



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Agronòmica i del Medi Natural

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica
y del Medio Natural

Creación de paisaje resistente a incendios forestales en la
zona afectada por el incendio Arafo-Candelaria (2023),
Tenerife.

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Forestal y del Medio Natural

AUTOR/A: Amaya Domínguez, José

Tutor/a: Campo García, Antonio Dámaso del

Director/a Experimental: Blanco Cano, Laura

CURSO ACADÉMICO: 2023/2024

RESUMEN:

Desde hace unas dos décadas, en las islas Canarias, han aumentado los grandes incendios forestales. Estos GIF suponen un peligro tanto para las personas y su patrimonio como para los diferentes ecosistemas insulares y los servicios ecosistémicos que proporcionan. Por eso es necesario implementar nuevas estrategias para minimizar el impacto de los GIF en las masas forestales de las islas.

Con este trabajo se pretende, tomando un caso real de incendio forestal, realizar una planificación de los tratamientos silvícolas necesarios para alcanzar un paisaje resiliente a los incendios forestales en la isla de Tenerife, es decir, que los ecosistemas presenten una menor severidad y una recuperación más rápida, de cara a minimizar el impacto de futuros incendios forestales.

La metodología empleada para lograr este objetivo es la siguiente: 1) se tomará la zona afectada por el incendio Arafo-Candelaria iniciado el 16/08/2023 en la isla de Tenerife, 2) se hace un análisis del medio previo al incendio y un análisis del desarrollo del incendio con su climatología, y un análisis de la severidad. 3) Luego, se estudia el grado de resistencia al paso del fuego de las diferentes coberturas del suelo, a partir de lo cual, se establecen una serie de pautas generales para planificar un paisaje resistente al fuego dentro del área afectada por el incendio, que se podrán aplicar a cada zona haciendo los cambios necesarios en la cobertura del territorio. Estos nuevos complejos de combustible que se desea obtener se validan mediante el uso de simuladores de incendio. Finalmente se hace una valoración económica de las actuaciones necesarias para los cambios propuestos en el territorio.

Se espera obtener un modelo de paisaje resistente a incendios en Tenerife, reduciendo así futuros costes de extinción, de restauración y la pérdida de servicios ecosistémicos. Algunas de las pautas establecidas para lograr el paisaje resistente se podrían aplicar al resto de islas Canarias con las correspondientes adaptaciones, ya que presentan grandes similitudes entre sus formaciones vegetales.

Palabras clave: gran incendio forestal (GIF), resiliencia, combustible forestal, Uso del territorio, Cobertura del territorio, paisaje resistente a incendios

Índice general

1. Introducción	6
2. Justificación y objetivos.	6
3. Ámbito de la planificación.	7
3.1. Estado legal.	8
3.3. Geomorfología	10
3.4. Clima	11
3.5. Geología.	15
4. Estado del medio previo al incendio.	16
4.1. Vegetación y formaciones forestales.....	16
4.2. Usos del suelo.....	18
4.3. Modelos de combustible.....	18
4.4. Zonas de alto riesgo de incendios	20
5. Desarrollo del incendio.	21
5.1. Evolución diaria del incendio y climatología.	22
5.2. Severidad.	23
6. Variables a analizar.	25
6.1. Severidad en cada complejo de combustible.	25
6.2. Regeneración actual (junio 2024).....	27
7. Pautas para la conversión de complejos de combustible.	30
8. Validación de la resistencia al fuego del paisaje con los cambios de modelos de combustible mediante software de simulación de incendios.	33
9. Categorización de zonas en función de necesidad de actuación.	36
9.1. Zonas de intervención preferente	36
9.2. Zonas con MC de alta inflamabilidad.	37
9.3. Nivel de prioridad de las zonas con alguna necesidad de actuación.....	38
10. Tratamientos silvícolas.....	38
10.1. Valoración económica	39
11. Consideraciones finales	39
12. Bibliografía	40

Índice de ilustraciones

Ilustración 1: Ubicación zona de planificación.....	8
Ilustración 2: Montes de utilidad pública afectados.	8
Ilustración 3: Plano 4; Espacios naturales protegidos.....	9
Ilustración 4: Mapa de precipitaciones	11
Ilustración 5: Mapa de temperatura media anual	12
Ilustración 6: Mapa de temperatura máxima.....	13
Ilustración 7: Mapa de temperatura mínima	13
Ilustración 8: Mapa de humedad relativa.....	14
Ilustración 9: Mapa de litología	15
Ilustración 10: Pisos de vegetación en Tenerife, en rojo afectados por incendio...	17
Ilustración 11: Modelo de combustible 5.C; matorral alta montaña.....	19
Ilustración 12: Extensión de los MC en % del área total afectada.	20
Ilustración 13: Mapa de Zonas de alto riesgo de incendio de Tenerife afectadas..	21
Ilustración 14 y 15: Regeneración natural de pinar, MC 7.D1 y 9.B o 7.G respectivamente. Coordenadas: 28°24'22.5"N 16°24'56.6"W. Fecha: 08/06/2024.	28

Índice de figuras

Figure 1: Diagrama de barras de pendientes (%)	10
Figure 2: Uso del suelo zona de planificación	18
Figure 3: Curva de estado de la atmósfera día de inicio.	22

Índice de tablas

Tabla 1: extensión grados de severidad	24
Tabla 2: % del área de cada MC con cada grado de severidad. MC expresados en su código ráster, equivalencia a la nomenclatura original en Anejo 2: Descripción de modelos de combustible Canarios.....	25
Tabla 3: comparación del % relativo de MC severidades alta y baja.	27
Tabla 4: % de superficie de las formaciones forestales de intervención preferente.	36
Tabla 5: % de cada MC de alta inflamabilidad	37

1. Introducción

Entre el 15 de agosto y el 11 de septiembre de 2023 tuvo lugar un incendio forestal de gran magnitud en la isla de Tenerife. Las condiciones climáticas desfavorables, la acumulación de combustible y la orografía abrupta favorecieron la propagación y dificultaron las labores de extinción, afectando así a 13.997 ha, repartidas en 12 municipios, alrededor de un 7% de la superficie de la isla.

Esta circunstancia ha originado el deterioro de gran parte de la cubierta forestal de la isla, lo que conlleva una pérdida importante de servicios ecosistémicos y un aumento de la erosión, entre otros problemas. Además de los daños socioeconómicos ocasionados.

En las últimas dos décadas, las Islas Canarias occidentales han experimentado un aumento significativo en la incidencia de grandes incendios forestales. Estos GIF, representan una grave amenaza no solo para la seguridad y el patrimonio de las personas que viven en las islas, sino también para la salud y el equilibrio de los diversos ecosistemas. Los servicios ecosistémicos, como la regulación del clima, la conservación del suelo y la provisión de agua, se ven seriamente afectados por estos incendios.

La creciente frecuencia y magnitud de los GIF exige una respuesta urgente y eficaz para mitigar sus efectos. Es necesario desarrollar e implementar nuevas estrategias de gestión forestal que no solo reduzcan la severidad de los incendios en las masas forestales, sino que también aumenten la resiliencia y la recuperación rápida de los ecosistemas afectados.

2. Justificación y objetivos.

El objetivo de este trabajo es planificar las actuaciones necesarias para lograr un paisaje resistente a incendios forestales en la zona afectada por el incendio Arafo-Candelaria 2023. Para ello se van a localizar las zonas más afectadas por el incendio y definir hacia que nueva estructura vegetal o complejo de combustible es viable su transición para mejorar la resistencia al paso del fuego del conjunto del área de planificación, y determinar, a grandes rasgos, las actuaciones necesarias para ello con su coste económico.

Justificación:

Este incendio no se trata de un suceso puntual, Tenerife cuenta con un historial de grandes incendios forestales en lo que va de siglo (2007, 2012, 2020, 2022), lo que justifica la necesidad de un enfoque en la gestión hacia un paisaje resistente al paso de los incendios, reduciendo así futuros costes de extinción y restauración,

además asegurando una continuidad en los servicios ecosistémicos que nos brinda la cubierta forestal.

Si bien es cierto que los bosques de pino canario (*Pinus canariensis*), que son los principales afectados por estos incendios, gozan de una buena resiliencia a las perturbaciones por fuego debido entre otras cosas a la adaptación al vulcanismo de las islas, y, en ocasiones, pueden resultar beneficiados, no siempre es así. Además, existen en el territorio otras formaciones vegetales que se ven afectadas por los incendios y no tienen esta capacidad de regeneración tan acelerada. Es por ello por lo que se requiere una planificación para aumentar la resistencia al fuego del conjunto de formaciones vegetales que componen el territorio forestal de la isla, en nuestro caso, a partir de la zona afectada por el ya mencionado incendio Arafo-Candelaria 2023.

3. Ámbito de la planificación.

El ámbito de la planificación se corresponde con la zona afectada por el incendio Arafo-Candelaria 2023. Se localiza en la provincia de Santa Cruz de Tenerife, isla de Tenerife, en los municipios de Tacoronte, El Rosario, Candelaria, Arafo, Güímar, Fasnia, La Orotava, Los Realejos, Santa Úrsula, La Victoria de Acentejo, La Matanza de Acentejo y El Sauzal.

Las coordenadas geográficas de los puntos extremos del perímetro son las siguientes:

-Punto extremo Norte: Latitud: 28° 27' 16,82" N; Longitud: 16° 25' 15,71" O

-Punto extremo Sur: Latitud: 28° 17' 10,23" N; Longitud: 16° 30' 23,27" O

-Punto extremo Este: Latitud: 28° 24' 32,77" N; Longitud: 16° 22' 28,48" O

-Punto extremo Oeste: Latitud: 28° 18' 52,37" N; Longitud: 16° 35' 32,37" O

La zona abarca, aproximadamente, desde los 2300 metros hasta los 530 metros de altitud sobre el nivel del mar, y tiene una superficie de 13.977 ha.

Se puede acceder por carretera a través de la TF-24, que va desde el municipio de El Rosario hasta El Portillo Viejo (La Orotava), pasa a través de todos los términos municipales afectados y cuenta con varios enlaces: la TF-523 desde Arafo y la TF-21 desde La Orotava.

La siguiente imagen muestra la ubicación de la zona de planificación en el mapa de Tenerife:



Ilustración 1: Ubicación zona de planificación.

Vista más detallada de la zona en el *Plano 1: Ámbito de la planificación*.

3.1. Estado legal.

En el ámbito de la planificación quedan incluidos 16 montes de utilidad pública: Pozo de Horno, Los Lomitos, Orticososa, Monte de la Victoria, Monte “La Esperanza”, Monte “El Sauzal”, Mamio, Leres y Monteverde, Las Canales, Ladera y Cumbre, Gambuesa, Fayal, Valle y Chafa, Cumbres del Realejo Bajo, Cumbres de La Victoria, Cumbres de Guimar, Chivisaya y Agua Garcia y Cerro del Lomo. Sus respectivas ubicaciones en la *Ilustración 2: Montes de utilidad pública afectados*.

