8º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

La Ciencia forestal y su contribución a los Objetivos de Desarrollo Sostenible

8CFE - 258

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales
Cataluña | Catalunya · 27 junio | juny - 1 julio | juliol 2022
ISBN 978-84-941695-6-4
© Sociedad Española de Ciencias Forestales

Organiza

Cuantificación de la combustibilidad mediante teledetección

PORTOLÉS RODRÍGUEZ, D.[1], MARTÍNEZ CEBRIÁN, A.[1], LÓPEZ DEL RÍO, R.[2]

[1] Idearium Consultores SRL
[2] Gobierno de Aragón

Resumen

Disponer de una cobertura de modelo de combustible del terreno es esencial para la mejora de la gestión preventiva y la extinción de incendios forestales, así como para la ayuda en el proceso de toma de decisiones relacionados con la evaluación del riesgo de fuego. Este artículo presenta una metodología genérica para determinar de forma automática las zonas incombustibles (roca, agua, zonas urbanizadas, suelo mineral,..) y clasificar en varios niveles de combustibilidad (desde poco combustibles a muy combustibles) utilizando técnicas de teledetección, los resultados obtenidos para la región de Aragón (España), las validaciones realizadas para depurar errores, otros métodos alternativos considerados (LiDAR, otros indicadores o fuentes de datos) y las líneas de futuro previstas.

Palabras clave

Incendio forestal, teledetección, Sentinel, Copernicus, modelo de combustible.

1. Introducción

La Dirección General de Medio Natural y Gestión Forestal del Gobierno de Aragón tiene entre sus objetivos el establecimiento de las medidas necesarias para la prevención y extinción de incendios forestales, elaborando para ello un plan de defensa contra incendios forestales en todas aquellas zonas de la Comunidad Autónoma declaradas como de alto riesgo de incendio forestal (ZAR).

Los planes de defensa de las respectivas zonas ZAR permiten identificar directrices básicas de actuación en el medio, las cuales van encaminadas a reducir el impacto de los incendios forestales y especialmente de los Grandes Incendios Forestales. De entre ellas, la consecución de un paisaje más resistente y resiliente y el establecimiento de oportunidades para los operativos de extinción mediante Áreas de defensa que compartimenten las masas forestales con gran continuidad de combustibles peligrosos, constituyen en buena medida la base para la defensa del territorio frente al fuego.

Como es sabido desde hace años, las tecnologías de la información geográfica y de observación de la Tierra poseen gran potencial de aplicación al sector forestal y proporcionan nuevas posibilidades de obtener y gestionar información espacial, de cara a mejorar nuestra toma de decisiones sobre el territorio (CHUVIECO, E. et al).

A partir de estas tecnologías, es posible realizar una abstracción del terreno para generar un modelo que represente los combustibles existentes y los incombustibles (roca, agua, zonas urbanizadas, suelo mineral,..). La disponibilidad de una cartografía digital de modelo de

combustible, representa una necesidad de carácter fundamental para poder establecer las estrategias de defensa de los sistemas forestales (MOLINA-MARTÍNEZ, J.R. y RODRIGUEZ Y SILVA, F).

Existiendo ya un modelo de combustible de Aragón, realizado con una metodología previa que conjuga la información habitual en el ámbito forestal (trabajo de campo, Inventario Forestal Nacional, Mapa Forestal Español, LIDAR, SIGPAC, etc.), se plantea la necesidad de abordar una actualización de dicha cartografía, con el fin de obtener una clave cartográfica actualizada y adaptada a las diferentes zonas combustibles de Aragón. Esta actualización es la que se va a describir en el presente artículo.

2. Objetivos

El objetivo principal es el de definir una metodología genérica para elaborar cartografía de modelo de combustible, aplicable a una gran extensión de terreno (la totalidad de Aragón), con un esfuerzo computacional reducido (sin grandes requerimientos de infraestructura hardware) y fácilmente reaplicable en el futuro, para obtener actualizaciones de los resultados como consecuencia de los posibles cambios que se producen continuamente en el terreno.

