

Proyecto La producción, actualización y mejora de las cartografías de formaciones forestales, modelos de combustible y erosión de suelos

Actividad Elaboración de cartografía de modelos de combustible forestales – Proceso de validación

Documento Memoria Técnica

Fecha Septiembre 2015

Elaborado por Cartográfica de Canarias, S.A.
(GRAFCAN)



Unión Europea

Fondo Europeo Agrícola
de Desarrollo Rural

Europa invierte en las zonas rurales



MINISTERIO
DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN
Y MEDIO AMBIENTE



Contenido

Introducción y objetivos.....	1
Antecedentes	1
Objetivos 2	
Metodología	3
Toma de datos de campo	3
Matrices de confusión	4
Cartografía evaluada	4
Consideraciones previas respecto a los datos de partida	5
Resultados de la validación	7
Análisis de la cartografía inicial	7
Modificación de los algoritmos de decisión	10
Validación de la cartografía final	11
Resultados reales	11
Resultados potenciales.....	14
Conclusiones.....	16
Consideraciones generales.....	16
Limitaciones específicas	16
Propuestas de mejora	18
Listado de cartografía entregada	20
Referencias	22
Anexo: Actualización Algoritmos de Decisión	23

Introducción y objetivos

Antecedentes

En una primera fase del trabajo se ha generado y entregado una **Cartografía de Modelos de Combustible de alta resolución** para las 5 islas forestales de Canarias. Esta cartografía fue elaborada mediante el análisis de **información estructural tridimensional de la vegetación obtenida a partir de datos LiDAR** proporcionados por GRAFCAN (vuelos de fechas 2011 a 2013) y utilizando como fuente de información de base los mapas de vegetación previamente existentes, como alternativa a los trabajos de campo para distinguir las distintas formaciones forestales presentes (ver detalles en la documentación previa de la entrega final realizada en Agosto 2015).

El Mapa de Vegetación de Canarias, a escala 1:20.000, desarrollado por GRAFCAN desde el año 1999 hasta el 2003 y publicado en 2006 se seleccionó como cartografía de base para analizar la composición de la vegetación, ya que poseía una escala mayor que el resto de cartografía disponible y además proporcionaba una caracterización fisionómica de los ecosistemas vegetales. Sin embargo, dada la fecha en que se elaboró, GRAFCAN lidera un proceso de actualización del mismo, teniendo como finalidad exclusiva su utilización como fuente de entrada para la generación de la cartografía de modelos de combustible. Al resultado de esta actualización se denomina **Mapa de Formaciones Forestales**.

La Cartografía de Modelos de Combustible presentada está basada en una clasificación definida inicialmente para la isla de Tenerife (25 modelos de combustible), y que ha sido adaptada para su aplicación a todas las formaciones vegetales encontradas en las áreas forestales existentes en la geografía canaria. Esta cartografía fue posteriormente procesada para obtener una cartografía de modelos de combustible de resolución media (tanto en formato raster como en formato vectorial), así como su correspondencia con otras clasificaciones más genéricas de modelos de combustible (modelos clásicos de Rothermel).

Objetivos

El presente informe expone los resultados obtenidos en la fase de validación de esta **cartografía de modelos de combustible** entregada previamente, con un **doble objetivo**:

1. Detectar los posibles errores en la cartografía inicial entregada, realizando las mejoras oportunas en los algoritmos de decisión para la correcta asignación de modelos de combustible
2. Evaluar el grado de fiabilidad de la nueva cartografía generada, y analizar la bondad de la metodología de asignación de modelos de combustible utilizada para futuras actualizaciones de las fuentes de datos.

En la Figura 1 se muestra un esquema metodológico donde se resumen las fuentes de datos utilizadas y los procesos realizados para la generación y posterior validación de la cartografía de modelos de combustible de Canarias.

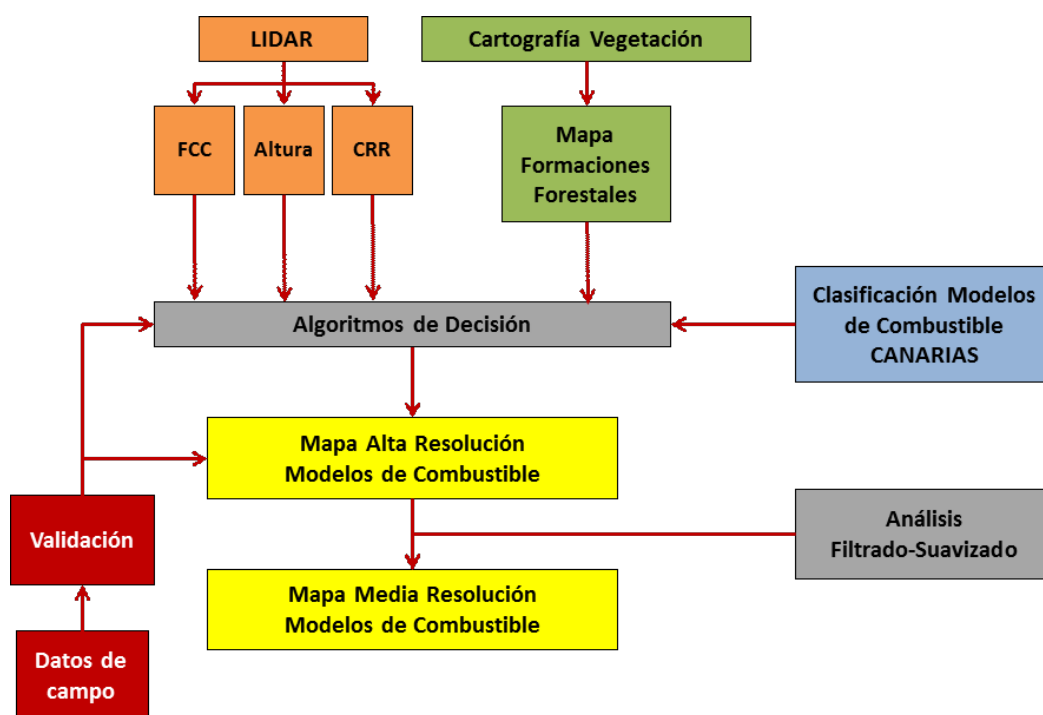


Figura 1. Diagrama de flujo de la obtención de la cartografía de modelos de combustible y su validación

Metodología

En este apartado se describe la metodología utilizada para la validación de la cartografía de modelos de combustible de canarias. Por último, se señalan diversas consideraciones sobre los datos de entrada empleados para la generación de estos mapas, que van a condicionar a priori los resultados de la validación.

Toma de datos de campo

Los modelos de combustible asignados en la cartografía se han contrastado con los modelos de combustible reales existentes sobre el terreno. El diseño del muestreo de campo tuvo en cuenta las siguientes consideraciones:

- Superficie ocupada por cada modelo de combustible: a **mayor superficie ocupada** por un modelo, mayor número de puntos de validación de campo.
- Importancia del modelo de combustible: se aumentó el número de puntos de validación de campo en aquellos **modelos potencialmente más peligrosos** desde el punto de vista del comportamiento del fuego.

En total se verificaron los modelos de combustible en un total de 220 puntos de campo, localizados en 4 islas: Tenerife, Gran Canaria, La Palma y La Gomera (Figura 2). En cada uno de estos puntos, se asignó el modelo de combustible real existente actualmente sobre el terreno, teniendo en cuenta los valores medios de los parámetros de entrada utilizados en los algoritmos (alturas, coberturas y continuidad vertical del combustible) en una superficie equivalente a la resolución espacial utilizada con los datos LIDAR (25 m x 25 m). El muestro de campo se llevó a cabo entre septiembre y noviembre de 2015.