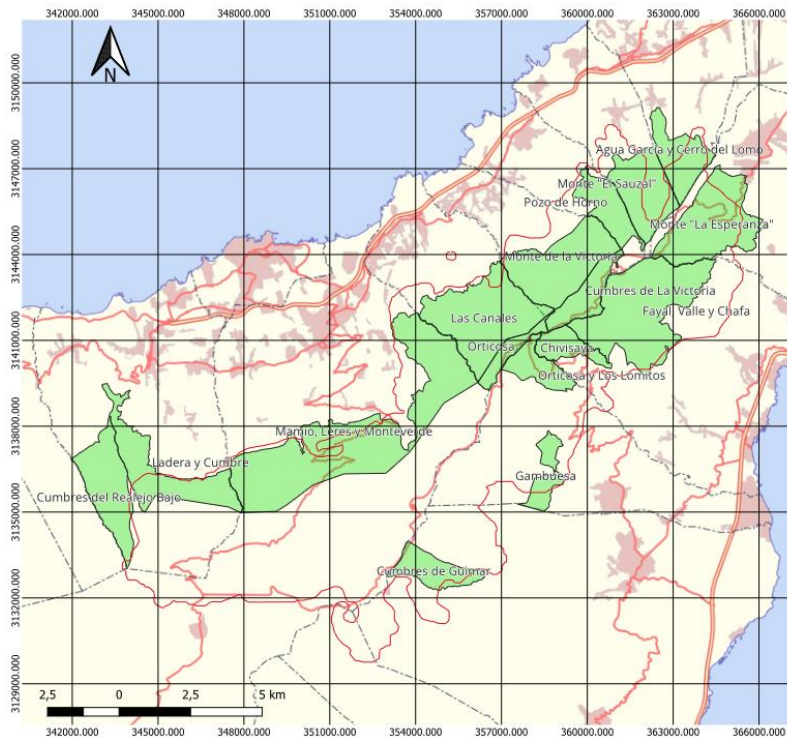


Ilustración 2: Montes de utilidad pública afectados.

El resto del territorio se compone de montes consorciados propiedad de sus respectivos ayuntamientos, cuyo aprovechamiento lo gestiona la administración forestal de Tenerife.

Casi la totalidad del área de planificación afecta a espacios naturales protegidos con diferentes niveles de protección; Paisaje protegido, Reserva natural especial, reserva natural integral, y los más importantes: el Parque Natural de la Corona Forestal y el Parque Nacional del Teide. Todos los espacios también están catalogados como ZEC y ZEPA de la red Natura 2000. Se representan en el siguiente mapa:

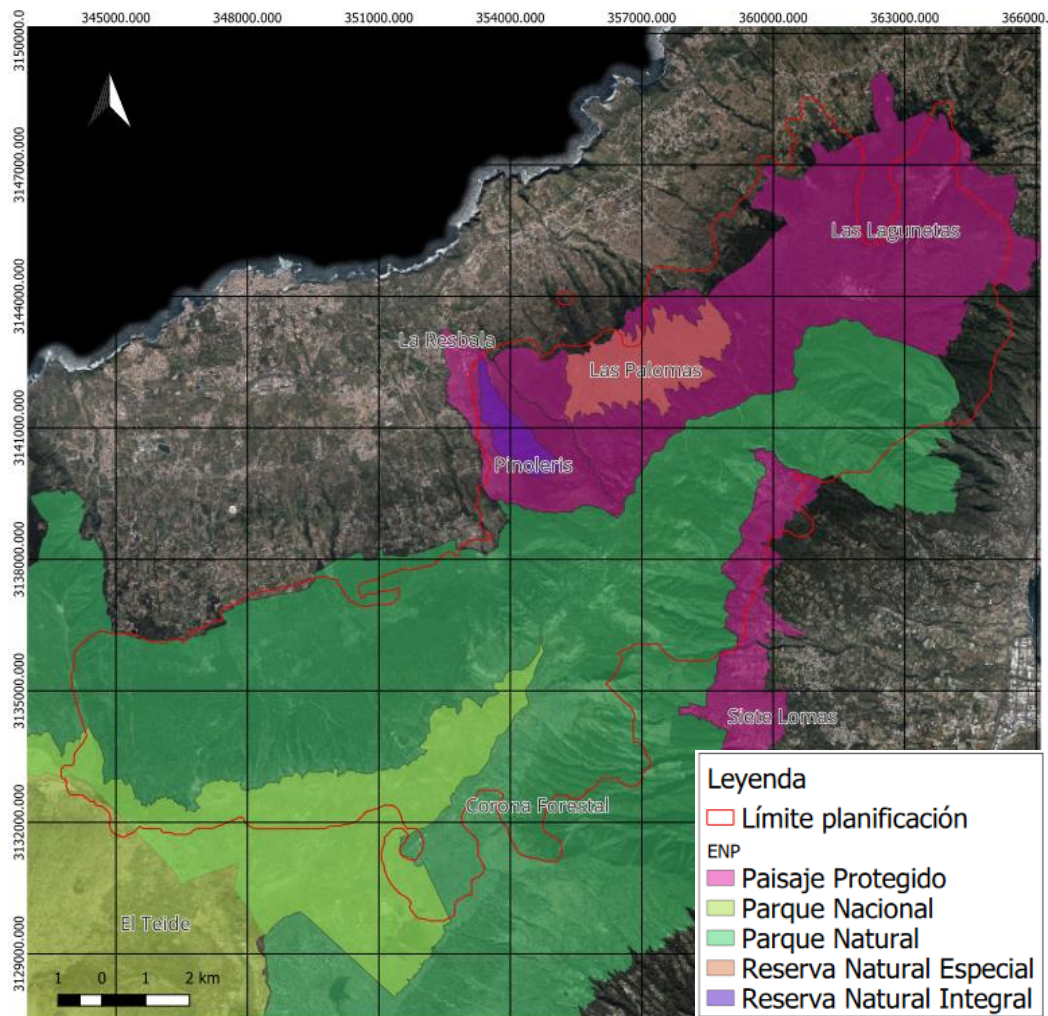


Ilustración 3: Plano 4; Espacios naturales protegidos

3.3. Geomorfología

El área objetivo de planificación abarca las laderas norte y sur de la isla y tiene gran variedad geomorfológica. Las pendientes son más suaves en la zona del Valle de La Orotava y Las Calderetas (El Sauzal) y alrededores, aproximadamente entre 10-30% de inclinación. En el resto de la zona de planificación predominan las pendientes superiores al 50%, alcanzando más del 100% en muchos lugares, por lo que se trata, en general, de una configuración del terreno muy abrupta. (Ver *Plano 2: mapa de pendientes expresada en %.*)

La gráfica siguiente muestra el porcentaje del área de planificación que ocupa en total cada intervalo de pendiente de 10%. Se observa que alrededor del 70% del área total (≈ 10.600 ha) está por debajo del 60% de pendiente, umbral para la mayoría de trabajos forestales manuales y algunos medios mecanizados de apeo, desembosque y preparación del suelo.

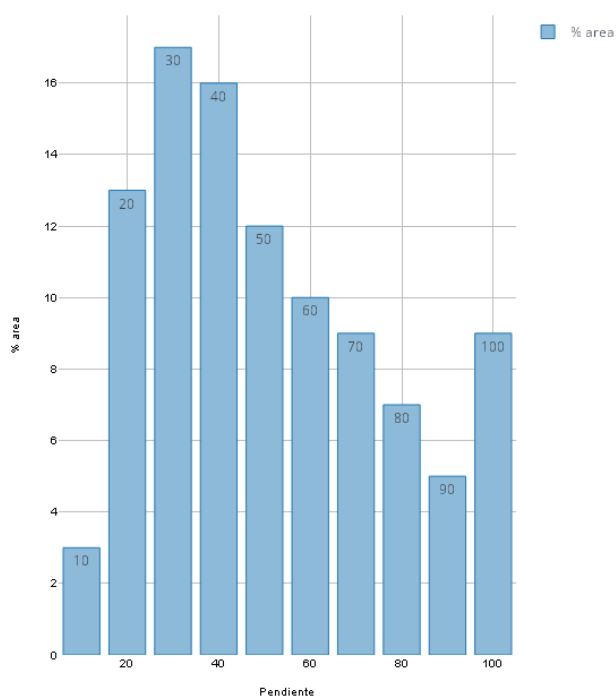


Figure 1: Diagrama de barras de pendientes (%)

3.4 Clima

Las características climáticas de la zona vienen marcadas por la elevada variación fisiográfica (altitud y orientación), lo que hace que tenga una climatología homogénea. Por su gran extensión se muestran los datos climáticos específicos de cada lugar representados en mapas.

Los datos climáticos empleados han sido publicados por la Consejería de Transición Ecológica, Lucha contra el Cambio Climático y Planificación Territorial del Gobierno de Canarias. Se basan en series de datos de los últimos 30 años (o más) proporcionados por las distintas estaciones repartidas por el territorio.

A continuación, un mapa de la distribución de la **precipitación media anual** en mm en la zona de planificación. Se observa una precipitación media anual de entre 600 y 800 mm en la mayoría del territorio, superior en el sector noreste, menor (hasta 400 mm) en la vertiente sur más árida. La tónica dominante de las lluvias es de máximos invernales seguidos de lluvias otoñales, más reducidas en primavera y mínimos en verano.

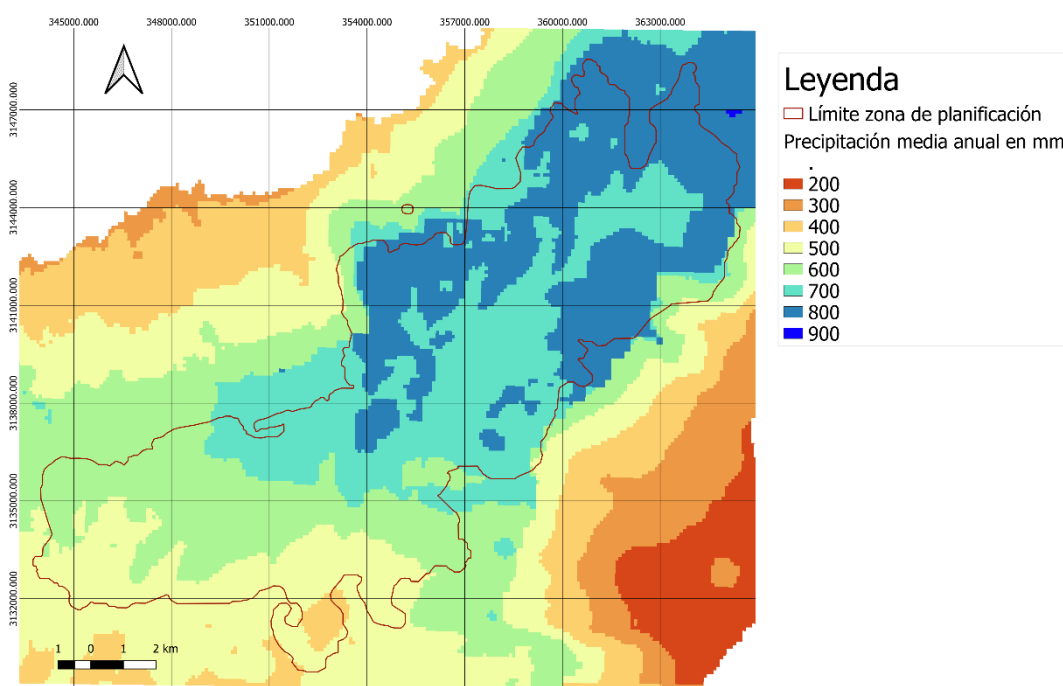


Ilustración 4: Mapa de precipitaciones

La **temperatura media anual** tiene una diferencia de 6 °C aproximadamente, entre la zona más fría (11°C, alto de La Orotava y Fasnia) y la más cálida (17 °C, Arafo y Candelaria), debido principalmente a la diferencia de cota. La mayoría del territorio objetivo de planificación tiene una temperatura media de entre 13 y 15 °C aproximadamente.