Además, otro de los objetivos de este trabajo es la búsqueda de un índice de vegetación para poder clasificar de una manera automática y cualitativa la vegetación, determinando el posible grado de combustibilidad de zonas (desde no combustibles a muy combustibles).

Como consecuencia del modelo de combustible resultante, se dispondrá de una herramienta imprescindible en las labores de ordenación del mismo y consecuentemente, en la planificación de las actuaciones de defensa frente a incendios forestales, máxime en las zonas identificadas como ZAR, así como ayuda en el proceso de toma de decisiones por parte de la D.G. de Medio Natural y Gestión Forestal del Gobierno de Aragón.

3. Metodología

3.1 Zona de estudio

La zona objeto de este estudio es la Comunidad Autónoma de Aragón que abarca una extensión de 47.720 km^2. Para una mejor gestión de los incendios forestales, en 2017 se establecieron 26 zonas con características similares desde una perspectiva del riesgo de incendio y del régimen de incendios forestales tipo denominadas Zonas Meteoalerta.

3.2 Metodología previa y selección del conjunto de información geográfica

La aproximación metodológica previamente empleada en la elaboración de la cartografía de modelo de combustible, se apoya en las clasificaciones de clásicas (Scott y Burgan, Rothermel, ...) así como en la metodología de modelo de combustible Prometheus (ARROYO et al) aunque con variaciones adaptativas al contexto forestal aragonés. Al margen de esta clasificación, lo que se va a realizar en este trabajo es hallar el grado de incombustibilidad para toda la Comunidad Autónoma. Para ello se realizaron estudios de imágenes satelitales y aéreas -de alta y muy alta resolución espacial- así como datos LiDAR quedando descartadas alguna de ellas por sus problemáticas, descritas a continuación, así como el incumplimiento de los objetivos inicialmente establecidos.

- LiDAR (Light Detection and Ranging)

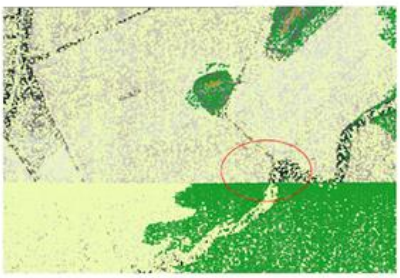
  La utilización de este tipo de información tiene varios inconvenientes que hace que se descarte para el propósito deseado.

  Por un lado, su reducida frecuencia y coste de generación hacen inviable el plantear la generación de datos *ad hoc* para una zona de estudio extensa. Es por ello que se debe recurrir a iniciativas ya existentes como PNOA, la cual tiene una fecha de referencia irregular (con diferencias de varios años entre diferentes zonas) y heterogeneidad metodológica (diferencias entre sensores, puntos / m^2, etc.). Además, la disponibilidad es muy reducida ya que únicamente se dispone de uno o dos conjuntos de datos LiDAR.

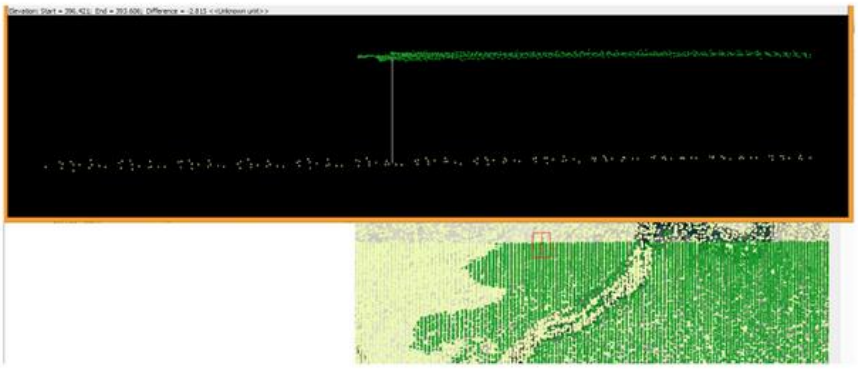
  Por otro lado, el procesado de esta información para toda la Comunidad Autónoma de Aragón es costoso ya que genera grandes conjuntos de datos, de unos 3 millones de puntos por cada cuadrícula de 2x2. Esto dificulta el objetivo de no requerir una gran infraestructura tecnológica para su utilización.