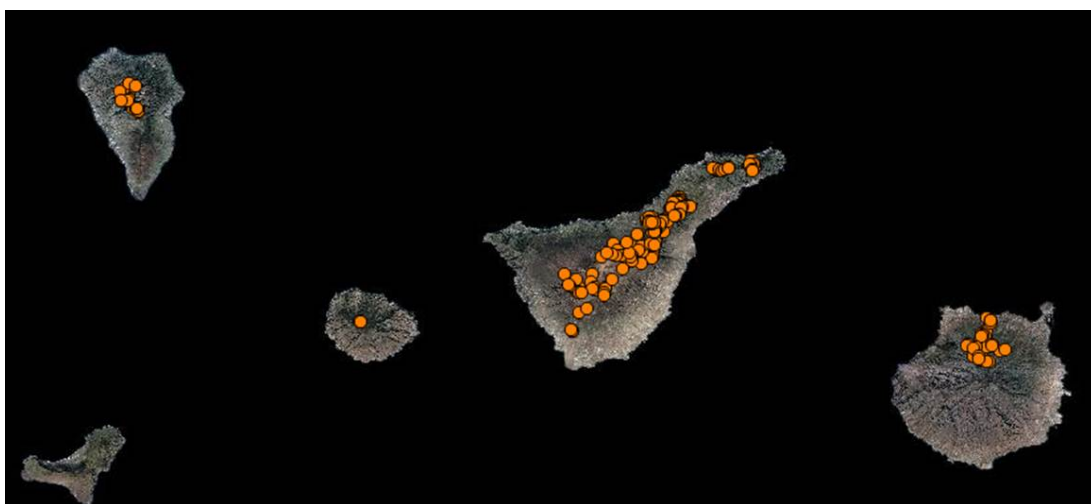


Figura 2. Ubicación de los puntos de muestro de validación

Matrices de confusión

La evaluación de la fiabilidad de la cartografía se ha realizado mediante la elaboración de matrices de confusión. Esta metodología se basa en la creación de una matriz cuadrada ($n \times n$) que incluye tantas filas y columnas como clases distintas tiene la clasificación. En nuestro caso, las clases corresponden a los modelos de combustible que se van a analizar. En las filas se representan los modelos de combustible existentes en la cartografía generada, mientras que en las columnas se representan los modelos de combustible reales sobre el terreno que servirán como valores de referencia.

A continuación se definen algunos de los conceptos utilizados para la evaluación de la fiabilidad de la cartografía analizada:

- **Acierto global (%):** es el porcentaje de puntos bien clasificados respecto al total de puntos muestreados, independientemente del modelo de combustible asignado.
- **Acierto del productor (%):** para cada modelo de combustible, indica el grado de fiabilidad de la cartografía en función del error por omisión o exclusión (es decir, aquellos modelos reales existentes sobre el terreno que no están incluidos correctamente en la clasificación).
- **Acierto del usuario (%):** para cada modelo de combustible, indica el grado de fiabilidad de la cartografía en función del error por comisión o inclusión (es decir, aquellos modelos del mapa creado que están mal asignados en la clasificación en relación con los valores reales de referencia).
- **Coeficiente Kappa (K):** porcentaje de acierto global de la clasificación una vez eliminado la parte debida al azar por cruce de clases (Cogalton 1991), según la fórmula:

$$K = \frac{N \sum_i^n x_{ii} - \sum_i^n (x_{i+} * x_{+i})}{N^2 - \sum_i^n (x_{i+} * x_{+i})}$$

donde N es el número total de puntos de referencia para la validación, n es el número de filas o columnas de la matriz de confusión, x_{ii} es el número de aciertos de la clase i (equivalente al modelo de combustible de esa fila o columna), x_{i+} es la suma de puntos en la fila i y x_{+i} es la suma de puntos en la columna i .

Cartografía evaluada

En este informe se van a presentar resultados de distintas matrices de confusión asociadas a las distintas cartografías generadas. Estos resultados se refieren a los siguientes casos:

- **Cartografía inicial:** Matriz de confusión inicial, cuyos resultados corresponden con la evaluación de la cartografía inicialmente creada (entrega de agosto 2015). El análisis detallado de esta información servirá de base para la posterior mejora de los algoritmos de decisión utilizados para la asignación automática de los modelos de combustible a partir de los datos LIDAR.
- **Nueva cartografía mejorada:** La validación de la cartografía inicial conlleva la revisión y actualización de los algoritmos de decisión, y por tanto la generación de nueva cartografía a partir de ellos. Sobre esta nueva cartografía se vuelve a realizar una nueva matriz de confusión,

es decir un nuevo proceso de validación. En este caso se incluyen además dos resultados de validación diferenciados:

1. Resultados reales: en los que se indica la fiabilidad real de la nueva cartografía de modelos de combustible entregada (algoritmos mejorados).
2. Resultados potenciales: en los que se evalúa la fiabilidad potencial de la cartografía de modelos de combustible obtenida con los mismos algoritmos de decisión propuestos pero suponiendo que los mapas de formaciones forestales base utilizados (que sirven de input para identificar los distintos tipos de formaciones forestales) fuesen más precisos, es decir no cometen errores

El mapa de formaciones forestales vegetación, tanto por su escala como por el alcance de la actualización realizada posee errores en la identificación de la correcta composición a escalas pequeñas como las que pretende la cartografía de modelos de combustibles (celdas de 25 x 25 metros). Esta segunda validación pretende dar una idea de la precisión de la metodología eliminando esta fuente de error

En cuanto a los modelos de combustible verificados, los resultados hacen referencia a la evaluación de la cartografía de **modelos de combustible de Canarias de alta resolución**. A partir de dicha cartografía se obtiene posteriormente los otros formatos entregados (modelos de combustible generales, y cartografía de modelos de combustible de resolución media). Sobre estas otras cartografías, no se realiza el proceso de validación por ser subproductos de la primera.

Por otro lado, no se van a presentar resultados para el modelo de combustible específico para cañaverales (3.A) por ocupar una pequeña superficie y depender exclusivamente de la fiabilidad de la cartografía de vegetación de entrada; y como es lógico, tampoco se consideraron los modelos de combustible de matorral no incluidos en los algoritmos de asignación (4.A y 5.A) que fueron sustituidos por otros modelos de matorral más adecuados a las características del comportamiento de fuego potencial (ver detalles en el informe previo y en el apartado 3.2).

Consideraciones previas respecto a los datos de partida

Antes de analizar en detalle la fiabilidad de la cartografía de modelos de combustible, es necesario destacar una serie de consideraciones que van a condicionar a priori los resultados del proceso de validación.

1. Datos LiDAR

Existe un desfase temporal entre las fechas de los vuelos LiDAR (2011-2013) y los datos de la validación en campo (2015). Esto implica posibles errores debidos al crecimiento natural de la vegetación (e.g. matorrales que el LiDAR identifica que son bajos, $h < 1,2$ m, en campo podrían superar ese umbral de altura) o como consecuencia de otro tipo de perturbaciones ocurridas durante ese periodo de tiempo (incendios, cortas, etc.).

2. Cartografía de vegetación previa

Existen distintas fuentes de error posibles asociadas a la cartografía de vegetación empleada como input para definir las formaciones forestales:

- Errores del mapa de formaciones forestales: la vegetación real en campo no coincide con la proporcionada por la cartografía de base utilizada (actualización del mapa de vegetación de Canarias). Esto puede deberse a varios motivos:
 1. Diferencias entre las escalas de trabajo: los datos de campo se evaluaron a una escala similar a la resolución espacial de los datos LIDAR (25 m x 25 m), mientras que la cartografía de vegetación utilizada fue creada con una escala mucho menos precisa (escala 1:20.000).
 2. Errores de fotointerpretación durante el proceso de generación de la cartografía, a pesar del esfuerzo por actualizarlo.
 3. Cambios del tipo de vegetación ocurridos y no detectados en la fase de actualización por el alcance y escala del mismo.
- Existe una categoría denominada “Resto de áreas” a la que se asigna por defecto el modelo 0 (no combustible) al no tener información previa sobre si existe o no vegetación susceptible de arder en un potencial incendio. Sin embargo, las teselas etiquetadas con esta categoría en el mapa de formaciones forestales no siempre corresponden en el terreno con zonas urbanas o agrícolas no combustibles, sino que hay vegetación muy diversa con distintos modelos de combustible asociados (e.g. zonas de interfaz urbano forestal, enclaves dentro de masas forestales). Por tanto, esta categoría de la cartografía de base utilizada supone una fuente de error importante por la falta de información real sobre el tipo de vegetación existente.