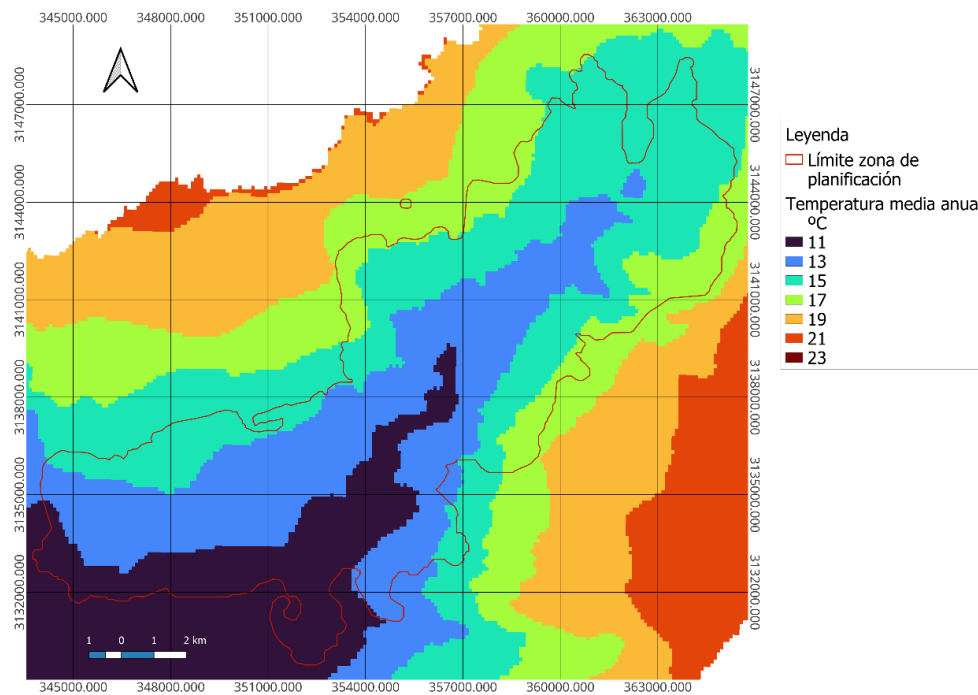


Ilustración 5: Mapa de temperatura media anual

Media de la **temperatura máxima** anual, muy variable según fisiografía, entre 15-20 °C. Caracterizada en el siguiente mapa:

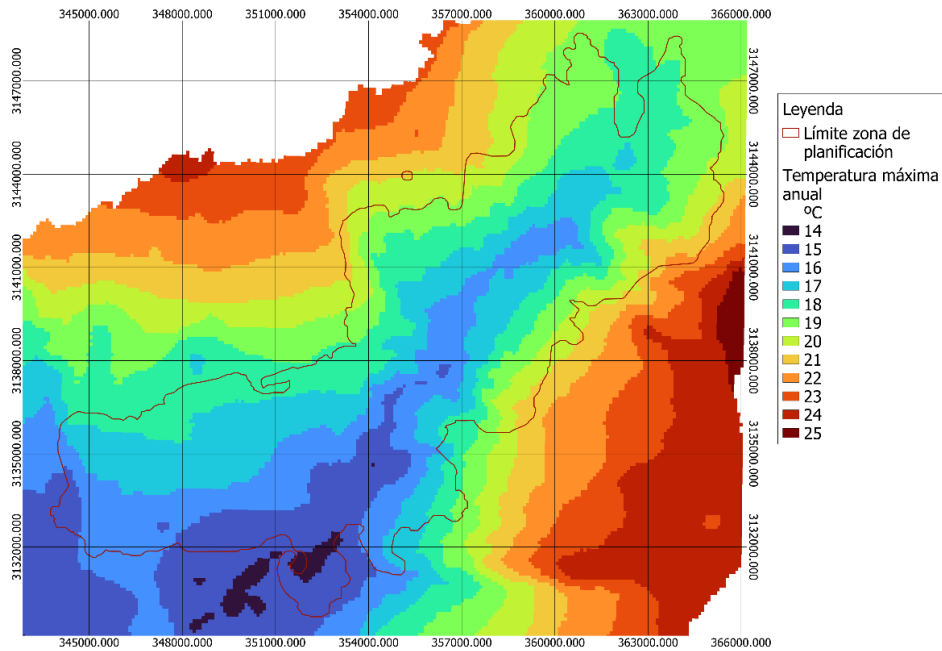


Ilustración 6: Mapa de temperatura máxima

Media de la **temperatura mínima** anual, muy variable según fisiografía, entre 6-12 °C. Caracterizada en el siguiente mapa:

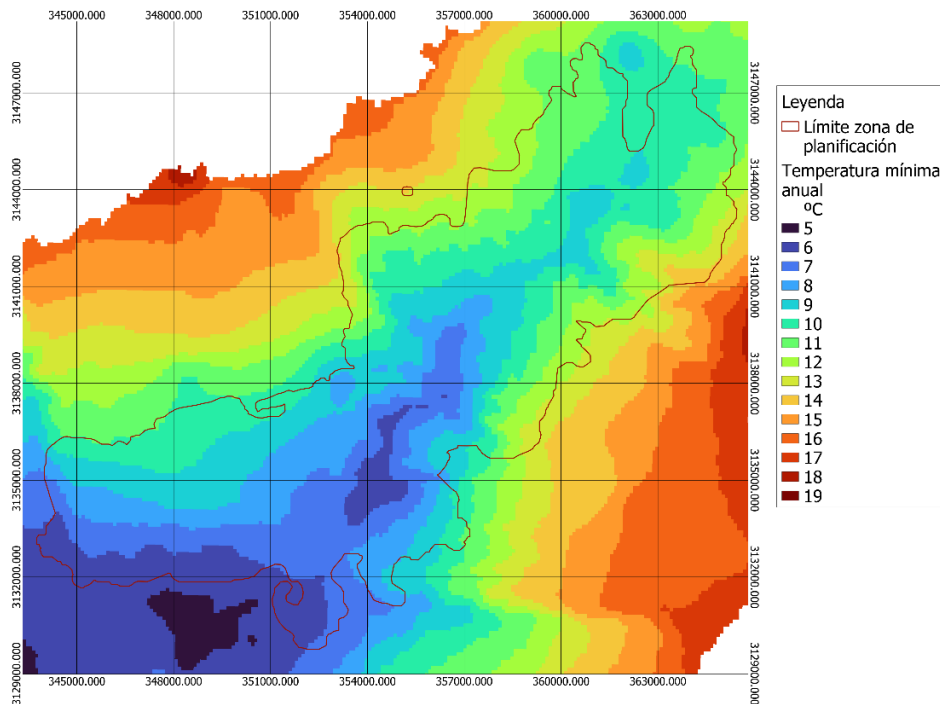


Ilustración 7: Mapa de temperatura mínima

La **humedad relativa** queda altamente condicionada por la influencia de los vientos alisios. En la vertiente norte, los denominados vientos alisios inferiores dan lugar a nubes de condensación en las laderas de barlovento entre 500 y 1.200 m de altitud, generando precipitaciones de carácter local por condensación (precipitación horizontal), que suponen uno de los aportes de agua más importantes. Los alisios superiores, descendentes y secos, presentan caracteres de continentalidad y fuerte aridez que determina un ambiente seco en zonas altas.

Se puede ver en el mapa como la ladera norte, así como las cotas más bajas, presentan una humedad relativa superior a las zonas de orientación sur y de cota más elevada.

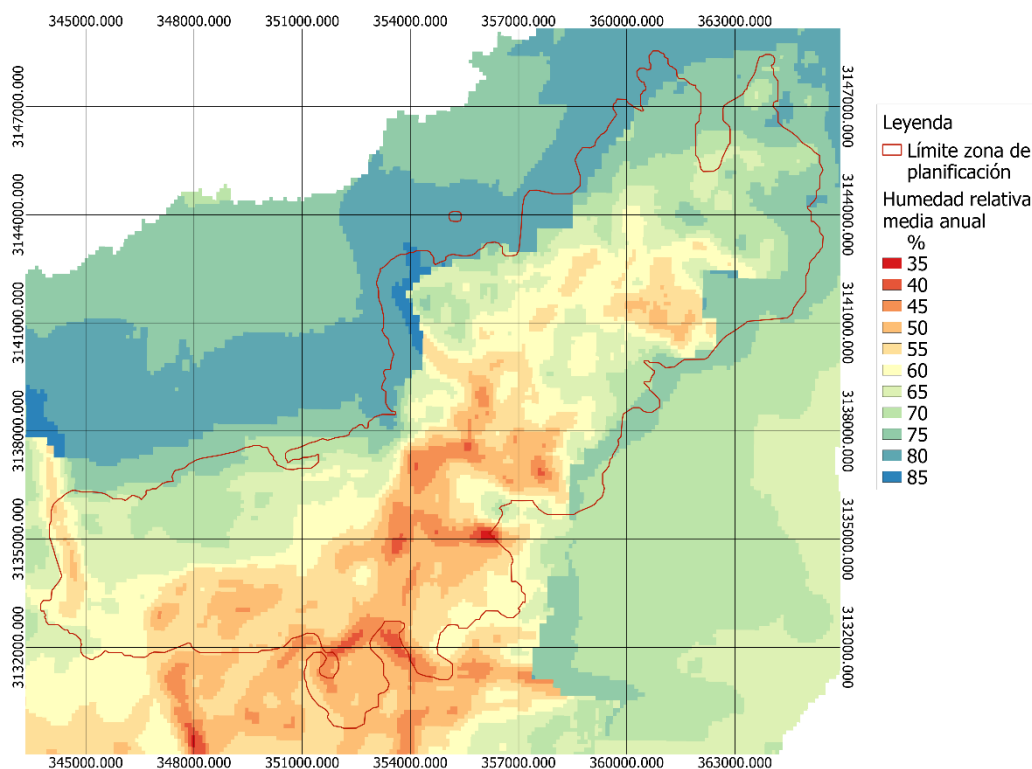


Ilustración 8: Mapa de humedad relativa

Toda la zona de planificación se clasifica como templada con verano seco y templado según la clasificación climática de **Köppen**.

3.5. Geología.

La superficie de planificación se asienta sobre el eje rift (o dorsal) NE, que empieza en el Teide y se extiende hacia el noreste de la isla. Se trata de series cuaternarias de predominio basáltico que cubren extensas áreas. En la parte superior destacan suelos carentes de horizontes de diagnóstico como consecuencia de su escasa evolución, mientras que en las laderas medias y bajas los perfiles presentan un incipiente grado de evolución, con horizontes subsuperficiales de acumulación.