  Por último, entrando a analizar el contenido propiamente de la información, en el proceso de depuración de la nube de puntos se observó la presencia de solapes y errores de ensamblaje en los objetos dispuestos en el terreno en alturas comprendidas entre 0 y 0.5m, intervalo fundamental para diferenciar entre suelo desnudo (roca) y pastos. Es justo en este intervalo de alturas donde la precisión en el eje Z debe ser máxima y sin errores para realizar una discriminación de pasto y matorral bajo y de pasto y roca que es el objetivo principal buscado.

Cubierta vegetal de altura inferior a 0,4



Nube de puntos LiDAR normalizada en zona de solapamiento de pasadas de vuelo



Perfil de la nube de puntos LiDAR normalizada. Los retornos en blanco son identificados por el algoritmo como suelo desnudo, mientras que los verdes como vegetación de altura 2.815 m.

Figura 1. Error de ensamblaje entre pasadas del vuelo LiDAR, aumento de altura en los objetos en suelo desnudo y errores en suelos no desnudos.

- Ortofoto PNOA 2018

  De forma análoga a LiDAR, se prescindió también de la ortofoto del PNOA 2018 la cual, pese a que daba muy buenos resultados en las bandas del espectro R,G,B e IR a 0.25m/px. Sin embargo, tanto el procesado automático de los datos, la lenta creación de su posterior mosaicado y el disponer únicamente de una capa de todo el año 2018 con nubes y sombras que tapan parte de los píxeles hizo que se descartara finalmente la utilización de estas imágenes .

- Imágenes satélite

  Las imágenes satélite tienen como principal ventaja que proporcionan información actualizada, homogénea y periódica sobre la cobertura de la capa terrestre para poder analizar mediante diferentes índices que combinan diferentes parámetros para, por ejemplo, estudiar la vegetación o, en este caso concreto, la ausencia de ella. Pese a que su calidad y resolución es mucho menor que las alternativas anteriores, pueden ser suficientes para un análisis estratégico de una gran extensión de terreno, reduciendo significativamente el tiempo de procesamiento.

Además, se dispone de un amplio conjunto de proveedores de imágenes satélite, ya sean privados (con coste) o abiertos. De entre estos últimos se ha seleccionado el multisatélite SENTINEL 2 del programa Copernicus dirigido conjuntamente con la ESA (Agencia Espacial Europea).

Los principales motivos para elegirlas han sido los siguientes: sus 10m/px de resolución resultan suficientes, hay una gran variedad de imágenes, sensores y bandas disponibles así como la periodicidad y actualización de las imágenes para poder obtener una cartografía actualizada para la clasificación del modelo de combustible presente en Aragón.

3.3 Selección de imágenes satélite

Para poder establecer mejor la clasificación en grados de incombustibilidad deseada, y de cara a minimizar los errores que puedan generarse en su categorización, se ha considerado la utilización de varias escenas en periodos de tiempo diferentes, determinados por la fenología de la vegetación. Concretamente, se ha considerado que los periodos de tiempo que van a resaltar mejor los cambios en el estado vegetativo de las plantas sean mayo y agosto, sin perjuicio de ser variados por otras circunstancias.

El motivo por el que se ha seleccionado mayo está justificado por la alta reflectancia en el IR cercano, mientras que en agosto se suele disponer de una baja reflectancia en este espacio del espectro electromagnético.

Además, debido a la gran extensión de la zona de estudio, se estableció el realizar las clasificaciones siguiendo la división territorial por zonas meteoalerta, ya mencionadas.

Para la búsqueda de imágenes de toda la cobertura necesaria se tuvieron en cuenta varios factores:

- Ausencia de nubes: intentar que no hubiera nubes en toda la zona de estudio o que éstas supusieran menos de un 5% de la imagen.
- Ausencia de sombras de nubes: de forma análoga a las nubes, se seleccionaron las imágenes con ausencia cuasi absoluta de sombras de nubes.
- Que la mayor parte de la zona meteoalerta a considerar, quedara cubierta por una sola imagen, para que haya las menos escenas posibles por cada una de las zonas.
- En las zonas que se requiera más de una imagen, que las fechas sean lo más cercanas posibles si no es posible que sean de la misma fecha.