En general, todas estas limitaciones se solventarían con una cartografía más detallada y actualizada, en definitiva, más precisa, de los ecosistemas vegetales existentes.

Resultados de la validación

A continuación, se exponen los resultados obtenidos para los distintos casos analizados:

- Cartografía inicial (entregada en Agosto 2015)
- Nueva cartografía mejorada (entregada junto con el presente informe)
 - Resultados reales
 - Resultados potenciales

Análisis de la cartografía inicial

En este apartado se evalúan los resultados de la verificación de los modelos de combustible de la cartografía inicialmente entregada con los puntos de muestro de campo.

La matriz de confusión inicial (ver Tabla 1) se calculó a partir de los **220 puntos de muestreo** disponibles, indicando una **fiabilidad global de la cartografía del 55%**. El coeficiente Kappa es 0,53; lo que significa que la clasificación de modelos de combustible inicial es un 53% mejor que la esperada mediante una asignación al azar. El porcentaje de aciertos varía en función del modelo de combustible analizado. Atendiendo al porcentaje de aciertos del usuario de la cartografía encontramos los siguientes resultados:

- Modelos con un nivel bajo de aciertos (< 30%):
 - Modelos de pastizal: 1.A (herbazales) y 2.A (mezcla de pastizal y matorral)
 - Modelos de matorral de porte bajo: 5.B, 5.C (altura del matorral < 1,2 m). NOTA: el modelo 5.D no se pudo analizar por no tener ningún punto de referencia (superficie ocupada demasiado pequeña, inferior a 0,01%)
 - Modelos de matorral bajo arbolado con poca altura y/o poca cobertura: 7.C₂ (pinare con sotobosque de brezo cuya cobertura es inferior al 60%) y 7.F₁ (pinare con sotobosque de altura < 1,2 m y cobertura inferior al 60%). NOTA: el modelo 7.F₂ no se pudo analizar por no tener ningún punto de referencia (superficie ocupada demasiado pequeña, inferior a 0,01%)
- Modelos con un nivel de aciertos medio (30-60%):
 - Modelos de matorral: 4.B y 6.C
 - Modelos de matorral bajo arbolado: 7.D₂ y 7.G
 - Modelo 0 (no combustible)
- Modelos con un nivel alto de aciertos (> 60%):
 - Modelos de matorral: 4.C, 6.A y 6.B
 - Modelos de matorral bajo arbolado: 7.A, 7.B, 7.C₁, 7.D₁, 7.E
 - Modelos de arbolado con hojarasca: 9.A, 9.B
 - Modelo para las formaciones xerófilas: 11.A

Un análisis detallado de los resultados y errores de asignación permitió identificar los siguientes casos:

1. Existe dificultad para discriminar entre los modelos de pastizal (1.A y 2.A) y el modelo 0 (no combustible)
2. Los modelos 5 de matorral de porte bajo (en especial el 5.C para matorral de alta montaña) se confunden con los modelos de pastizal (1.A y 2.A) y el modelo 0 (no combustible).
3. Los modelos de matorral más denso y alto (modelos 4) se discriminan mal de los modelos de matorral denso con altura media (modelos 6)
4. Resulta difícil distinguir entre los modelos de matorral bajo arbolado (modelos 7), en especial discriminar entre los distintos submodelos existentes.

Los resultados de esta primera verificación permitieron detectar algunas deficiencias en los algoritmos de clasificación iniciales, que han sido mejorados en la nueva versión de la cartografía entregada con el presente informe. En el siguiente epígrafe se detallan los cambios realizados a ese respecto y su justificación.

Modelos de combustible		Verdad Terreno																									Acuerdo Usuario	
		0	1.A	2.A	4.B	4.C	5.B	5.C	5.D	6.A	6.B	6.C	7.A	7.B	7.C ₁	7.C ₂	7.D ₁	7.D ₂	7.E	7.F ₁	7.F ₂	7.G	9.A	9.B	11.A	Total		
Cartografía LIDAR	0	7	1	2	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	54%	
	1.A	12	3	2	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	21	14%	
	2.A	3	5	6	0	0	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	3	0	22	27%	
	4.B	0	0	0	6	3	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	40%	
	4.C	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	100%	
	5.B	0	0	0	0	0	1	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	20%	
	5.C	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0%	
	5.D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	
	6.A	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	100%	
	6.B	0	0	0	0	3	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	70%	
	6.C	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	5	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	56%	
	7.A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	100%	
	7.B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	100%	
	7.C ₁	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14	2	1	1	0	0	0	0	1	0	19	74%	
	7.C ₂	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	8	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	12	0%
	7.D ₁	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	3	0	11	0	0	0	0	0	0	0	0	15	73%	
	7.D ₂	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2	50%
	7.E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	4	100%
	7.F ₁	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0%	
	7.F ₂	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
7.G	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	1	0	9	44%	
9.A	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0	11	73%		
9.B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	12	0	15	80%		
11.A	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	9	89%	
Total		23	9	11	10	15	2	7	1	7	11	6	10	13	27	3	13	2	4	0	3	4	9	19	8	220		
Acuerdo Productor		27%	33%	55%	60%	47%	50%	0%	0%	86%	64%	83%	80%	31%	52%	0%	85%	50%	100%	-	0%	100%	89%	63%	100%		55%	

Tabla 1. Matriz de confusión para la cartografía inicial de modelos de combustible

Modificación de los algoritmos de decisión

Durante el proceso de validación de la cartografía inicial se han detectado dificultades para la correcta discriminación de algunos modelos de combustible debidos a errores en los algoritmos de decisión. Estos **algoritmos fueron corregidos para las formaciones forestales pertinentes**, a partir de los cuales se obtuvieron posteriormente unos nuevos mapas de modelos de combustible mejorados respecto a los presentados en la entrega anterior (Agosto 2015). Los resultados de la validación final para estos nuevos mapas de modelos de combustible mejorados se exponen en el epígrafe siguiente (3.3).

En las siguientes líneas se detallan y justifican los cambios realizados para mejorar la cartografía inicial de modelos de combustible, especificando las formaciones forestales que han sido corregidas:

- Masas arboladas con presencia de sotobosque: Inicialmente se consideraron los **submodelos** existentes **dentro de las formaciones arboladas con sotobosque (modelos 7)**. Sin embargo, durante el proceso de validación se puso de manifiesto que una adecuada discriminación entre dichos submodelos no era posible con las fuentes de datos utilizadas, ya que su definición se basa en diferencias sutiles sobre la abundancia y composición de especies del sotobosque. Este tipo de información no estaba disponible en la cartografía de vegetación y tampoco se podía obtener a partir de los datos LiDAR, siendo necesaria para su correcta identificación la adquisición de datos de inventario en campo. Por lo tanto, en la nueva cartografía mejorada se proponen su **simplificación, eligiendo siempre entre las dos opciones para cada modelo 7, aquella que presenta un comportamiento del fuego más peligroso** (siguiendo un criterio de seguridad). De esta forma, todas las tablas con los algoritmos de asignación asociados a las formaciones arboladas con presencia de sotobosque que presentaban submodelos fueron corregidas según se detalla a continuación:
 - Modelos 7.C: se asigna siempre el **modelo 7.C₁**, que es más peligroso que el 7.C₂
 - Modelos 7.D: se asigna siempre el **modelo 7.D₁**, que es más peligroso que el 7.D₂
 - Modelos 7.F: se asigna siempre el **modelo 7.F₂**, que es más peligroso que el 7.F₁
- Matorrales de alta montaña: por debajo de la cobertura mínima de matorral para la asignación del modelo 5.C (FCC matorral > 50%), no hay suficiente vegetación herbácea. Por tanto, el modelo más adecuado a asignar en este tipo de vegetación **cuando FCC mat < 50%** es el **modelo 0 (sin modelo)**, en lugar de los modelos 1.A y 2.A (propuestos inicialmente).
- Fayal-breza: inicialmente, se habían agrupado dos formaciones distintas para este tipo de vegetación, las denominadas como Fayal-breza con pinos (22) y Resto de fayal-breza (23). Sin embargo dada su importancia, tanto a nivel de superficie ocupada como debido a su peligrosidad por el comportamiento del fuego asociado en un potencial incendio, se decide diferenciarlas y asignarles algoritmos independientes.
 - **Fayal-breza con pinos (22)**: algoritmo similar al **Pinar húmedo** cuando hay presencia suficiente del estrato arbolado, y similar a la **Laurisilva** arbustiva en caso contrario.
 - **Resto de fayal-breza (23)**: algoritmo similar a la **Laurisilva** (que incluye tanto modelos de porte arbóreo como de porte arbustivo)