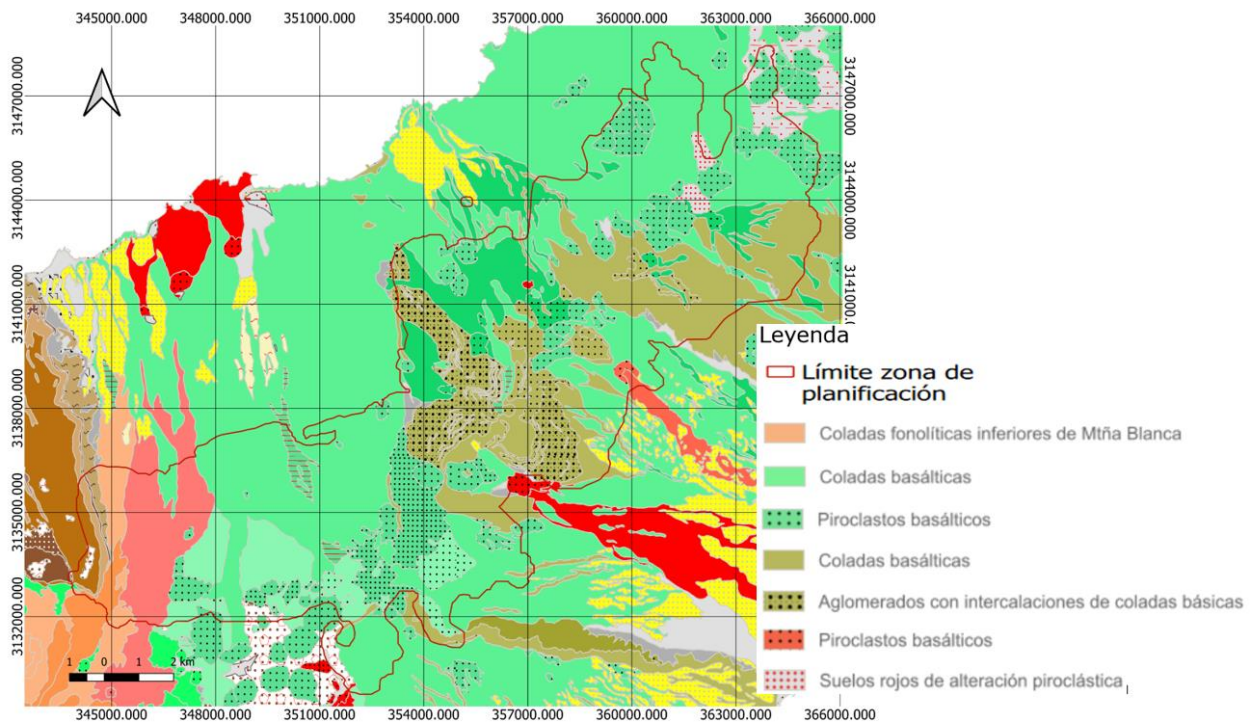


Ilustración 9: Mapa de litología

4. Estado del medio previo al incendio.

A continuación, se describen las características del medio, previas a la perturbación, que son esenciales para el posterior análisis tanto de la severidad y la evolución del incendio como para la planificación siguiente.

4.1. Vegetación y formaciones forestales.

En todo el territorio se distinguen varias formaciones vegetales que, como consecuencia del incendio, se vieron fuertemente modificadas debido a la muerte de gran parte de la cobertura foliar, desaparición de la cobertura herbácea y quema parcial o total del subpiso de matorral.

Primero se describen las formaciones autóctonas afectadas:

El fayal-breza constituyen una de las unidades vegetales del denominado Monteverde, cuya superficie, reducida y alterada por causas históricas (cultivos, edificaciones, plantación de exóticas, etc), se encuentra en las laderas norte entre las formaciones de bosque termófilo (inferior) y pinar (superior) desde los 500 a los 1500 m aproximadamente, coincidiendo con la formación del “mar de nubes”. Esta formación está dominada principalmente por brezo (*Erica arborea*) y faya (*Myrica faya*).

Seguidamente, las formaciones de pinar (*Pinus canariensis*) se extienden ocupando una franja variable entre los 500 m a sotavento (S) y 800 m a barlovento (N), hasta los 2.000 m. En las laderas con orientación sur, con mayor insolación y aire menos húmedo, se desarrolla el pinar seco, normalmente acompañado de un sotobosque de jara (*Cistus symphytifolius*), codeso (*Adenocarpus foliolosus*), retama amarilla (*Teline microphylla*) y/o escobón (*Chamacytismus proliferus*). En las laderas con orientación norte, más húmedas y frescas, se forma el pinar mixto en contacto con las especies arbustivas del Monteverde inferior, fayas y brezos principalmente. A medida que se aleja de la influencia del alisio, el sotobosque se aclara y el brezo se mezcla con otras especies como el codeso. Muchas de estas formaciones proceden de plantaciones llevadas a cabo en el siglo pasado tras la degradación antrópica de las masas forestales.

Por encima de los 2000 m encontraremos la vegetación de cumbre. Esta vegetación está adaptada a condiciones de frío, sequía, viento, nieve y grandes oscilaciones de temperatura. Consiste básicamente en matorrales de alta montaña y herbáceas anuales. La formación predominante es el retamar-codesal, retama del Teide (*Spartocytismus supranubius*) y codeso de cumbre (*Adenocarpus viscosus*).

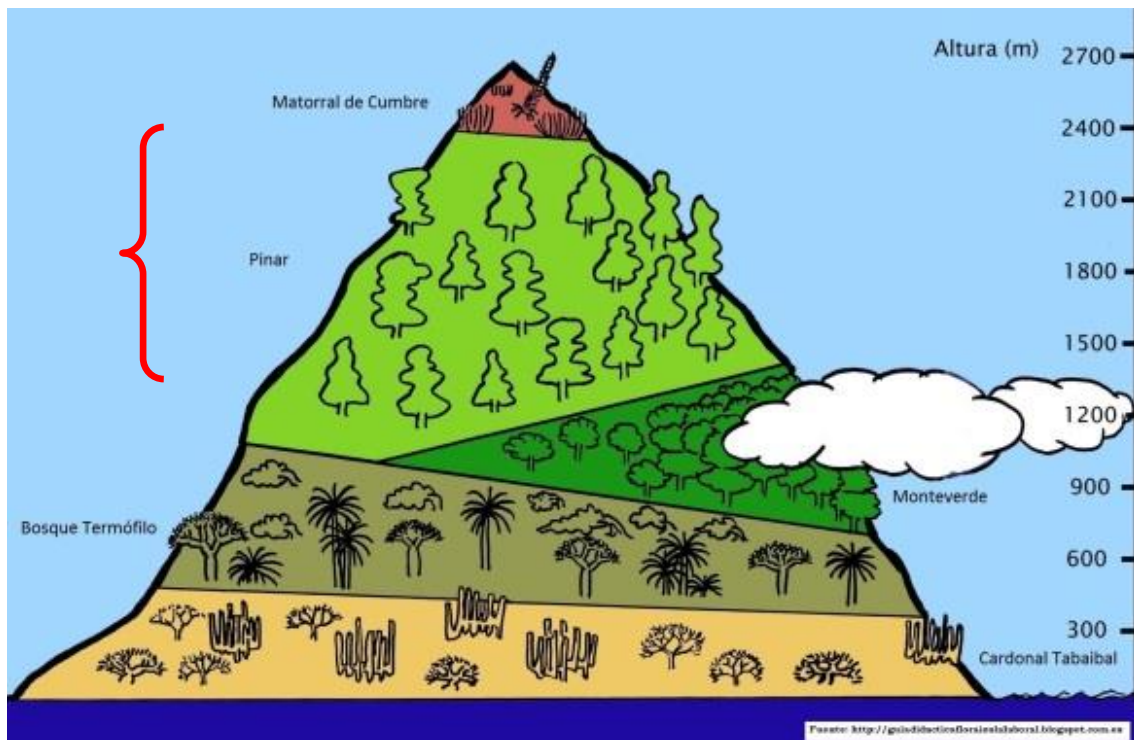


Ilustración 10: Pisos de vegetación en Tenerife, en rojo afectados por incendio.

También han sido afectas formaciones vegetales exóticas procedentes de plantación. En el norte se extienden pinares de *Pinus radiata* y *Pinus halepensis* (este último de forma muy puntual), entre los 1000 y los 1500 m (distribución original de Monteverde). En ocasiones mezclados con *p.canariensis*. A menor altitud aparecen castañares (*Castanea sativa*) y eucaliptares (*Eucalyptus spp*).

Distribución de las formaciones vegetales en Plano 5: *Mapa de formaciones vegetales*. Este mapa es orientativo ya que no está actualizado y algunas formaciones han podido cambiar (sobre todo algunas plantaciones de exóticas) debido a tratamientos silvícolas u otras perturbaciones, información no disponible.

4.2. Usos del suelo.

El territorio afectado tiene un uso del suelo mayoritariamente forestal. Suponiendo el 98 % del área total, frente a un 2 % de uso agrícola, según el mapa forestal de España. Dentro del territorio forestal el 71 % se trata de monte arbolado, un 8 % procedente de plantación, un 1.5 % de monte desarbolado, cubierto de matorral, y un 1.5 % de monte con arbolado ralo. Las zonas agrícolas son cultivos y prados artificiales ubicados en los bordes del perímetro, donde los esfuerzos de extinción fueron mayores por su cercanía a infraestructuras humanas.

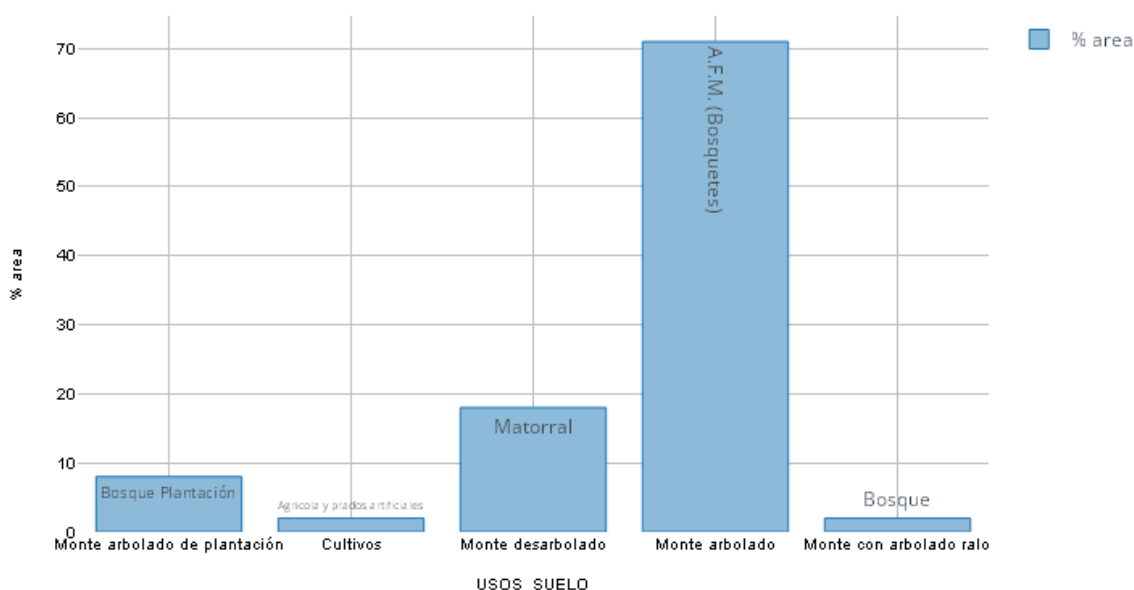


Figure 2: Uso del suelo zona de planificación

Distribución geográfica en Plano 6: Mapa de usos del suelo.

4.3. Modelos de combustible.

Los modelos de combustible forestal son esenciales a la hora de prever el comportamiento del fuego. Se ha utilizado la información geográfica de modelos de combustible forestal de la isla de Tenerife proporcionado por Cartográfica de Canarias, S.A. (GRAFCAN), última actualización en abril de 2023.