Para casi todas las zonas se pudieron encontrar imágenes sin nubes y sin sombras en los dos periodos de tiempo establecidos para comprobar las diferencias (mayo y agosto), no así, para la zona norte de Aragón. Esta zona comprende las zonas meteoalerta pirenaicas PAX, POC Y POR. Debido a su carácter geomorfológico montañoso ha sido difícil la búsqueda de imágenes en los dos periodos de tiempo establecidos. Los problemas encontrados en estas zonas han sido: una inmensa cantidad de nubes, nieve en la mayoría de las imágenes encontradas, estelas de aviones que

modifican el valor del píxel, entre otros. Es por ello que las dos fechas de referencia para estas zonas pirenaicas han sido finalmente julio y octubre.

3.4 Extracción de polígonos SIGPAC

Las zonas de cultivo -tanto en las de secano como las de regadío- pueden interferir en la clasificación del grado de incombustibilidad o en la discriminación de zonas incombustibles, ya que en ese momento puede estar en barbecho, regadas o recién plantadas y modificar esta clasificación. Para ello se han suprimido los elementos que aparecen en la capa del SIGPAC categorizados como zonas de cultivo, excluyendo dichas zonas de las imágenes a procesar.

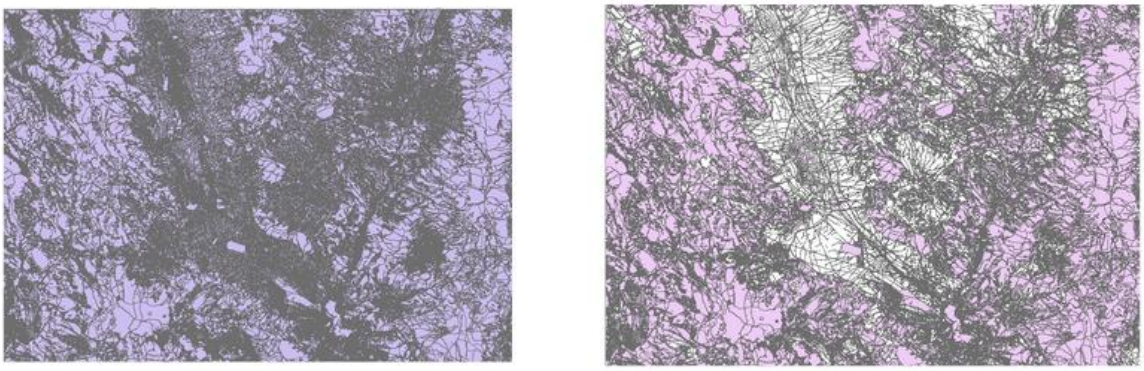


Figura 2. Supresión de los polígonos de campos de cultivo del SIGPAC.

3.5 Cálculo de índice TSAVI

Una vez seleccionadas en el paso anterior las imágenes satelitales que se utilizarán para cada zona meteoalerta en sus dos épocas del año, el siguiente paso es el de calcular un índice representativo mediante teledetección. De entre todos los disponibles se ha determinado que el más apropiado será un índice de vegetación.

Existen diferentes índices de vegetación, como el NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index); sin embargo, tras un conjunto de pruebas se ha determinado el índice TSAVI (Transformed Soil Adjusted Vegetacion Index) como el idóneo por sus mejores resultados para este trabajo (supone que la línea de suelo tiene pendiente e intersección arbitraria y hace uso de estos valores para ajustar el índice de vegetación). El índice TSAVI se define por la siguiente fórmula (BARET, F. & GUYOT, G.):

$$TSAVI = (s * (NIR - s * Rojo - a)) / (a * NIR + Rojo - a * s + X * (1 + s2))$$

donde:

- NIR = valores de píxel de la banda infrarroja cercana
- Rojo = valores de píxel de la banda roja
- s = la pendiente de la línea del suelo
- a = la intercepción de la línea del suelo
- X = un factor de ajuste que se establece para minimizar el ruido del suelo