- Herbazales (19): se asume que en general los **pastizales canarios son de baja altura (< 0,5 m)**, por lo que su detección con LiDAR es difícil. De hecho, los retornos por debajo del umbral 0,4 m fueron descartados como puntos de vegetación sistemáticamente en todo el proceso de generación de la cartografía por los posibles errores inherentes a los cálculos del MDT. Este implica una **tendencia a subestimar la cobertura del pastizal o herbazal existente**. En la nueva cartografía generada se revisan las FCC propuestas en el algoritmo de esta formación, para homogeneizar con el resto de casos (umbrales entre los modelos 1.A y 2.A). Por otro lado, a priori **no se puede distinguir entre la cobertura del pasto y la del matorral bajo** con los datos LiDAR. Sin embargo, dado que los herbazales suelen ser bajos, se supone que si la altura media es mayor a 1 m es por presencia de especies de matorral, por lo que se propone la asignación del modelo 2.A (mixto) o el modelo 6 (matorral) en función de la FCC existente para esos casos de mayor altura media.
- En las formaciones forestales en las que se asignaba el modelo 5.A (definido para matorral de altura < 1,2 m con FCC 30-60% y presencia de especies herbáceas), se han corregido todas las tablas de los algoritmos iniciales. En la nueva cartografía generada **se sustituye por el modelo 5.D**, ya que es más coherente tanto con el comportamiento del fuego esperado cuando FCC > 50% (modelo de matorral) como en el caso de FCC entre 25-50% (modelo mixto 2.A).
- Para los casos de estratos arbustivos de todas las formaciones forestales (estrato de matorral), se corrigen las tablas de los algoritmos asociados con el fin de **ampliar** los casos de asignación del **modelo 4 (matorral con h > 2m) cuando FCC > 50%** (antes sólo se asignaba para FCC > 75%). Esta modificación se justifica debido a que se detectaron errores por omisión de los modelos 4 que se asociaban a los modelos 6, y tiene además especial relevancia a nivel de seguridad (el modelo 4 es el más peligroso de matorral por tener una mayor cantidad de combustible).

En el ANEXO se incluyen todas las tablas para las diferentes formaciones forestales que han sido modificadas, en las que se detallan los cambios realizados en los algoritmos de decisión para la obtención de la nueva cartografía generada y entregada junto con el presente informe. Los resultados de la validación de esta nueva cartografía se detallan en el siguiente epígrafe.

Validación de la cartografía final

Resultados reales

En este apartado se evalúan los resultados de fiabilidad reales de la **nueva cartografía generada** a partir de las **mejoras de los algoritmos de decisión** utilizados para la asignación automática de los modelos de combustible.

La matriz de confusión para esta nueva cartografía de modelos de combustible mejorada (ver Tabla 2) se calculó a partir de los mismos **220 puntos de muestreo en campo** utilizados como referencia para la evaluación de la cartografía inicial. Los resultados obtenidos indican una **fiabilidad global de la cartografía del 65%**, lo que supone una mejora sustancial respecto a la versión inicial (55%). El coeficiente Kappa en este caso es 0,63 (es decir, que la nueva cartografía de modelos de combustible

obtenida es un 63% mejor que la esperada mediante una asignación al azar). Analizando el porcentaje de aciertos del usuario de esta nueva cartografía encontramos los siguientes resultados:

- Modelos con un nivel bajo de aciertos (< 30%):
 - Modelos de matorral de porte bajo: 5.B, 5.C (altura del matorral < 1,2 m). NOTA: el modelo 5.D no se puede analizar por no tener ningún punto (superficie ocupada demasiado pequeña)
- Modelos con un nivel de aciertos medio (30-60%):
 - Modelos de pastizal: 1.A (herbazales) y 2.A (mezcla de pastizal y matorral)
 - Modelo de matorral alto y denso asociado a especies menos inflamables: 4.B
 - Modelo de matorral bajo arbolado asociado a especies termófilas: 7.G
 - Modelo 0 (no combustible)
- Modelos con un nivel alto de aciertos (> 60%):
 - Modelos de matorral: 4.C, 6.A, 6.B, 6.C
 - Modelos de arbolado con sotobosque: 7.A, 7.B, 7.C, 7.D, 7.E, 7.F
 - Modelos de arbolado con hojarasca: 9.A, 9.B
 - Modelo para las formaciones xerófilas: 11.A

Modelos de combustible		Verdad Terreno																						Acierto Usuario
		0	1.A	2.A	4.B	4.C	5.B	5.C	5.D	6.A	6.B	6.C	7.A	7.B	7.C	7.D	7.E	7.F	7.G	9.A	9.B	11.A	Total	
Cartografía LIDAR	0	22	6	4	0	0	0	7	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	41	54%
	1.A	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	4	50%
	2.A	0	1	6	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	3	0	12	50%
	4.B	0	0	0	8	3	0	0	0	2	0	1	0	6	1	0	0	0	0	0	0	0	21	38%
	4.C	0	0	0	0	8	0	0	0	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	62%
	5.B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0%
	5.C	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0%
	5.D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
	6.A	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	100%
	6.B	0	0	0	0	2	1	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	70%
	6.C	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	80%
	7.A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	100%
	7.B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	2	0	0	0	0	0	0	0	7	71%
	7.C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22	3	0	1	0	0	2	0	28	79%
	7.D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	3	11	0	0	0	0	0	0	15	73%
	7.E	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	4	0	0	0	0	0	6	67%
	7.F	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	100%
	7.G	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	4	0	1	0	9	44%
	9.A	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	9	0	0	12	75%
	9.B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	12	0	14	86%
	11.A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	8	100%
	Total		23	9	11	10	15	2	7	1	7	11	6	10	13	30	15	4	3	4	9	19	8	220
Acierto Productor		85%	22%	55%	80%	53%	0%	0%	0%	29%	64%	67%	80%	38%	73%	73%	100%	33%	100%	100%	63%	100%		65%

Tabla 2. Matriz de confusión para la nueva cartografía mejorada de modelos de combustible

Resultados potenciales

Aunque se ha realizado un gran esfuerzo por actualizar el mapa de vegetación y transformarlo en el mapa de formaciones forestales existentes que sirviera de input para la asignación de los modelos de combustible, dicha actualización se ha encontrado con algunas dificultades que condicionan los resultados obtenidos.

Para una correcta **validación de la metodología de asignación de modelos de combustible** (es decir, excluyendo una validación del mapa de formaciones forestales) se **depuraron los datos de campo**, eliminando aquellos puntos en los que el origen del error era la discrepancia con la vegetación existente (**errores debidos a imprecisiones del mapa de formaciones forestales**). De esta forma se procedió a verificar la capacidad de la metodología propuesta para la correcta asignación de los modelos de combustible basada exclusivamente en la evaluación de los parámetros derivados de los datos LIDAR, es decir, suponiendo que el tipo de vegetación existente obtenida mediante la cartografía de base fuese el correcto.

Los resultados potenciales para la nueva cartografía mejorada, obtenidos a partir de **174 puntos de referencia** tras eliminar aquellos cuya fuente de error procedía del mapa de formaciones forestales, indican unos resultados muy buenos (ver Tabla 3). La **fiabilidad global** de la metodología propuesta para la asignación de modelos de combustible **aumenta hasta el 82%**, con un coeficiente Kappa del 0,81 (es decir, que la clasificación de modelos de combustible obtenida con la metodología propuesta es un 81% mejor que la esperada mediante una asignación al azar).