Esta información geográfica emplea la clasificación de modelos de combustible de Canarias, que mantiene la estructura general de los modelos NFFL de Rothmel (diferenciación básica del tipo de formación vegetal en clases y grupos) pero con adaptaciones específicas para las formaciones vegetales de Tenerife.

En el *Anejo 2: Descripción de los modelos de combustible forestal de Canarias* se muestra cada modelo de combustible con su correspondiente descripción, además de su equivalencia con los modelos clásicos NFFL de Rothermel.

En el *Plano 6: Mapa de modelos de combustible original* se representa la distribución geográfica de dichos modelos. Aparece una zona de gran superficie dentro del límite de la planificación ubicada en la parte alta de La Orotava y Güimar (Parque Nacional del Teide y alrededores) que no tiene asignado ningún modelo de combustible. Se trata de formaciones de matorral de cumbre (retamar-codesal) que han sido afectadas por el incendio. Tras su comprobación visual en campo y ortofoto, y comparación con el mapa de formaciones vegetales, se determina el modelo 5.C; matorral de especies de alta montaña ($F_{cc} < 50\%$). Una vez añadido el nuevo modelo, mediante el software QGIS, y realizadas correcciones menores en la capa vectorial de modelos de combustible, se representan en el *Plano 7: Mapa de modelos de combustible definitivo*. Esta imagen del Parque Nacional del Teide muestra un modelo de combustible 5.C:



Ilustración 11: Modelo de combustible 5.C; matorral alta montaña

En la gráfica siguiente se muestran los modelos de combustible con mayor presencia antes del incendio. Más de un 55% de la superficie estaba cubierta por modelos que incluyen formaciones de pinar ya sea en masa monoespecífica (9.B) o con sotobosque de Monteverde (7.C1 y 7.D1).

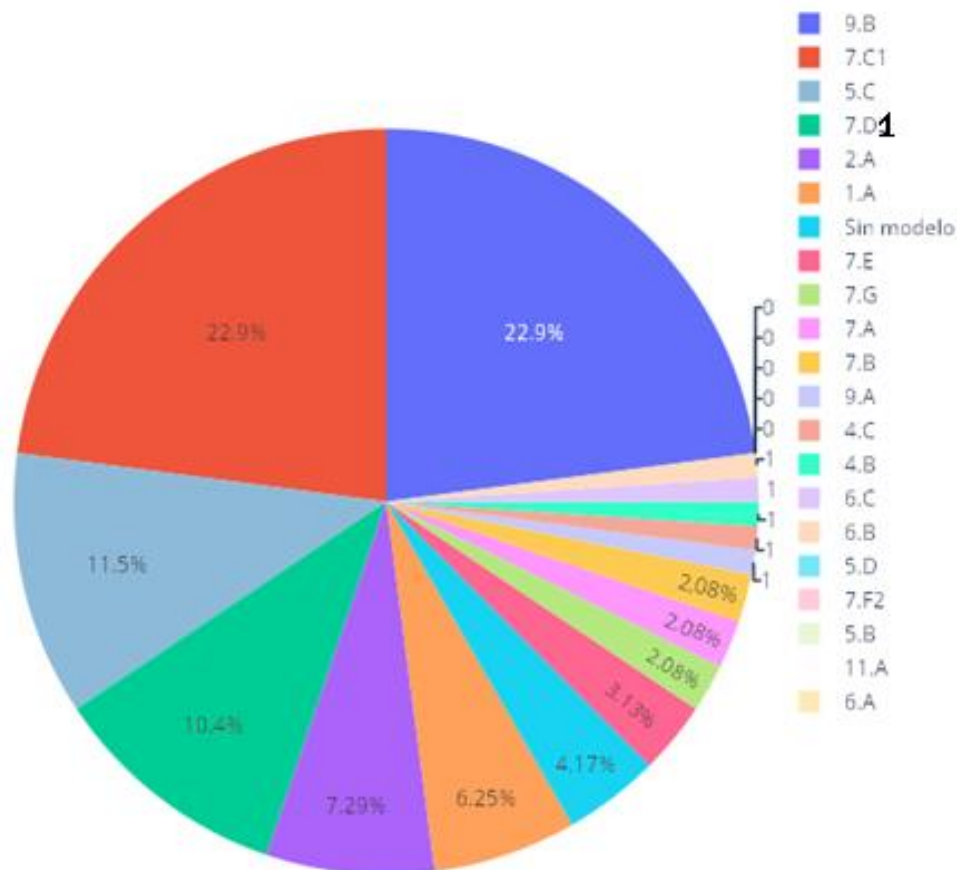


Ilustración 12: Extensión de los MC en % del área total afectada.

4.4. Zonas de alto riesgo de incendios

Según el Boletín Oficial de Canarias (BOC) – 2008/155. Martes 10 de junio de 2008, se establecen para Tenerife 9 zonas de alto riesgo de incendio. De las cuales 5 están afectadas por este incendio (Arafo-Candelaria 2023):

Zona 3. Los Realejos-La Guancha. Zonas agrícolas y masa forestal, pinar.

Zona 4. Mamio-La Caldera. Pinar canario, pinar exótico *p. halepensis* mezclado con *p. canariensis* y fayal-brezal.

Zona 5. Acentejo-Las Palomas. Pinar, fayal-brezal y castañar.

Zona 6. Lagunetas-La Esperanza. Pinar, eucaliptar y fayal-brezal.

Zona 9. Valle de Güímar. Pinar seco y castañar.

El riesgo de incendio de estas zonas ha podido variar hasta la actualidad tras el paso del incendio (Arafo-Candelaria 2023) por la disminución del combustible, y otras perturbaciones.

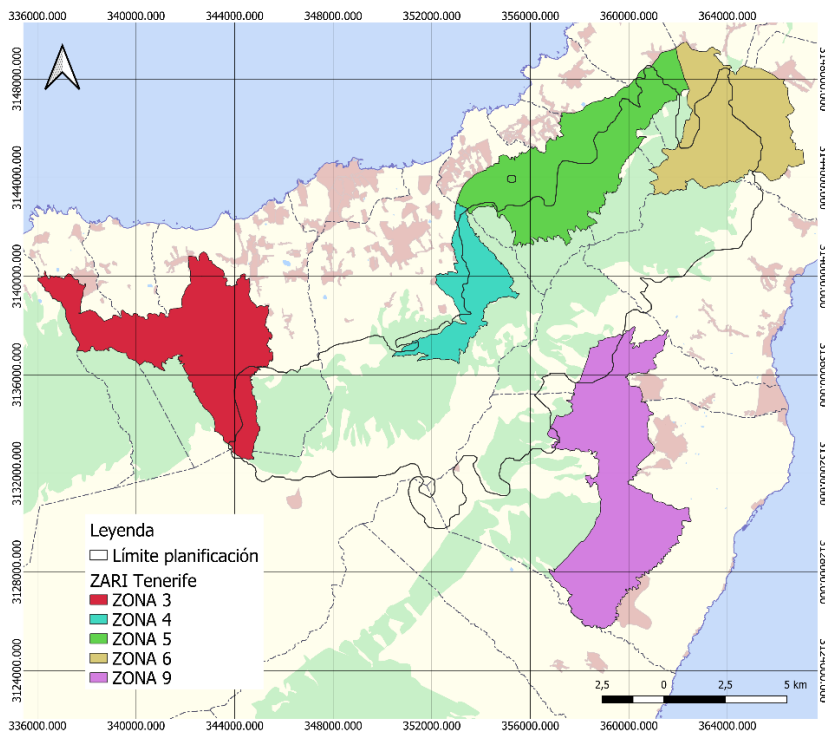


Ilustración 13: Mapa de Zonas de alto riesgo de incendio de Tenerife afectadas.

5. Desarrollo del incendio.

A continuación, se describe la evolución diaria del incendio en los primeros 7 días, los de mayor actividad. Se toma como referencia la información de satélite de los puntos calientes proporcionada por la web de Educación Forestal, y los datos climatológicos diarios de las estaciones más cercanas a cada frente. El viento es necesario corregirlo a la altura de media llama para analizar correctamente como afecta al comportamiento del fuego. Datos de utilidad a la hora de estudiar que complejos de combustible son más resistentes teniendo en cuenta las condiciones climáticas en el momento de la combustión.

Posteriormente se evalúa la severidad del incendio.

5.1. Evolución diaria del incendio y climatología.

El fuego se inicia, con varios focos, durante la madrugada del 16 de agosto en la parte alta de los municipios de Arafo y Candelaria, dentro del Parque Natural de la Corona Forestal. Se trata de un incendio “provocado” según investigaciones de la Guardia Civil.

En los días previos al incendio (11/08 – 16/08) las temperaturas máximas superan los 30 °C, con medias de 27 °C y HR media del 21%, con elevada radiación solar (estación GAITERO_MA, La Victoria). Este ambiente aumenta el combustible disponible con la pérdida de humedad del combustible muerto, abundante en la zona. Los modelos 2.A (pastizal fino seco con matorral), 7.C1 (pinar con sotobosque y carga elevada de elementos finos muertos) y 7.D1 (pinar con sotobosque elevada densidad) son los más frecuentes en el lugar. Esta combinación de factores de temperatura y combustible, sumado a la elevada pendiente, superior al 50 % en muchos casos, crea la situación idónea para la propagación de in incendio, incluso en condiciones nocturnas de mínimo viento.

Esta figura muestra la curva de estado de la atmósfera el día de inicio del incendio:

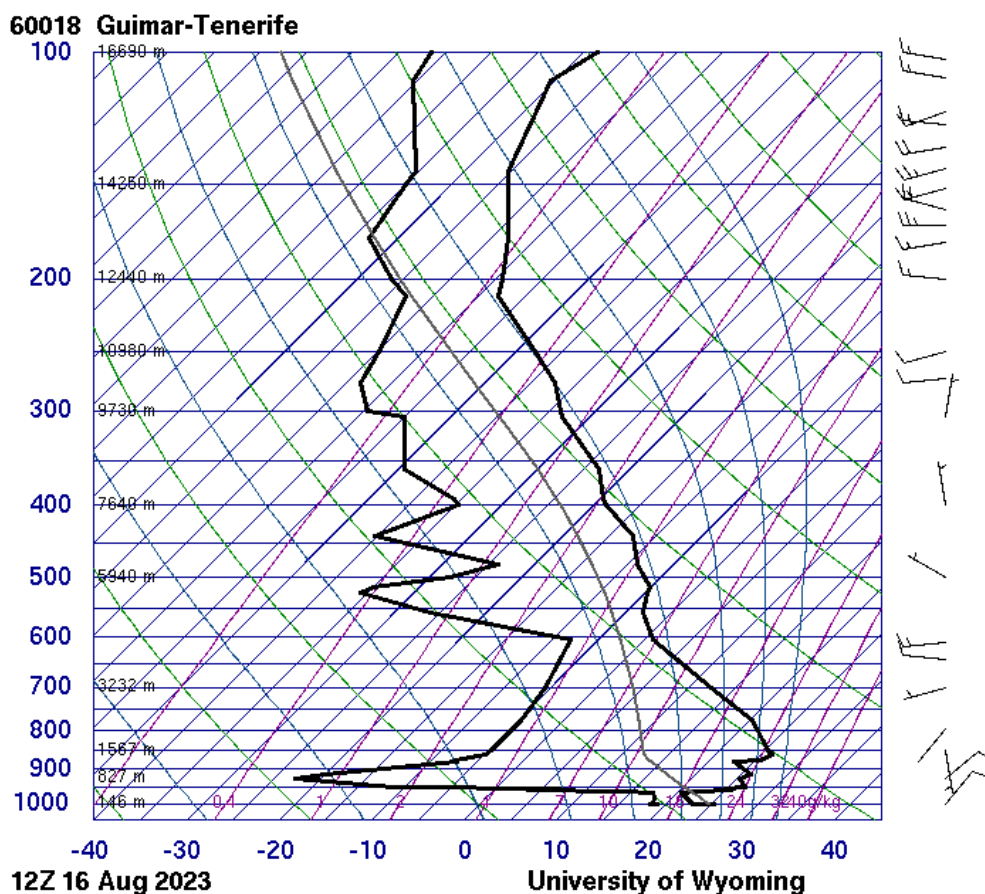


Figure 3: Curva de estado de la atmósfera día de inicio.