El índice de vegetación TSAVI -al igual que el NDVI- adquiere valores comprendidos entre -1 y 1, de tal manera que valores próximos a 1 reflejan una elevada actividad fotosintética, es decir, vegetación densa y vigorosa, mientras que en valores bajos sugiere nula o escasa presencia de actividad fotosintética. La diferencia es que el TSAVI considera la pendiente y el intercepto de la línea de suelo. Al intentar automatizar todo el procesado en toda la Comunidad Autónoma con su gran diferencia entre zonas en cambios de altura se decidió utilizar este parámetro. También es un motivo porque el que se decidió suprimir los campos el cultivo con la capa del SIGPAC.

Como puede observarse en la fórmula anterior, para el cálculo de este índice se necesitan las bandas del Rojo y del Infrarrojo cercano. En las imágenes Sentinel-2, estas bandas corresponden a las bandas 4 (Rojo) y 8 (NIR).

Una muestra del resultado obtenido puede observarse en la siguiente figura:

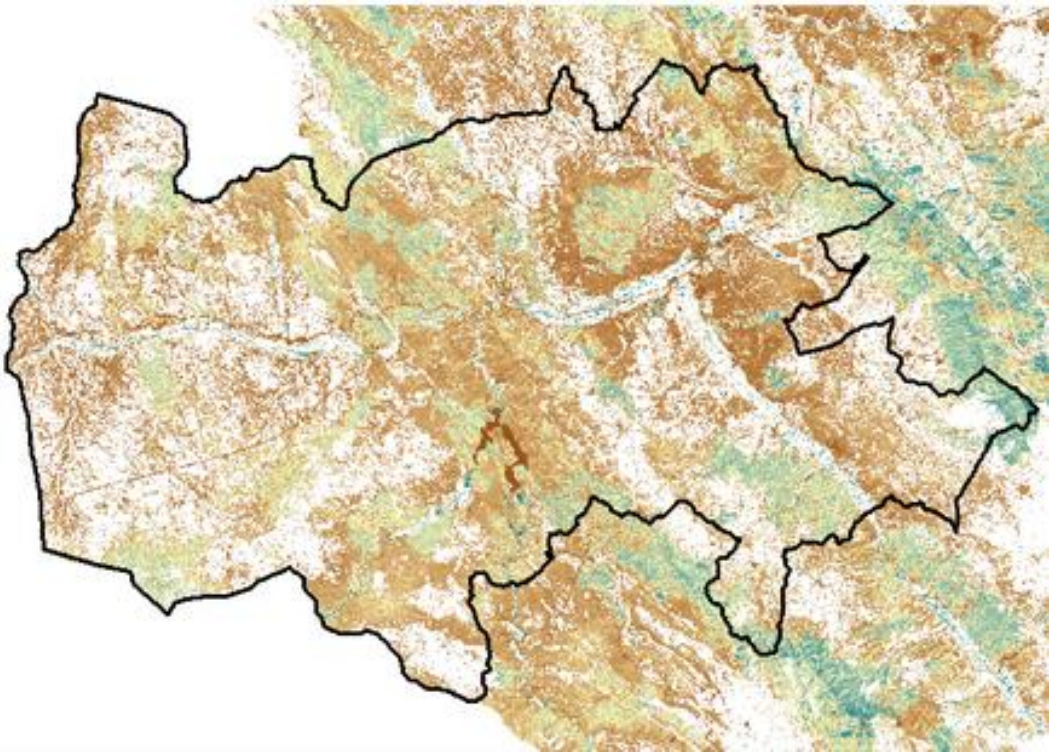


Figura 3. TSAVI zona meteoalerta Jalón (JLN) Agosto 2019 (dos escenas).

3.6 Proceso de clasificación de cuantiles (Q)

Una vez clasificadas las imágenes con el índice TSAVI, se procede a una reclasificación de los píxeles por cuantiles.

Este tipo de clasificación por cuantiles divide las clases de modo que el número total de características de cada clase es homogéneo. Para este proceso se procede a una asignación automática por cuantiles de las escenas de cada zona meteoalerta en las distintas épocas del año.