Estos **resultados son muy prometedores** ya que ponen de manifiesto que, a pesar de las limitaciones encontradas y de la ausencia de trabajo de campo, la metodología propuesta para la asignación de modelos de combustible de alta resolución a partir de los datos LiDAR para grandes superficies tiene un **alto grado de fiabilidad si se consiguen mejorar los mapas de vegetación de entrada** (básicamente, haciendo una actualización con una mayor escala e incorporando nuevas técnicas de teledetección para la discriminación semiautomática previa según el tipo de vegetación).

Modelos de combustible		Verdad Terreno																						Acierto Usuario
		0	1.A	2.A	4.B	4.C	5.B	5.C	5.D	6.A	6.B	6.C	7.A	7.B	7.C	7.D	7.E	7.F	7.G	9.A	9.B	11.A	Total	
Cartografía LIDAR	0	22	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29	76%
	1.A	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	3	67%
	2.A	0	1	6	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	9	67%
	4.B	0	0	0	8	0	0	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	73%
	4.C	0	0	0	0	8	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	73%
	5.B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0%
	5.C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
	5.D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-
	6.A	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	100%
	6.B	0	0	0	0	2	1	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	70%
	6.C	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	80%
	7.A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	100%
	7.B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	5	100%
	7.C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22	0	0	1	0	0	2	0	25	88%
	7.D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	0	0	0	0	0	11	100%
	7.E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	4	100%
	7.F	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	100%
	7.G	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	1	5	80%
	9.A	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	9	0	12	75%
	9.B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	12	0	14	86%
	11.A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	8	100%
	Total		22	3	7	9	11	2	7	0	4	11	5	8	7	24	11	4	3	4	9	16	8	174
Acierto Productor		100%	67%	100%	89%	73%	0%	0%	-	50%	64%	80%	100%	71%	92%	100%	100%	33%	100%	100%	75%	100%		82%

Tabla 3. Matriz de confusión potencial para la nueva cartografía de modelos de combustible, obtenida al depurar los errores debidos a imprecisión de la cartografía de formaciones forestales.

Conclusiones

Consideraciones generales

Como ya se indicó anteriormente, la metodología propuesta permite la **obtención de cartografía de modelos de combustible en diferentes formatos** (vector y raster) **a elevados grados de detalle** (alta y media resolución) **y para diferentes tipos de caracterizaciones de modelos de combustible** (canarios y clásicos de Rothermel).

En general, esta es una metodología que a priori presenta las siguientes **desventajas**:

- no tiene en cuenta la **presencia y proporción de combustibles vivos y muertos**, o su distribución en **finos y gruesos** (cargas de combustible por clases de tamaño)
- si bien la información de estructura posee un grado de fiabilidad muy alta, los resultados **dependen de disponer de buenos mapas de vegetación** con un moderado nivel de detalle y un mínimo grado de actualización
- los mapas de vegetación no suelen informar sobre la composición del matorral bajo arbolado, ya que es una cuestión difícilmente identificable. Sin embargo en algunos modelos 7, es una aspecto de relevancia en su asignación

Por otro lado, las **ventajas** fundamentales de la metodología empleada son las siguientes:

- **Obtener cartografías de grandes cantidades de superficie a bajo coste:** se aprovechan recursos existentes de otros trabajos. Se trata de una metodología de muy bajo coste, ya que por un precio muy ajustado se aborda un trabajo a escala de las 5 islas forestales de Canarias, cubriendo más de 367.000 ha que suponen un 73% de la superficie total de las Islas Canarias.
- **Trabajar con un elevado nivel de detalle.** Se aprovecha la información LiDAR capturada en los vuelos de GRAFCAN para generar una cartografía de modelos de combustible de alta resolución (celdas de 25x25 m), mucho mayor de la que se está utilizando en la actualidad.
- **Resultados fácilmente actualizables:**
 - En cuanto a la **información de estructura** (sensores LiDAR), GRAFCAN realiza vuelos periódicos cada año o año y medio por lo que las **actualizaciones futuras a bajo precio** están aseguradas. Además, el Plan Nacional de Ortofotografía Aérea prevé actualizaciones cada 2 o 3 años, lo que supone que está previsto que exista revisión de la información base de trabajo con una periodicidad muy alta.
 - Respecto la **composición vegetal**, es posible la aplicación de **técnicas combinadas** de procesamiento de datos procedentes de **sensores remotos activos y pasivos** para obtener cartografías actualizadas a bajo coste.

Limitaciones específicas

- **Zonas de interfaz urbano-forestal:** en estas áreas no se aporta información diferenciadora ya que, dada la **escala de trabajo utilizada en el mapa de formaciones forestales**, las zonas de interfaz urbano forestal se han caracterizado en su totalidad con el tipo de formación denominada **“Restos de áreas”** en donde no se dispone de información sobre la presencia o

ausencia de vegetación y/o el tipo de vegetación combustible (asignación por defecto del modelo 0 “no combustible”).

- **Masas arboladas:** no tenemos información sobre la composición del sotobosque, por lo que los datos no son del todo estrictos en los modelos 7 de matorral bajo arbolado. No obstante, disponemos de la información estructural de los datos LIDAR (altura y cobertura del matorral bajo arbolado, continuidad/discontinuidad vertical) para poder discriminar bien entre los modelos 9 (hojarasca) y los modelos 7 (matorral bajo arbolado). Además, en los modelos 7 que se diferencian por la composición no es fácil la asignación al no poder discriminar bien entre algunos casos (e.g. difícil distinguir entre modelos 7.C, 7.D, 7.E y 7.G, ya que todos son modelos para pinares cuya principal diferencia se basa en la composición específica del sotobosque). Esta dificultad es aún mayor a la hora de tratar de distinguir entre submodelos dentro de este grupo de modelos 7, por lo que en la nueva versión se propone su simplificación ya que no se garantizan los resultados para ese nivel de detalle. La posible mejora en la clasificación para este tipo de modelos **sólo sería posible mediante la realización de trabajo de campo**, puesto que con teledetección sólo disponemos de la información relativa a las copas y no del sotobosque existente bajo el arbolado.
- **Herbazales:** son difíciles de discriminar por los siguientes motivos
 - **LiDAR subestima la FCC real** al tener alturas muy próximas al suelo
 - No es posible discriminar entre la **cobertura del matorral y del pastizal** mediante datos LiDAR
- **Matorrales de porte bajo:** estos tipos de matorral de baja altura (modelos 5) están muy poco representados en la cartografía. Las explicaciones posibles son:
 - Puede que haya realmente **poca superficie de algunos modelos 5** en campo (e.g. caso del modelo 5.D propuesto para matorrales que generalmente tienen un mayor porte, como el fayal-brezal, para cubrir todo el rango de alturas posibles que se pueden dar en casos excepcionales, como el rebrote tras un incendio): su cobertura (FCC) tiene que ser mayor del 50%, y si no sería modelo 2 (mezcla con pastizal) o modelo 0 (sin modelo).
 - **LiDAR subestima la FCC real del matorral bajo:** al tener alturas muy próximas al suelo, no se detecta bien las coberturas de estos matorrales, resultando en asignaciones del modelo 1 (pastos), 2 (mixto pasto-matorral) o 0 (sin modelo) según los casos.
 - Para el caso particular del **modelo 5.A** (definido para matorral bajo con FCC entre 30-60% y con presencia de herbáceas) no se contempla su asignación en la nueva cartografía, ya que **se sustituye por el modelo 2.A (redefinido para FCC matorral entre 25-50%)** al cubrir casos similares pero con comportamiento del fuego más peligroso (conceptualmente, el modelo 5.A era prácticamente un caso particular del modelo 2.A, definido como mixto matorral-pasto, pero que se limitaba a altura < 1,2 m).
 - Para el caso particular del **modelo 5.C (matorral bajo de alta montaña)**: las zonas en las que se asigna el modelo 5.C en la cartografía cubren una superficie pequeña, y se ha detectado que en general son en realidad zonas de modelo 0 que corresponden a **peñas rocosas** escarpadas ubicadas en zonas de matorral de alta montaña. El bajo % de aciertos se debe a dos causas:
 - Por un lado, estos son **errores debidos al mapa de vegetación** por la diferencia en la escala de trabajo respecto a la información LiDAR (las teselas de la

cartografía de vegetación no discriminan las zonas rocosas dentro de las zonas de matorral).