La curva de estado refleja la baja HR a la altura del incendio, 1400 m aproximadamente, por la separación entre la curva de temperatura de saturación del aire (derecha) y la de temperatura del aire (derecha).

La evolución diaria del incendio junto con sus datos meteorológicos aparece detallada en el *Anejo 3: evolución diaria del incendio con datos meteorológicos por zonas*.

5.2. Severidad.

La severidad es un parámetro indicativo de cómo la intensidad del incendio afecta a la funcionalidad del ecosistema, se ve directamente reflejada en el grado de degradación (combustión) de la vegetación.

En este caso se ha calculado con métodos de teledetección.

Metodología:

El índice normalizado de un área quemada (NBR siglas en inglés) sirve para resaltar el área quemada y estimar la severidad. Se usan las longitudes de onda del infrarrojo cercano (NIR) y el infrarrojo de onda corta (SWIR) que reflejan las imágenes satelitales de antes y después del incendio:

$$NBR = \frac{NIR-SWIR}{NIR+SWIR} \quad \Delta NBR = \text{PrefireNBR} - \text{PostfireNBR}$$

Mediante el software QGIS, en la calculadora ráster se realizan los cálculos con las imágenes de antes y después del incendio. Se emplean las bandas del infrarrojo cercano y del infrarrojo de onda corta de las imágenes del satélite Sentinel de los días 13/08/2023 (pre-incendio) y 02/10/2023 (post-incendio) obtenidas en la web EO-Browser3.

Finalmente se obtiene el mapa con los valores de severidad en la zona afectada, *Plano 8: Severidad incendio*.

Se clasifica la severidad según estos valores; y se obtiene la extensión de cada valor:

0 $\rightarrow -0.26 < \Delta NBR < 0.1 \rightarrow$ No quemado

1 $\rightarrow 0.1 < \Delta NBR < 0.27 \rightarrow$ Baja

2 $\rightarrow 0.27 < \Delta NBR < 0.44 \rightarrow$ Media

3 $\rightarrow 0.44 < \Delta NBR < 0.66 \rightarrow$ Alta

4 $\rightarrow 0.66 < \Delta NBR < 1.6 \rightarrow$ Muy Alta

Severidad	area	% area
0	3700,921	24,44
1	3446,029	22,757
2	3352,684	22,14
3	2700,867	17,836
4	1942,716	12,829

Tabla 1: extensión grados de severidad

6. Variables a analizar.

El análisis de la severidad post-incendio de cada MC (modelo de combustible) y de la regeneración natural de las formaciones vegetales refleja directamente la resiliencia de estas. Con las conclusiones obtenidas, se podrán elegir los MC más resilientes hacia los que transformar el territorio y determinar los tratamientos silvícolas necesarios para llevar a cabo la transformación.

6.1. Severidad en cada complejo de combustible.

A continuación, se analiza, para cada grado de severidad, el porcentaje de cada MC afectado (se discriminan valores inferiores al 1%). Se emplea el software QGIS para calcular los valores.

- severidad muy alta.		- severidad alta	
MC	% area	mc	% area
731	38,053	731	32,753
92	27,274	92	27,67
741	12,79	741	13,117
75	6,936	2	5,307
71	2,801	1	4,374
63	2,443	75	3,74
2	2,389	0	3,078
1	1,65	71	2,307
0	1,389	77	1,563
42	1,358	42	1,494
77	1,271	63	1,358
		72	1,19

- severidad media.		- Severidad baja.	
mc	area %	mc	% area
92	26,706	92	20,467
731	22,624	53	16,991
53	10,085	731	16,171
741	9,228	2	10,331
2	8,626	1	8,971
1	6,662	741	7,284
77	3,186	0	4,394
0	2,666	77	3,693
75	2,254	72	1,661
42	1,595	75	1,529
71	1,413	71	1,453
72	1,27	42	1,424

Tabla 2: % del área de cada MC con cada grado de severidad. MC expresados en su código ráster, equivalencia a la nomenclatura original en Anejo 2: Descripción de modelos de combustible Canarios.

Severidad relativa de cada MC, respecto de la superficie total, previa al incendio, de cada MC (apartado 4.3):

Cálculo: $(100 / \% \text{ MC total en la zona de planificación}) \times ((\% \text{ área con cada grado de severidad}) \times (\% \text{ MC por cada grado de severidad}))$

Se obtienen los siguientes resultados:

MC	Grado de severidad				
	0	1	2	3	4
7.D1	21,3	16,6	20,4	23,4	16,4
7.C1	11,9	16,3	22,2	25,9	21,7
9.B	15,1	20,3	25,8	21,5	15,3
7.G	19,4	33,2	27,9	11,0	6,4
7.E	11,6	12,5	18,0	24,0	32,0
7.B	54,6	17,6	13,1	9,9	0,0
7.A	25,4	17,0	16,1	21,1	18,5
6.C	21,1	0,0	0,0	19,8	25,6
5.C	41,0	35,6	20,5	0,0	0,0
4.C	58,9	0,0	0,0	0,0	0,0
4.B	21,4	0,0	0,0	0,0	0,0
2.A	24,2	31,4	25,5	12,7	4,1
1.A	24,9	33,1	23,9	12,6	3,4

Tabla 3: % relativo de MC afectados con cada grado de severidad.

Los datos de los modelos 1.A y sin modelos de combustible (0) no se tendrán en cuenta en este análisis por tratarse principalmente de cultivos estacionales. Tampoco los MC no quemados (severidad 0) por no haber tenido contacto con el fuego.

Para obtener una primera conclusión sobre que MC son más resistentes, es de utilidad observar los valores de la *tabla 3*. Se compara el % relativo de cada MC con severidad baja y media (1 y 2) con el % con severidad alta y muy alta (3 y 4), si **(“% baja” + “% media”) << (“% alta” + “% muy alta”)** podría tratarse de un MC poco resistente al fuego o muy inflamable, si **(“%baja” + “%media”) >> (“%alta” + “% muy alta”)** podría tratarse de un MC resistente al fuego o poco inflamable.

MC	Sever. 1+2	Sever. 3+4
7.D1	37,0	39,8
7.C1	38,6	47,6
9.B	46,1	36,8
7.G	61,1	17,5
7.E	30,5	56,0
7.B	30,8	9,9
7.A	33,1	39,6
6.C	0,0	45,4
5.C	56,1	0,0
2.A	57,0	16,8

Tabla 3: comparación del % relativo de MC severidades alta y baja.

Se observa a priori que los modelos que presentan **menor severidad relativa** son: **7.B, 2.A, 5.C, 7.G y 9.B**. Los de **mayor severidad relativa** son: **7.E, 7.C1 y 6.C**.

Para los MC 7.D1 y 7.A estos datos no son suficientes para determinar su severidad relativa en el caso real del incendio estudiado, además hay otros factores que no se han tenido en cuenta, como la fisiografía y la meteorología, que pueden hacer variar estas conclusiones. Por ello se recurre a analizar la descripción de los modelos. En el caso del **7.D1** es un modelo muy similar al 7.C1 clasificado como de mayor inflamabilidad, la diferencia es la menor Fcc ($\approx 25\%$ menor) del estrato de sotobosque. La continuidad horizontal y vertical del combustible en este modelo sugieren **inflamabilidad alta**. El modelo **7.A**, por su continuidad del combustible vertical y horizontal y su elevada carga de elementos finos muertos se determina como un modelo de **inflamabilidad alta**.

6.2. Regeneración actual (junio 2024)

La capacidad de regeneración natural de las masas forestales y la velocidad con la que lo hacen es un indicativo de resiliencia.

Debido a las dimensiones de la zona de planificación (≈ 14.000 ha), la dificultad de acceso a muchos lugares y la escasez de medios disponibles para elaborar la planificación, se ha optado por métodos de teledetección combinados con observaciones en campo de algunas zonas y consulta bibliográfica de experiencias previas en incendios para analizar capacidad de regeneración natural de las masas.

Para la representación mediante teledetección se ha seguido el mismo procedimiento que para el cálculo de la severidad (apartado 5.2), mediante los valores del NBR, pero de manera inversa pues se trata de aumento de cobertura vegetal, no de reducción. En este caso con fotografías del satélite Séntinel de los días 02/10/2023 y 18/06/2024. El resultado obtenido se puede ver en *Plano 9: Regeneración natural junio 2024*. Si se analizan los valores extremos de regeneración “negativa” (pérdida de cobertura vegetal) y “positiva” (aumento de cobertura) mediante la comprobación con ortofotos, se observa

que se trata de zonas de cultivos estacionales, donde la cobertura vegetal varía rápidamente, por lo que no se tienen en cuenta. En el resto de las zonas, los valores de regeneración reflejados pueden deberse al rebrote de la vegetación principal o a la aparición de herbáceas, que al secarse explicarían también valores negativos de regeneración. En cualquier caso, para un análisis conclusivo de la regeneración mediante la teledetección es necesario un lapso mayor al de 8 meses actual.

Para completar el análisis de la regeneración se comprobó en campo el estado de la regeneración real, en el mes de junio, en una zona de pinar canario con severidad alta/muy alta con modelos de combustible 7.D1 y 9.B o 7.G. Se ubica en la parte alta del municipio de Candelaria, cerca de Las Lagunetas.



Ilustración 14 y 15: Regeneración natural de pinar, MC 7.D1 y 9.B o 7.G respectivamente. Coordenadas: 28°24'22.5"N 16°24'56.6"W. Fecha: 08/06/2024.

Se observa un rebrote de copa en los *p. canariensis* adecuado, que demuestra su gran capacidad de recuperación tras perturbación por fuego. También una cobertura vegetal completa del suelo, importante para reducir la erosión, retener humedad, etc.

Con esto, y teniendo en cuenta varios estudios realizados sobre la regeneración de las formaciones vegetales de Canarias (Del Arco et al., 2006) y (Fernández et al., 2014) se determina una regeneración natural “**adecuada**” en todas las masas de **pino canario**.

No se ha podido comprobar en campo la regeneración de otras formaciones vegetales. Existen estudios (Del Arco et al., 2006) que demuestran la capacidad de regeneración de algunas especies del **Monteverde**; La *Erica arborea* muestra una alta capacidad de rebrote y recuperación en áreas

afectadas por incendios de baja a moderada intensidad, mientras que *Myrica faya* tiende a dominar en áreas más severamente afectadas, gracias a su capacidad para germinar a partir de semillas. Por lo tanto, las formaciones de Monteverde de las masas forestales afectadas se considera que tienen regeneración “**moderadamente adecuada**”, sin entrar en detalle de donde es mejor o peor por falta de datos.