Posteriormente se procede a una concatenación del valor del cuantil de mayo y del de agosto, obteniendo un total de (número de cuantiles^2) posibles categorías.

Este proceso se realizó para clasificaciones en 5Q, 7Q y 10Q; el que dio mejores resultados fue el de 10 cuantiles -generando hasta 100 (10^2) valores diferentes- puesto que ofrece más valores para la elección del umbral en el cual diferenciar el suelo desnudo. A partir de 10 cuantiles, se consideró que el aporte que se obtiene apenas resulta de interés, complicando en exceso el proceso.

Considerando los valores bajos en cada época del año como incombustible o muy poco combustible, se puede llegar a la conclusión de que los píxeles con valores 11, 12 y en algunas zonas 13, es incombustible en mayo por lo que se asume que serán áreas incombustibles en todo el año. Por el contrario, los píxeles con valores que no sean los anteriores serán zonas combustibles (en distinto grado) durante todo el año. Los valores intermedios irán clasificándose en los diferentes grados de combustibilidad que se establezcan, aplicando criterios más o menos restrictivos (según el caso de aplicación que se desee). Este proceso de marcar umbrales de incombustibilidad se realiza de forma manual para cada una de las zonas meteoalerta ya que ha sido imposible encontrar un umbral homogéneo para todas ellas.

Este valor indica también incidencias o valores espurios en la clasificación por cuantiles; así por ejemplo, en las zonas a estudiar no debería haber valores más altos en las unidades (agosto) que en las decenas (mayo) debido a la climatología de Aragón. Para identificar estas incidencias, y su asignación manual para ver si pertenecen a zonas combustibles o no, requiere de un análisis detallado zona a zona.

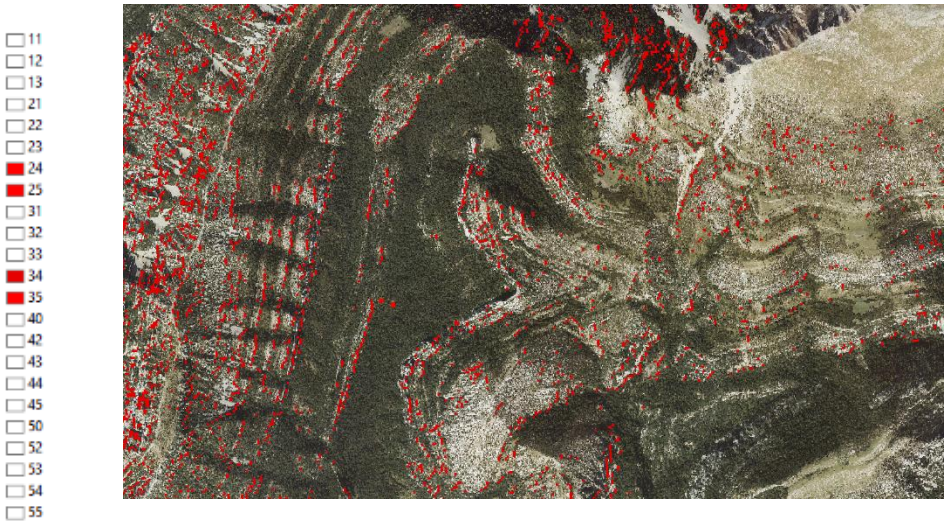


Figura 4. Incidencia en la suma de los dos periodos de tiempo en una zona de Guara.

En esta zona de Guara de la figura anterior hay una incidencia de algunos píxeles con más valor de vegetación en agosto que en mayo y puede observarse que todos ellos siguen la línea del escarpe, así que lo más probable es que corresponda a algún tipo de sombreado del propio escarpe o de algo de vegetación ya que los píxeles son de 10m.