- Y por otro lado, existe un error debido al sistema de clasificación automática de los datos LiDAR: los **retornos LIDAR están mal clasificados como vegetación** cuando en realidad son suelo (errores debidos a la irregularidad del terreno).

Propuestas de mejora

Para actualizaciones futuras de los mapas de combustible presentados, se podrían llevar a cabo las siguientes acciones:

- Una primera, la más sencilla y directa es **la aplicación de los datos LiDAR de futuras campañas** de vuelo que se realicen en las Islas para actualizar la cartografía de modelos de combustible. Esta acción es altamente recomendable por su bajo coste por un lado y por rentabilizar y dar uso a la captura de datos LiDAR que se realizan de forma periódica en las islas.
- Realizar **trabajos de campo** para aquellas zonas donde existe un **estrato de vegetación bajo arbolado**, con el fin de identificar la composición de esos estratos inferiores y afinar en la caracterización de los modelos 7. Mediante un procesamiento inicial de los datos LiDAR es posible identificar las potenciales superficies donde se dan estas circunstancias de matorral bajo arbolado y dirigir de forma precisa la ubicación donde el trabajo de campo es necesario.
- Verificar la existencia de **formaciones de porte bajo**, como son los herbazales, ya sean de tipo puro (1.A) o mixto (2.A), así como el matorral de porte bajo (modelos 5), mediante **índices de vegetación** obtenidos a partir de sensores remotos pasivos, para discriminarlas mejor de las zonas con ausencia de vegetación (modelo 0). También se podrían reforzar con muestreos de campo para garantizar una adecuada estimación de la **cobertura y altura** de la vegetación (generalmente subestimada con los datos LIDAR, por estar muy próxima al suelo).
- Realizar **actualizaciones del mapa de vegetación** por medios que no estén basados en la fotointerpretación manual. El trabajo realizado en la creación del mapa de formaciones forestal ha implicado un importante esfuerzo. Sin embargo, la **aplicación de técnicas de procesamiento de datos procedente de sensores remotos** permite aliviar el trabajo del operador así como alcanzar mejores niveles de detalle por un lado y aumentar en la objetividad y homogeneidad de los resultados por otro.
- Desarrollar cartografías de modelos de combustible basados únicamente en la **componente estructural** de las masas, tales como los modelos de la clasificación Prometheus; eliminando así la fuente de entrada de datos menos precisa al procesamiento.

Seguramente, **la mejor opción** pasa por **una combinación de varias de las acciones apuntadas**, en concreto:

- La utilización de un mapa de vegetación actualizado mediante el uso de sensores remotos para, combinado con datos estructurales del LiDAR, desarrollar segmentos homogéneos en cuanto a composición y estructura.

- Localizar aquellos segmentos donde exista dificultad para identificar su composición, bien sean matorrales bajo arbolado, o formaciones difícilmente distinguibles entre sí (e.g. matorral de porte bajo, herbazales) para llevar a cabo trabajo de campo específico
- Finalmente, combinar el resultado del trabajo de campo con la generación de modelos expertos (similares a los algoritmos de decisión) que permitan asignar a cada segmento el modelo de combustible correspondiente.

Listado de cartografía entregada

Todas las cartografías se han actualizado y están disponibles tanto para los modelos de combustible canarios, como los modelos de combustible clásicos NFFL de Rothermel.

Los nuevos nombres de las cartografías son:

Isla	Nombre raster	Descripción
El Hierro	<i>hi_mc_can</i>	Modelos de combustible de Canarias de alta resolución
El Hierro	<i>hi_mc_can_sieve</i>	Modelos de Canarias, tras agrupación de píxeles y eliminación de píxeles aislados
El Hierro	<i>hi_mc_gen</i>	Modelos de combustible Clásicos de alta resolución
El Hierro	<i>hi_mc_gen_sieve</i>	Modelos Clásicos, tras agrupación de píxeles y eliminación de píxeles aislados
La Palma	<i>lp_mc_can</i>	Modelos de combustible de Canarias de alta resolución
La Palma	<i>lp_mc_can_sieve</i>	Modelos de Canarias, tras agrupación de píxeles y eliminación de píxeles aislados
La Palma	<i>lp_mc_gen</i>	Modelos de combustible Clásicos de alta resolución
La Palma	<i>lp_mc_gen_sieve</i>	Modelos Clásicos, tras agrupación de píxeles y eliminación de píxeles aislados
La Gomera	<i>go_mc_can</i>	Modelos de combustible de Canarias de alta resolución
La Gomera	<i>go_mc_can_sieve</i>	Modelos de Canarias, tras agrupación de píxeles y eliminación de píxeles aislados
La Gomera	<i>go_mc_gen</i>	Modelos de combustible Clásicos de alta resolución
La Gomera	<i>go_mc_gen_sieve</i>	Modelos Clásicos, tras agrupación de píxeles y eliminación de píxeles aislados
Gran Canaria	<i>gc_mc_can</i>	Modelos de combustible de Canarias de alta resolución
Gran Canaria	<i>gc_mc_can_sieve</i>	Modelos de Canarias, tras agrupación de píxeles y eliminación de píxeles aislados
Gran Canaria	<i>gc_mc_gen</i>	Modelos de combustible Clásicos de alta resolución
Gran Canaria	<i>gc_mc_gen_sieve</i>	Modelos Clásicos, tras agrupación de píxeles y eliminación de píxeles aislados
Tenerife	<i>tf_mc_can</i>	Modelos de combustible de Canarias de alta resolución
Tenerife	<i>tf_mc_can_sieve</i>	Modelos de Canarias, tras agrupación de píxeles y eliminación de píxeles aislados
Tenerife	<i>tf_mc_gen</i>	Modelos de combustible Clásicos de alta resolución
Tenerife	<i>tf_mc_gen_sieve</i>	Modelos Clásicos, tras agrupación de píxeles y eliminación de píxeles aislados

Cartografía de modelos combustible: Nombre de los archivos cartográficos en **formato raster**

Fuente: *Elaboración propia*

Finalmente para los raster de resolución media es posible su conversión a **formato shapefile** con un tamaño de archivo manejable. En este formato cartográfico se ha incluido un campo alfanumérico que contiene el nombre de cada modelo de combustible que sustituye el código que los identificaba en los archivos de tipo raster.

Isla	Nombre shapefile	Descripción
El Hierro	<i>hi_mc_can_sieve</i>	Modelos de combustible de Canarias, en formato vector
El Hierro	<i>hi_mc_gen_sieve</i>	Modelos de combustible Clásicos, en formato vector

Isla	Nombre shapefile	Descripción
La Palma	<i>lp_mc_can_sieve</i>	Modelos de combustible de Canarias, en formato vector
La Palma	<i>lp_mc_gen_sieve</i>	Modelos de combustible Clásicos, en formato vector
La Gomera	<i>go_mc_can_sieve</i>	Modelos de combustible de Canarias, en formato vector
La Gomera	<i>go_mc_gen_sieve</i>	Modelos de combustible Clásicos, en formato vector
Gran Canaria	<i>gc_mc_can_sieve</i>	Modelos de combustible de Canarias, en formato vector
Gran Canaria	<i>gc_mc_gen_sieve</i>	Modelos de combustible Clásicos, en formato vector
Tenerife	<i>tf_mc_can_sieve</i>	Modelos de combustible de Canarias, en formato vector
Tenerife	<i>tf_mc_gen_sieve</i>	Modelos de combustible Clásicos, en formato vector

Cartografía de modelos combustible: Nombre de los archivos cartográficos en **formato shapefile**

Fuente: Elaboración propia

Referencias

Cogalton R.G., 1991. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. Remote Sensing of Environment 37: 35-46.

Anexo: Actualización Algoritmos de Decisión

A continuación se incluyen las tablas para las diferentes formaciones forestales que han sido modificadas, en las que se detallan los cambios realizados en los algoritmos de decisión para la obtención de la nueva cartografía generada y entregada junto con el presente informe.