Las masas de **plantaciones de exóticas** (*Pinus radiata*, *Eucalyptus spp.*, *Castanea sativa*, etc) carecen de la capacidad regeneración de las especies autóctonas mencionadas anteriormente. Se consideran con regeneración “**inadecuada**”.

7. Pautas para la conversión de complejos de combustible.

En primer lugar, se establecen los MC más resilientes, objetivo de replicar en el territorio. En el apartado 6.1 se determinaron los MC que demostraron menor severidad en este incendio. **7.B, 2.A, 5.C, 7.G y 9.B**. A continuación, se analizan individualmente:

- **7.B:** Monteverde denso $F_{cc} > 75\%$ y alturas $\approx 2\text{m}$, abundancia de necromasa. La elevada densidad y la abundancia de necromasa pueden ser factores que favorezcan un comportamiento violento del fuego, pero la experiencia en este incendio nos dice lo contrario: 30% con severidad baja frente al 10% alta y 60% sin quemar, además las severidades altas en este MC coinciden con zonas limítrofes con otros MC más inflamables, lo que demuestra una capacidad de reducir la propagación del fuego. Se valida así este MC como de baja inflamabilidad, indicativo de **buena resiliencia**, que es la cualidad objetivo a alcanzar en el territorio para esta planificación. (MC similar: 4.A y 9.A)
- **2.A:** se trata de un modelo de pastizal con matorral (F_{cc} 30-60%). Se encuentra en zonas cercanas a asentamientos humanos en forma de cultivos abandonados, y también intercalado entre masas de pinar, a mayor altitud. En el primer caso de cultivos abandonados, genera un riesgo mayor de incendios por su facilidad de ignición y su cercanía a la población. En el segundo caso de “parches” entre masas de pino, supone un área con menor cantidad de combustible (área cortafuegos de origen espontáneo) que puede facilitar labores de extinción o detener la propagación de llama bajo determinadas condiciones. Por lo tanto, el modelo 2.A es **beneficioso entre zonas arboladas y no recomendable en zonas de interfaz agrícola-forestal**.
- En el caso del modelo **5.C**, presente únicamente en las zonas de alta montaña del Parque Nacional del Teide, no se desea ninguna transformación de la estructura vegetal (matorral de alta montaña) por tratarse de especies ubicadas en una zona protegida de alto valor ecológico. Actualmente se han llevado a cabo medidas por parte de la administración competente para facilitar su recuperación natural, como el cercado de las zonas afectadas, para evitar ingesta de brotes por parte de herbívoros. Por este motivo el modelo **5.C** queda **fuera del ámbito** de esta planificación.

- **7.G:** pinar con sotobosque de especies termófilas, ubicado sólo en solanas. Presenta una severidad relativa muy baja y una regeneración adecuada. **Alta resiliencia.**
- **9.B:** pinar limpio, la descripción no distingue entre pinar canario y pinos exóticos. Muestra una severidad relativa un 10% más baja que alta, esta diferencia no es suficiente para determinar con seguridad la inflamabilidad de este MC. Se considera MC **resiliente para pinar canario** (regeneración adecuada) y **no resiliente para pinar exótico** (regeneración inadecuada).

En segundo lugar, se establecen los MC con menor resiliencia, que se desea convertir a modelos más resilientes. En el apartado 6.1 se determinaron los MC con mayor severidad en este incendio: **7.E, 7.C1, 7.D1, 7.A y 6.C.** (Nótese que la mayoría pertenecen al grupo 7, matorral bajo arbolado, con continuidad vertical y horizontal del combustible). A continuación, se analizan individualmente:

- **7.E:** Pinar de Fcc > 50% con sotobosque de Monteverde de Fcc < 20 %, alturas > 1.5m y pinocha colgante. Este modelo presenta una severidad relativa un 26% más alta que baja. Se considera **resiliencia baja para pinar canario** (por regeneración adecuada), y **no resiliente para pinar exótico.**
- **7.C1:** Pinar con sotobosque de brezo Fcc > 75%, altura < 1.6m. Presenta severidad relativa un 10% más alta que baja, no es concluyente para determinar su inflamabilidad en este incendio por la omisión de otros factores influyentes (medios de extinción, meteorología, etc.). Para **pinar canario** (con regeneración adecuada) se considera de **resiliencia baja o moderada (convertir a otro MC si es posible)**, y para **pinar exótico, no resiliente.**
- **7.D1:** similar al 7.C1, con Fcc menor, severidad relativa algo más baja. Puede ser una **alternativa al 7.C1** en masas de pinar canario en caso de posibilidad limitada de conversión del MC.
- **7.A:** eucaliptar con sotobosque, elevada carga de elementos muertos finos. Modelos con alto potencial de ignición y propagación de llama. Regeneración inadecuada. **No resiliente.**
- **6.C:** matorral termófilo inflamable, altura < 1.5m, Fcc > 50%. Presenta severidad relativa elevada. **No resiliente.**

En tercer lugar, se determina a que modelos de combustible resilientes es viable convertir cada MC no resiliente. Para ello es necesario tener en cuenta las características de estación (media anual de precipitaciones, temperaturas, altitud, características edafológicas, etc.). En este caso se dispone, en el visor de la web IDECanarias, de un *mapa de vegetación potencial* que se ha elaborado teniendo en cuenta la clasificación bioclimática de Rivas Martínez. Se usará como

guía para determinar si los modelos elegidos son viables (por su tipo de vegetación) en cada estación. Como el mapa no está disponible en SIG, se georreferencia una imagen de este, para su uso en el software QGIS. A continuación, se proponen las alternativas para cada MC:

- Modelos **7.E**: se encuentra principalmente en zonas de vegetación potencial de “pinar con brezos y fayas” (según visor IDECanarias). En el caso de **pinar exóticos**, se propone la transición a un modelo 7.B (o similares; 4.A o 9.A) mediante la **corta a hecho** del estrato arbóreo, el **desbroce selectivo** del matorral invasor tras incendio para favorecer la recuperación del Monteverde y, en caso de no obtener la regeneración deseada de manera espontánea, complementarla con plantación. La última opción no se contempla en esta planificación por su escala temporal. En el caso de **pinar canario**, aumentaría la resiliencia una transición a un modelo 7.D1, para ello es necesario un aumento de la Fcc del sotobosque de aproximadamente un 30%. Se alcanza con un manejo adecuado que lo facilite, como abrir el dosel de copas mediante un **aclareo sucesivo**.
- Modelo **7.C1: igual que con el anterior (7.E)**, pinar exótico a 7.B y pinar canario a 7.D1 si es posible.
- **7.D1: conversión a 7.B o similar en pinar exótico.**
- **7.A**: se encuentra en zonas de vegetación potencial de fayal-brezal, **conversión** a Monteverde en su totalidad, modelos **7.B**, 9.A o 4.A. Corta a hecho del estrato arbóreo de especies exóticas (*Eucalyptus spp.*) y **desbroce selectivo de matorral invasor** no deseado. Si la regeneración de especies de Monteverde no es adecuada, complementar con plantación. La última opción no se contempla en esta planificación.
- **2.A**: En zonas cercanas a núcleos de población manejar hacia un modelo 1.A con menor carga de combustible mediante **desbroce del matorral**.
- **6.C**: en **orientación sur** presente en zonas reducidas cercanas a cultivos, intercalado con el modelo 2.A, se le aplica el mismo tratamiento de **desbroce**, reducción de la carga de combustible. En **orientación norte** presente en zonas de potencial Monteverde. Conversión a 7.B, 9.A o 4.A, mediante **desbroce (o eliminación de restos) y plantación**.
- 9.B: En zonas de pinar exótico transición a pinar canario con mismo modelo. **Corta a hecho** del arbolado (o restos) y **plantación**.

Resumidamente, los MC del grupo 7 (de matorral bajo arbolado) compuestos por pinar canario se conservan con intervenciones menores, de apertura del dosel para aumentar el sotobosque. Los grupo 7 de especies exóticas y 6.C en vertiente norte se intentan manejar hacia MC propios del Monteverde, que han demostrado menor severidad.

8. Validación de la resistencia al fuego del paisaje con los cambios de modelos de combustible mediante software de simulación de incendios.

Se simula un incendio con los nuevos modelos de combustible bajo condiciones meteorológicas y fisiográficas similares al de Arafo-Candelaria 2023 mediante el software BihavePlus (Andrews, 2009). En este software no están disponible los modelos de combustible canarios, por lo que se usa los modelos Scott y Burgan (2005) y Anderson (1982) que más se asemejen. Se comparan los resultados de tasa de propagación de llama y de longitud de llama del modelo existente con los del modelo propuesto para cada zona.

Primera simulación: zona El Rosario, parámetros climáticos registrados el día 18/08/2023 (disponibles en *Anejo 3*). Se comparan los resultados de tasa de propagación de llama y de longitud de llama.

Modelos de combustible empleados:

Modelo propuesto: 7.B → sh7 (Very High Load, dry Climate Shrub)

Modelo existente: 7.A → tu5 (very high load gry climate timber-shrub) y 7 (Southern Rough). Ambos modelos se asemejan.

Datos de simulación:

Inputs: SURFACE

Description	→	Simulación zona de El Rosario, 7.B y 7.A, datos c
Fuel/Vegetation, Surface/Understory		
Fuel Model	→	7, sh7, tu5
Fuel Moisture		
1-h Fuel Moisture	% →	18
10-h Fuel Moisture	% →	20
100-h Fuel Moisture	% →	22
Live Herbaceous Fuel Moisture	% →	120
Live Woody Fuel Moisture	% →	90
Weather		
Midflame Wind Speed (upslope)	mi/h →	0.68, 0.34
Terrain		
Slope Steepness	% →	20

Se introducen dos velocidades de viento que se corresponden con la corrección de la velocidad del viento a media llama en dos situaciones diferentes de densidad de vegetación, factor de corrección x0.3 y x0.2.

La humedad de los combustibles está calculada en función de la humedad relativa media de ese día (80%).

La pendiente se corresponde con la más común en el lugar de simulación.

Resultados:

Simulación zona de El Rosario, 7.B y 7.A, datos climáticos día 18/08/2023.

Head Fire

Surface Fire Rate of Spread (ch/h)

Fuel Model	Midflame Wind Speed (upslope)	
	mi/h	
	0.68	0.34
7	3.5	2.6
sh7	0.0	0.0
tu5	1.5	1.2

Surface Fire Flame Length (ft)

Fuel Model	Midflame Wind Speed (upslope)	
	mi/h	
	0.68	0.34
7	2.1	1.8
sh7	0.0	0.0
tu5	2.8	2.5

Los resultados de la simulación reflejan una longitud de llama y una tasa de propagación nula para el modelo sh7 (equivalente al 7.B), es decir, no se ha quemado. Para los modelos tu5 y 7 (equivalentes al 7.A) presentan valores de tasa de propagación y de longitud de llama elevados, que se corresponden con el grado de severidad muy alto de la zona en el caso del incendio real.

Conclusión: La simulación se ha hecho en uno de los días con viento más desfavorable del incendio, por los resultados positivos obtenidos en esta simulación se valida la menor severidad del modelo propuesto para esta zona.

Segunda simulación: Zona de La Orotava, parte baja.

No se obtienen los resultados esperados que validen el modelo propuesto. Si se observa la misma zona en el caso real del incendio, el modelo 7.B presenta severidad baja, incluso en zonas colindantes con otros modelos con más severidad. Puede deberse a que el modelo elegido para simular en el software (aún siendo el de mayor similitud) no reúne las mismas características que el 7.B real.