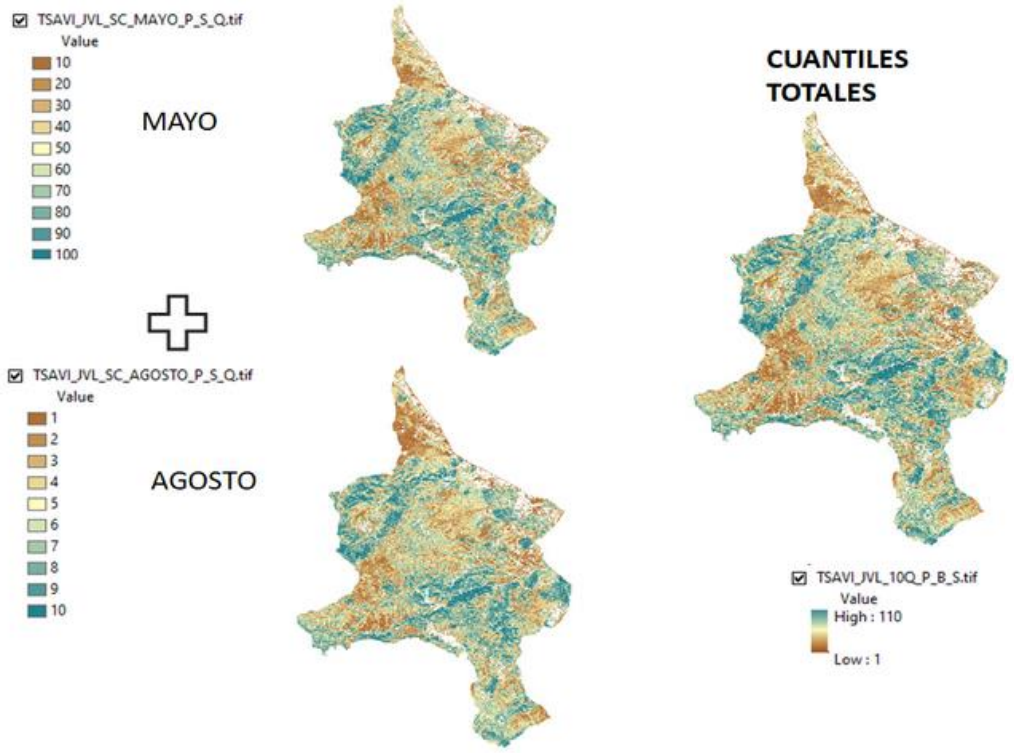


Figura 5. TSAVI zona meteoalerta Javalambre (JVL) mayo, agosto y la suma total de los cuantiles.

4. Resultados

Tras la aplicación de la metodología anterior se ha obtenido como resultado una cobertura en formato raster a resolución de 10 m/px de una capa incombustible (con distintas gradaciones) para todo Aragón. Esto supone una mejora sustancial de la cartografía empleada hasta ahora por el operativo de incendios forestales del Gobierno de Aragón y se espera que constituya una herramienta de valor para la planificación en las labores de gestión de incendios y la toma de decisiones. Su aplicabilidad es muy diversa: desde el nivel operativo en la gestión de emergencias a través de las herramientas de simulación de la propagación de incendios y toma de decisión estratégica y operativa, hasta su aplicación directa en la elaboración de los planes de defensa.

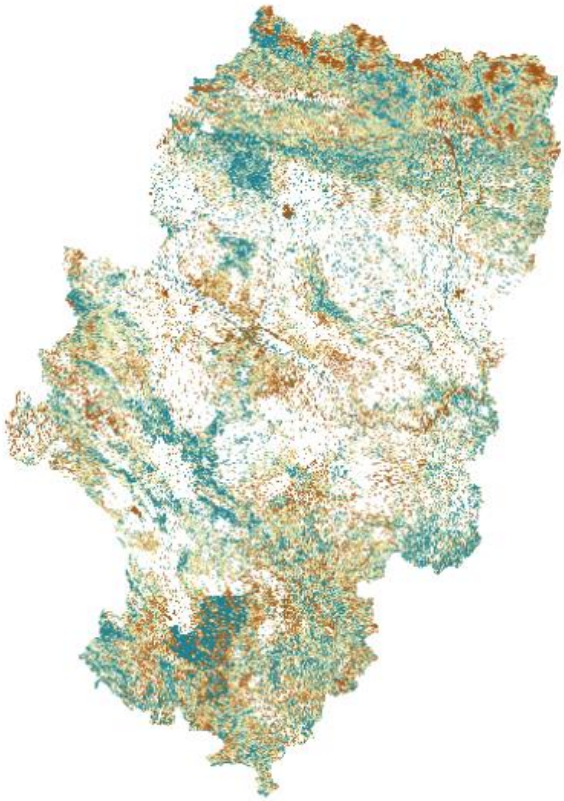


Figura 6. TSAVI calculado para Aragón con 10 cuantiles.