En relación a esta información hay que hacer las siguientes puntualizaciones:

- Sólo se incluyen las tablas de los algoritmos modificados respecto al informe entregado inicialmente (Agosto 2015)
- Las modificaciones están resaltadas **en negrita**
- En la mayoría de casos, al ampliar el rango cubierto por la variable FCC, se han eliminado las filas de la tabla inicial asociadas a valores anteriores de FCC.
- En algunos casos, se modifica también el modelo asignado

Bosque termófilo (1), Pinar con matorral termófilo (5), Pinar con codesos (6)

- Arbolado sin continuidad vertical (dos estratos diferenciados, criterio CRR):

FCC árbol (FCC_h4a50)	FCC mator. (FCC_h04a4)	H mator. (Hm_h04a4)	Modelo canario	Observaciones
>30%	>30%	>=1.2	7.G (77)	Estos modelos canarios son para pinar, pero son aplicables al bosque termófilo porque serían los que más encajan por las especies agrupadas en esta formación (e.g. sabinar). Ampliamos el concepto de alta cobertura inicial, a sotobosque de densidad variable para 7.F2 (el más peligroso para esa altura).
		<1.2	7.F2 (762)	
	<=30%	0-100	9.B (92)	Se propone el modelo de hojarasca más peligroso

- Arbolado con continuidad vertical (criterio CRR): no se modifica
- Estrato de matorral (FCC arbolada < 30%):

FCC árbol (FCC_h4a50)	FCC mator. (FCC_h04a4)	H mator. (Hm_h04a4)	Modelo canario	Observaciones
<=30%	>=50%	>=2	4.B (42)	Es el más peligroso para esta altura y cobertura
		1.2-2	6.C (63)	El 6.C se supone es h>1.5 m, pero es un criterio orientativo y se puede establecer h>1.2
		<=1.2	5.D (54)	El 5.D no encaja exactamente en cuanto a especies (aparentemente mejor el 5.A) pero tiene sentido por comportamiento ya que es más peligroso, y es coherente con el modelo propuesto para FCC 25-50% (el modelo 2.A)
	25-50%	0-100	2.A (2)	Mezcla de matorral y pastizal

	<=25%	0-100	1.A (1)	Predominio de pastizal
--	-------	-------	---------	------------------------

Brezal (2)

FCC única (FCC_unico)	hm única (Hm_unico)	Modelo canario	Observaciones
>=50%	>=2	4.B (42)	Aunque por definición encajaría el modelo 4.A, claramente por comportamiento del fuego este tipo de matorral es muy inflamable y cuadra más con el 4.B
	1.2-2	6.C (63)	Se baja la altura a 1.2 (el 6.C indica h>1.5) para armonizar rangos de los tipos de matorral en todos los casos (esos 30 cm de altura mínima son irrelevantes)
	<=1.2	5.D (54)	Para esta altura no encaja ningún modelo exactamente, pero se propone el 5.D (aunque aparentemente encaja mejor el 5.A en cuanto a especies) ya que es más peligroso, y tiene sentido por comportamiento ya que es coherente con el modelo propuesto para FCC 25-50% (el modelo 2.A)
25-50%	0-100	2.A (2)	Mezcla de matorral y pastizal
<=25	0-100	1.A (1)	Predominio de pastizal

Laurisilva (3)

- Arbolado sin continuidad vertical (dos estratos, criterio CRR): no se modifica
- Arbolado con continuidad vertical (criterio CRR): no se modifica
- Estrato de matorral (FCC arbolada < 30%):

FCC árbol (FCC_h4a50)	FCC mator. (FCC_h04a4)	H mator. (Hm_h04a4)	Modelo canario	Observaciones
<=30%	>=50%	>=2	4.C (43)	Aunque no cuadra por especies, asignamos 4.C porque el comportamiento del fuego sería más peligroso que el 4.A (fuego rápido pero poco intenso propuesto para Monteverde, que no encaja) pero menos que 4.B (comportamiento extremo, asignado a brezal).
		1.2-2	6.B (62)	Aunque no encaja por especies (suculentas), asignamos 6.B porque el comportamiento del fuego sería moderado (menos peligroso que 6.A y 6.C), aunque el fuego sea algo más rápido que 4.C (todos los modelos 6 son más rápidos que 4.C). Se amplía la altura desde 1.2 m para armonizar rangos de los tipos de matorral en todos los casos
		<=1.2	5.B (52)	Aunque no encaja por especies (suculentas), asignamos 5.B porque el comportamiento del fuego sería moderado (menos intensidad que 5.D).
	25-50%	0-100	2.A (2)	Mezcla de matorral y pastizal
	<=25	0-100	1.A (1)	Predominio de pastizal

Palmeral (4)

- Arbolado sin o con continuidad vertical: no se modifica
- Estrato de matorral (FCC arbolada < 30%): se comporta como el **NUEVO** del matorral del **Bosque termófilo (1)**

Pinar genérico (7), Pinar – sabinar (8), Pinar con cedros (9), Pinar y cipreses (14), Pinar con eucaliptos y palmeras (17)

- Arbolado sin continuidad vertical (dos estratos diferenciados, criterio CRR):

FCC árbol (FCC_h4a50)	FCC mator. (FCC_h04a4)	H mator. (Hm_h04a4)	Modelo canario	Observaciones
>30%	>30%	>1.2	7.C ₁ (731)	Sin conocer la composición de especies del matorral no es posible diferenciar los modelos 7.C, de 7.D y de 7.G. Se propone asignar el modelo que produce un comportamiento más extremo, ampliando el concepto de alta cobertura inicial, a sotobosque de densidad variable: 7.C₁
		<=1.2	7.F ₂ (762)	Modelo específico para pinar que encaja por definición y por comportamiento. Ampliamos el concepto de alta cobertura inicial, a sotobosque de densidad variable para 7.F2 (el más peligroso para esa altura).
	<=30%	0-100	9.B (92)	Modelo específico para hojarasca de pinares

- Arbolado con continuidad vertical (criterio CRR): no se modifica
- Estrato de matorral (FCC arbolada < 30%):

FCC árbol (FCC_h4a50)	FCC mator. (FCC_h04a4)	H mator. (Hm_h04a4)	Modelo canario	Observaciones
<=30%	>=50%	>=2	4.B (42)	Ante la duda de especies, especificamos el modelo 4.B porque es el más peligroso
		=1.2-2	6.C (63)	Podrían ser tanto 6.A como 6.C al no conocer las especies. Ambos predicen fuegos similares, pero se propone 6.C por tener mayor intensidad del fuego
		<1.2	5.D (54)	Los modelos 5.B y 5.C predicen fuegos similares. Se propone 5.D que presenta un comportamiento algo más peligroso
	25-50%	0-100	2.A (2)	Mezcla de matorral y pastizal
	<=25	0-100	1.A (1)	Predominio de pastizal

Pinar húmedo (10)

- Arbolado sin continuidad vertical (dos estratos diferenciados, criterio CRR):

FCC árbol (FCC_h4 a50)	FCC mator. (FCC_h04a4)	H mator. (Hm_h04a4)	Modelo canario	Observaciones
>30%	>30%	0-100	7.E (75)	Se propone asignar 7.E con cualquier altura. Poner 7.F ₂ para h < 1.2 m no tiene sentido porque al incluir especies más inflamables el comportamiento del fuego es mucho más peligroso que 7.E. Ampliamos a sotobosque de densidad variable
	<=30%	0-100	9.B (92)	Aunque al ser pinar húmedo sería menos inflamable que otras formaciones, por compactación y estructura este es el modelo de hojarasca más adecuado.

