positivo
RA2	Negativo	Positivo
RA3	Negativo	Negativo
RA4	Negativo	Positivo

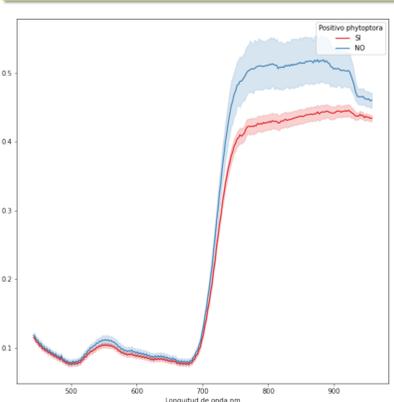
Firmas espectrales según afección detectada



Podemos observar como las firmas espectrales de los grupos 0 y 1 se encuentran notablemente separadas entre sí tanto en el rango de visible como en el del infrarrojo. De ambas firmas, la del grupo 1 es la que nos muestra un peor estado vegetativo. Esto podemos observarlo en la baja reflectancia en el rango del NIR y en la menor diferencia entre el rango del rojo y el NIR, lo que nos dará un valor más bajo en el cálculo del Índice NDVI. Además, todos los pies catalogados como muertos en el año 2022 pertenecen al grupo 1, a pesar de que en el 2020 estos pies aún estaban vivos y sin síntomas de afección grave.

La gráfica superior izquierda, junto con lo expresado en el texto anterior, refleja una clara diferencia entre las firmas espectrales de *Pinus pinaster* sanos y afectados por patógenos fúngicos, incluso antes de mostrar síntomas visibles. Esto refuerza la teoría de que la teledetección hiperespectral puede llegar a ser una potente herramienta en la sanidad forestal y en la lucha contra los efectos adversos del cambio climático.

PLANTACIÓN DE NOGAL



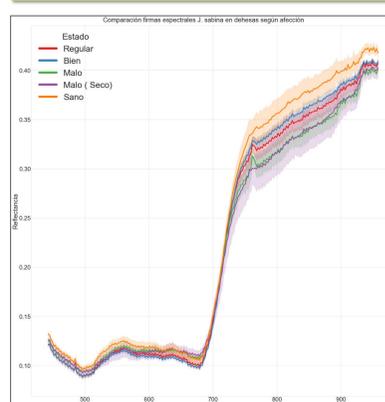
Nº pies positivos en Phytophthora

Totales positivos en laboratorio	Coincidentes con evaluación visual	Coincidentes con teledetección
31	14	27

	Entrenamiento		Validación	
	No afect.	Afectado	No afect.	Afectado
Predicho No afect.	27	10	15	1
Predicho Afectado	8	34	4	7
Precisión	0.77	0.77	0.79	0.88
Exhaustividad	0.73	0.81	0.94	0.64
F1	0.75	0.79	0.86	0.74
Exactitud	0.77		0.81	

De los 77 pies analizados, 31 dieron positivo el *Phytophthora*, información que se empleó para **entrenar el modelo clasificador**, junto con datos de nogales sanos. El modelo clasificador fue capaz de clasificar los pies afectados con una **exactitud del 81%** en los datos de validación.

DEHESA MIXTA



El estudio en la dehesa se centró en la sabina al tratarse de una de las especies dominantes y de mayor grado de decaimiento.

Se recogieron y analizaron un total de **60 muestras**. Los resultados de laboratorio **no mostraron la presencia de ningún patógeno perjudicial**.

Entendemos como 'Bien' aquellos pies que encontrándose en la dehesa decaída no mostraban síntomas visibles de decaimiento y entendemos como 'Sano' aquellos pies que se encontraban en una dehesa sana cercana empleada como validación.

En la gráfica podemos observar como la firma espectral, especialmente en la región del NIR, varía entre los dos tipos de malo, bien-regular y sano.

Podemos decir que, en general y para todas las zonas estudiadas, los pies con peor vigor, afectados por un patógeno perjudicial o con más síntomas de afección, muestran una firma espectral en la que los valores de reflectancia en la región del NIR con menores que los de sus coetáneos de la misma región y especie.

CONCLUSIONES

- En términos generales, concluimos que la detección hiperespectral ha demostrado ser una potente herramienta para su aplicación en la detección temprana de plagas en entornos complejos.
- Durante el desarrollo del proyecto se han obtenido muestras de la utilidad del análisis de la firma hiperespectral de los pies afectados por diversos estados perjudiciales, e indicios de la capacidad para identificar diferentes tipos y niveles de afección.
- Se considera necesario validar la metodología descrita en futuras investigaciones, aumentando el número de muestras realizadas por parcela y las visitas a campo en periodos medios y largos de tiempo que permitan observar y confirmar la evolución de la masa estudiada.
- La puesta a punto de este sistema podría concluir en el desarrollo de una herramienta de enorme utilidad para la localización de rodales debilitados, focos de afección y otros problemas asociados. Todo ello permitiría destinar esfuerzos de prevención, corrección y gestión donde más se necesitan, siendo un elemento clave para la sostenibilidad de los montes en el escenario climático actual y futuro.



Página web:

www.e-igm.com
www.zumain.es

Contactos:

agarcia@e-igm.com
jbarrio@e-igm.com
mduarte@zumain.es