5. Discusión

La metodología presentada es la que, tras sucesivos ajustes iterativos, ha resultado la idónea para generar un modelo de combustible para la Aragón. Sin embargo, esta metodología podría no ser adecuada en aplicación a otras zonas con diferentes características geomorfológicas, por lo que podría ser susceptible de ajustes posteriores para adecuarse mejor a las características del terreno.

Además, la categorización en 10 cuantiles y utilización de dos épocas del año, ha resultado ser suficiente para los propósitos requeridos, si bien una ampliación de estos valores podría determinar unos resultados más precisos.

Por último, la utilización de otro tipo de imágenes de satélite, especialmente unas con mayor precisión, podría tener consecuencias futuras en las conclusiones establecidas por la metodología presente.

6. Conclusiones

El trabajo descrito presenta una metodología que cumple con los objetivos planteados y que cuyos resultados han satisfecho los requerimientos solicitados. El modelo de combustible generado ha resultado de utilidad para su aplicación en varios ámbitos y para la toma de decisiones en materia forestal. Además, este caso de aplicación innovador, pone en valor recursos proporcionados

por las administraciones públicas (en este caso, Sentinel 2) cumpliendo los objetivos establecidos en la Directiva 2003/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 17 de noviembre de 2003, relativa a la reutilización de la información del sector público.

En los próximos años se espera una continuación de los trabajos iniciados, con el objetivo de tener en consideración nuevos factores y ampliar los resultados obtenidos; Asimismo, debido a que el volumen de información disponible sigue *in crescendo* (nuevo LIDAR para la práctica totalidad de Aragón, previstos próximamente nuevo MFE e IFN para Aragón, más histórico de imágenes de satélite) y cada vez con más precisión/resolución, por lo que se espera obtener una serie histórica de modelos de combustible que permitan servir no sólo para obtener un modelo de combustible, sino también como herramienta de ayuda en el conocimiento de la evolución del territorio y, más concretamente, de su dimensión forestal.

7. Agradecimientos

Al IGEAR, que nos facilitó las imágenes del PNOA 2018 con la banda del IR así como otros conjuntos de información geográfica y la plataforma IDEARAGON.

Al departamento de Gestión del Medio Natural y Gestión Forestal del Gobierno de Aragón por la ayuda y la información proporcionada para continuar con la mejora de este proyecto, en especial al director del proyecto y a todo su equipo de Ingenieras Forestales.

8. Bibliografía

ARROYO, L.; HEALEY, S.P.; COHEN, W.B.; COCERO, D.; MANZANERA, J.A.; 2006. Using object-oriented classification and high-resolution imagery to map fuel types in a Mediterranean region. Journal of Geophysical Research 111

BARET, F.; GUYOT, G.; 1991. Potentials and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment. Remote Sensing of Environment 35 161 – 173

CHUVIECO, E.; AGUADO, I.; YEBRA, M.; NIETO, H.; MARTIN, M.; VILAR, L.; MARTÍNEZ, J.; PADRÓN, D.; MARTÍN, S.; SALAS, J.; 2007. Generación de un modelo de Peligro de Incendios Forestales mediante Teledetección y SIG. En: RIVAS, R.; GRISOTTO, A.; SACIDO, M. (eds.): Teledetección - Hacia un mejor entendimiento de la dinámica global y regional. 19-26. Ed. Martin. Mar del Plata, Argentina.

MOLINA-MARTÍNEZ, J.R.; RODRIGUEZ Y SILVA, F; 2009. Modelos de combustible forestales UCO40. Herramientas de nueva generación en defensa contra incendios forestales. En: S.E.C.F. – Junta de Castilla y León (eds.): 5º Congreso Forestal Español. Montes y Sociedad: Saber qué hacer. Ávila, España.