- Arbolado con continuidad vertical (criterio CRR): no se modifica
- Estrato de matorral (FCC arbolada < 30%): se comporta como el **NUEVO** de la **Laurisilva (3)**

Tarajal (12)

Se comporta como el **NUEVO** del **Brezal (2)**

Cipreses (13)

- Arbolado sin o con continuidad vertical: no se modifica
- Estrato de matorral (FCC arbolada < 30%): se comporta como el **NUEVO** del matorral del **Bosque termófilo (1)**

Diversas especies arbóreas (15)

- Arbolado sin o sin continuidad vertical: no se modifica
- Estrato de matorral (FCC arbolada < 30%): se comporta como el **NUEVO** del matorral del **Bosque termófilo (1)**

Eucaliptal (16)

- Arbolado sin o con continuidad vertical: no se modifica
- Estrato de matorral (FCC arbolada < 30%): se comporta como el **NUEVO** del matorral del **Bosque termófilo (1)**

Resto de herbazales (19)

Hmedia único (Hm_unico)	FCC único (FCC_unico)	Modelo canario	Observaciones
0,4- 1= m	0-100	1.A (1)	Modelo específico del pastizal
>1 m	<=25%	1.A (1)	Predomina el pastizal, la cobertura del matorral no es suficiente
	25-50%	2.A (2)	Mezcla pastizal y matorral

Hmedia único (Hm_unico)	FCC único (FCC_unico)	Modelo canario	Observaciones
	>=50%	6.A (61)	Se considera que para estas alturas ya no es herbazal predominante. Sería matorral, asignando modelo 6.A por ser el más peligroso, teniendo en cuenta que la mezcla con pastizal circundante facilita y acelera la propagación

Fayal – brezal con pinos (22)

- Arbolado sin o con continuidad vertical:

En el caso de existir suficiente cobertura de pinar (FCC arbolado > 30%), por su composición y estructura (pinar con predominio de fayas y brezos) esta formación forestal se corresponde con un Pinar con sotobosque de especies de Monteverde. Por tanto, los algoritmos propuestos serían los mismos que los **NUEVOS** asociados a la formación **Pinar húmedo (10)**.

- Estrato de matorral (FCC arbolada < 30%):

Si no hay suficiente cobertura de pinos (FCC arbolado < 30%), sería el mismo algoritmo que el **NUEVO** para el estrato de matorral de **Laurisilva (3)**.

Resto del Fayal – brezal (23)

Se considera independiente del caso anterior (Fayal-brezal con pinos) al no existir estrato dominante de pinos sino especies exclusivamente de Monteverde. Puede tener porte arbóreo o arbustivo. Por tanto los algoritmos propuestos son los mismos que los **NUEVOS** para la formación **Laurisilva (3)**, tanto para arbolada (FCC arbolada > 30%) como para matorral (FCC arbolada < 30%).

Jaral (24), Codesar (26), Escobonal – codesar (28), Escobonal (27), Retamar blanco (42), Tagasastes (51)

Se comporta como el **NUEVO** del **Brezal (2)**

Retamar (29), Retamar de cumbre con tomillo (31), Retamar-codesar (44)

FCC única (FCC_unico)	Hmedia única (Hm_unico)	Modelo canario	Observaciones
>=50%	>=2	4.B (42)	Para estas especies, aunque sea poco frecuente, interesa contemplar este caso ya que tendría un comportamiento aún más peligroso que 6.C
	1.2-2	6.C (63)	Encaja bien por especies. Se amplía la altura (el 6.C se define para h>1.5 m) para armonizar rangos de los tipos de matorral en todos los casos, ya que esos 30 cm de altura mínima son irrelevantes
	<=1.2	5.C (53)	Modelo específico para matorral de alta montaña
< 50%	0-100	0 (0)	Para esas bajas coberturas de matorral, es mejor asignar el modelo 0 (no combustible) ya que estas formaciones

			particulares de alta montaña sobre zonas volcánicas no presentan cobertura herbácea intercalada con el matorral
--	--	--	--

Matorral potencial incipiente (36)

Modelo 0 (no combustible). Se añade esta formación al grupo de “sin modelo” (vegetación rupícola, acuática, etc.).

Violeta del Teide (39)

Modelo 0 (no combustible). Se añade esta formación al grupo de “sin modelo” (vegetación rupícola, acuática, etc.).

Matorral de alhelí y rosalito de cumbre (43)

FCC única (FCC_unico)	Hmedia única (Hm_unico)	Modelo canario	Observaciones
>=50%	0-100	5.C (53)	En caso de existir estas coberturas (poco frecuente), asignamos el modelo específico para matorral de alta montaña. No existen estos matorrales con h > 1.2 m
<50%	0-100	0 (0)	Para esas bajas coberturas de matorral, es mejor asignar el modelo 0 (no combustible) ya que estas formaciones particulares de alta montaña sobre zonas volcánicas no presentan cobertura herbácea intercalada con el matorral

Resto de tomillos (32), Comunidad de tomillo con tajinaste y mosquera (48)

FCC única (FCC_unico)	Hmedia única (Hm_unico)	Modelo canario	Observaciones
>=50%	>=1.2	6.B (62)	Solo existen estos tipos de matorrales con h > 1.2 m en el caso mixto (48)
	<1.2	5.B (52)	Modelo adecuado cuando el porte es bajo
25-50%	0-100	2.A (2)	Para estas coberturas de matorral, mejor 2.A. Aunque el comportamiento del fuego sea más rápido que 5.B (asignado para FCC > 50%) está justificado por ser un modelo mixto de matorral con pastizal (la presencia de herbáceas acelera la propagación)
<25%	0-100	1.A (1)	Predomina el pastizal

Zarzal (33), Helechal (34)

FCC única (FCC_unico)	Hmedia única (Hm_unico)	Modelo canario	Observaciones
>=50%	>=2	4.C (43)	Modelo específico para estos matorrales invasores y muy inflamables

	1,2-2	6.A (61)	Dado que existe este modelo específico para estas formaciones, se propone ampliar la cobertura (definición inicial es FCC > 75%)
	<=1,2	5.D (54)	Dado que existe este modelo específico para estas formaciones, se propone ampliar la cobertura (definición inicial es FCC > 75%)
25-50%	0-100	2.A (2)	Mezcla de matorral y pastizal
<=25	0-100	1.A (1)	Predominio de pastizal

Matorral de tojo (35)

Se comporta como el **NUEVO del Brezal (2)**.

Matorral sobre bancales (55)

FCC única (FCC_unico)	Hmedia única (Hm_unico)	Modelo canario	Observaciones
>=50%	>=2	4.B (42)	Aunque la descripción de 4.C parece adecuada (matorral invasor de tierras de cultivo) el fuego previsto es mucho menos peligroso que para el modelo 6.A. Se propone asignar el modelo 4.B por ser más peligroso.
	1.2-2	6.A (61)	Modelo específico para matorral invasor de terrenos de cultivo abandonados. Dado que existe este modelo específico para estas formaciones, se propone ampliar la cobertura (definición inicial es FCC > 75%)
	<=1.2	5.D (54)	Modelo específico para matorral invasor de terrenos de cultivo abandonados. Dado que existe este modelo específico para estas formaciones, se propone ampliar la cobertura (definición inicial es FCC > 75%)
25-50%	0-100	2.A (2)	Mezcla de matorral y pastizal
<25%	0-100	1.A (1)	Predominio de pastizal

No arbolada sin identificar (56)

FCC única (FCC_unico)	Hmedia única (Hm_unico)	Modelo canario	Observaciones
>=50%	>=2	4.B (42)	Se propone asignar el modelo 4.B por ser el más peligroso para esta altura y cobertura
	1.2-2	6.C (63)	Se propone el modelo 6.C por ser el más peligroso, ampliando alturas desde h >1.2 m
	<=1.2	5.D (54)	Para estas alturas de matorral, este es el modelo más peligroso, ampliando la cobertura desde FCC > 50%
25-50%	0-100	2.A (2)	Mezcla de matorral y pastizal
<25%	0-100	1.A (1)	Predominio de pastizal

Arbolada sin identificar (57)

- Arbolado con y sin continuidad vertical (criterio CRR): para estos dos casos de masas arboladas (FCC > 30%, con y sin continuidad) los algoritmos resultantes son iguales que los **NUEVOS** del grupo **Pinar genérico + otros pinares (7)**
- Estrato de matorral (FCC arbolada < 30%): se propone el mismo algoritmo que el **NUEVO** para el caso anterior **No arbolada sin identificar (56)**