Inputs: SURFACE

Description → Simulación zona La Orotava, 7.B y 7.D1, datos cli

Fuel/Vegetation, Surface/Understory

Fuel Model → tu5, sh7

Fuel Moisture

1-h Fuel Moisture % → 7

10-h Fuel Moisture % → 9

100-h Fuel Moisture % → 11

Live Herbaceous Fuel Moisture % → 60

Live Woody Fuel Moisture % → 80

Weather

Midflame Wind Speed (upslope) mi/h → 0.42, 0.62

Terrain

Slope Steepness % → 30

Simulación zona La Orotava, 7.B y 7.D1, datos climáticos día 19/08/2023.

Head Fire

Surface Fire Rate of Spread (ch/h)

Fuel Model	Midflame Wind Speed (upslope)	
	mi/h	
	0.42	0.62
tu5	2.9	3.1
sh7	8.8	10.0

Surface Fire Flame Length (ft)

Fuel Model	Midflame Wind Speed (upslope)	
	mi/h	
	0.42	0.62
tu5	4.3	4.4
sh7	6.6	7.0

9. Categorización de zonas en función de necesidad de actuación.

9.1. Zonas de intervención preferente

Se determinan las **zonas de intervención preferente** en función de las variables analizadas en el apartado 6. Serán las zonas con severidad alta o muy alta cuyas formaciones vegetales presenten regeneración “moderadamente adecuada” o “inadecuada”.

Metodología: con el software QGIS se establecen las zonas con severidad alta y muy alta, luego con la información geográfica disponible en el Mapa Forestal se discriminan las zonas de pinar canario (regeneración adecuada) y desarboladas (cultivos y cortafuegos lineales). Se obtiene el *Plano 10: Zonas con mayor necesidad de actuación*.

Las actuaciones, los tratamientos a realizar se determinarán más adelante.

Estas zonas de intervención preferente suman un total de **1236.7 ha**, distribuidas entre las distintas formaciones forestales de la siguiente manera:

FORMACIÓN FORESTAL	% area
Pinares de pino radiata (<i>Pinus radiata</i>)	32,7
Fayal-brezal	21,6
Coníferas alóctonas con autóctonas	14,6
Coníferas con frondosas (alóctonas con autóctonas)	10,5
Mezclas de coníferas y frondosas autóctonas	6,6
Eucaliptales (<i>Eucalyptus</i> spp.)	6,3
Frondosas alóctonas con autóctonas	3,4
Castañares (<i>Castanea sativa</i>)	3,1
Otras mezclas de frondosas macaronésicas	1,2

Tabla 4: % de superficie de las formaciones forestales de intervención preferente.

9.2. Zonas con MC de alta inflamabilidad.

Para cumplir con el objetivo del trabajo, lograr un paisaje más resistente al fuego, también es necesario determinar las **zonas no quemadas con MC que presentaron severidad relativa alta** y **zonas de baja y media severidad con MC de que presentaron severidad relativa alta** ubicadas dentro del límite de la planificación. El propósito de determinar estas zonas es asignarles MC de menor severidad relativa con viabilidad para cada estación, y los tratamientos silvícolas necesarios para alcanzarlo, que variarán en función de la zona.

Metodología: en QGIS se dividen las zonas por el grado de severidad (0 y 1-2) y con el mapa de Modelos de Combustible Canario, se seleccionan para cada zona los más inflamables. Se obtienen estos 2 mapas: *Plano 11: Zonas no quemadas con MC alta inflamabilidad*, *Plano 12: Zonas severidad baja y media con MC alta inflamabilidad*.

Un total de **3050 ha** (severidad 0-2) de las cuales 890.2 ha (29%) son no quemadas. Se distribuyen entre cada MC de la siguiente manera:

MC	% total	% no quem	% sever 1-2
7.C1	56,4	13,3	43,1
6,C	3,2	1,3	1,9
7.D1	29,0	10,6	18,4
7.E	5,8	1,6	4,2
7.A	5,7	2,5	3,2

Tabla 5: % de cada MC de alta inflamabilidad

Las zonas de intervención preferente más las de MC con alta inflamabilidad suman un total de 4286 ha, las casi 10 mil ha restantes se consideran masas resilientes, o fuera del ámbito de la planificación en el caso de las masas de matorral de alta montaña.

9.3. Nivel de prioridad de las zonas con alguna necesidad de actuación.

La prioridad de las zonas se establece según este criterio:

1º) Zonas de actuación preferente: presentan mayor degradación que el resto.

2º) Zonas sin quemar con MC de alta inflamabilidad: representan un riesgo de cara a un posible incendio.

3º) Zonas con severidad baja-media con MC de alta inflamabilidad: necesidad de transformación, pero riesgo de incendio más bajo por acumulación de combustible menor.

10. Tratamientos silvícolas.

En este apartado se sintetizan los tratamientos mencionados en el apartado 8, se definen las zonas en las que se aplican y se hace una valoración económica de su coste.

Se diferencia entre las zonas con necesidad de los mismos tratamientos, y se eliminan las zonas con pendiente superior al 60 % por inaccesibilidad.

Resultados:

Plano 13: Tratamientos silvícolas para conversión de MC.

Plano 14: Zonas de tratamientos de aclareo de pinar canario con sotobosque.

Superficie de aplicación de los tratamientos:

Desbroce: 614 ha

Corta a echo del arbolado: 570 ha

Aclareo: 1772 ha

Plantación de especies: 43 ha

10.1. Valoración económica

Se hace una estimación, por lo alto, del coste económico de los trabajos usando las tarifas de TRAGSA:

Desbroce, total: 659.964 €

- Roza manual, $3 < \varnothing \text{ basal} \leq 6 \text{ cm}$; cabida cubierta $\leq 50\%$; pte $\leq 50\%$ →

$1.074,86 \text{ €/ha} * 614 \text{ ha} = 659.964 \text{ €}$

Corta a echo del arbolado, total: 971.553,6 €

Rec.apilado restos combinado den.25-35 t/ha, pendiente $>50\%$ →

$1.704,48 \text{ €/ha} * 570 \text{ ha} = 971.553,6 \text{ €}$

Aclareo, total: 2.222.477 €

Clareo y poda con carga de trabajo baja → $1.254,22 \text{ €/ha} * 1772 \text{ ha} = 2.222.477 \text{ €}$

Plantación de especies, total: 259.911 €

- Preparación hoyo $40 \times 40 \times 40$, suelo pedr, dens $> 700 \text{ ho/ha}$, pte $> 50\%$ →

$4.919,33 \text{ €/ha} * 43 \text{ ha} = 211.531 \text{ €}$

- Plantación raíz desnuda, en hoyos, suelo pedregoso pte $> 50\%$ → $1.125,12 \text{ €/ha} * 43 \text{ ha} = 48.380 \text{ €}$

Coste total de los tratamientos silvícolas: 4.113.905 €

11. Consideraciones finales

Es importante tener en cuenta que la transición de un modelo de combustible a otro no es inmediata. Se trata de un proceso lento que se corresponde con el crecimiento de la vegetación deseada hasta que reúna las condiciones del modelo propuesto. Durante este proceso, la masa forestal puede pasar por fases de crecimiento en las que su modelo de combustible sea más inflamable que el modelo objetivo. Es de interés extremar las precauciones durante este proceso.

12. Bibliografía

60018 Guimar-Tenerife Observations at 12Z 16 Aug 2023—12Z 31 Aug 2023. (s. f.). Recuperado 20 de junio de 2024, de <https://weather.uwyo.edu/cgi-bin/sounding?region=africa&TYPE=GIF%3ASKEWT&YEAR=2023&MONTH=08&FROM=1612&TO=3112&STNM=60018>

Atlas Climático de Canarias. (s. f.). Recuperado 5 de junio de 2024, de <https://atlasclimatico.sitcan.es/>

Atlas Climático de Canarias—Tenerife—SITCAN Open Data. (s. f.). Recuperado 21 de mayo de 2024, de <https://opendata.sitcan.es/dataset/atlas-climatico-de-canarias-tenerife>

Barreras verdes—Gran Canaria Mosaico. (s. f.). Recuperado 21 de mayo de 2024, de <https://grancanariamosaico.com/barreras-verdes/>

BOC - 2008/115. Martes 10 de Junio de 2008. (s. f.). Recuperado 17 de junio de 2024, de <https://www.gobiernodecanarias.org/boc/2008/115/>

Conjuntos de datos. (s. f.). Recuperado 19 de junio de 2024, de [https://datos.tenerife.es/es/datos/conjuntos-de-datos?filter\[search\]=Datos%20meteorol%C3%B3gicos%20&list\[order_by\]=metadata_modified_desc&start=30](https://datos.tenerife.es/es/datos/conjuntos-de-datos?filter[search]=Datos%20meteorol%C3%B3gicos%20&list[order_by]=metadata_modified_desc&start=30)

COPERNICUS EMERGENCY MANAGEMENT SERVICE. (s. f.). Copernicus EMS - Mapping. Recuperado 22 de mayo de 2024, de <http://emergency.copernicus.eu/mapping/list-of-components/EMSN165>

Copernicus EMS Rapid Mapping Activation Viewer. (s. f.). Recuperado 22 de mayo de 2024, de <https://rapidmapping.emergency.copernicus.eu/EMSR685/download>

Datos abiertos del Cabildo de Tenerife. (s. f.). Recuperado 19 de junio de 2024, de <https://datos.tenerife.es/es/>

Descripción geológica de Tenerife. (s. f.). Recuperado 6 de junio de 2024, de https://www.ign.es/web/resources/sismologia/tproximos/sismotectonica/pag_sismotectonicas/can_tenerife.html

Especies Vegetales en Canarias—Pisos Bioclimáticos y Pisos de Vegetación. (s. f.). Recuperado 7 de junio de 2024, de <https://endemicascanarias.com/index.php/es/ecosistemas/pisos-bioclimaticos>

Fernández-Palacios, J. M., Arévalo, J. R., Delgado, J. D., Otto, R., Morales, G., & Méndez, J. (s. f.). *Incendios forestales y humanos en Canarias.* Geográfica, O. A. C. N. de I. (s. f.). *Centro de Descargas del CNIG (IGN).* Centro de Descargas del CNIG. Recuperado 22 de mayo de 2024, de <http://centrodedescargas.cnig.es>

Grandes Incendios Forestales en España durante 2023. (s. f.). Recuperado 1 de julio de 2024, de https://edu.forestry.es/p/grandes-incendios-forestales-en-espana_23.html

<http://www.agrocabildo.com>, A.-. (s. f.). *AgroCabildo—Agricultura y desarrollo rural en Tenerife.* Recuperado 20 de junio de 2024, de https://www.agrocabildo.org/agrometeorologia_estaciones.asp

La dorsal NE de Tenerife: Hacia un modelo del origen y evolución de los rifts de islas oceánicas – Volcanes De Canarias. (s. f.). Recuperado 6 de junio de 2024, de <https://volcanesdecanarias.org/la-dorsal-ne-de-tenerife-hacia-un-modelo-del-origen-y-evolucion-de-los-rifts-de-islas-oceanicas/>

Medio ambiente—SITCAN Open Data. (s. f.). Recuperado 21 de mayo de 2024, de <https://opendata.sitcan.es/group/medio-ambiente>

Méndez, J., Morales, G., de Nascimento, L., Otto, R., Gallardo, A., & Fernández-Palacios, J. M. (2015). Understanding long-term post-fire regeneration of a fire-resistant pine species. *Annals of Forest Science*, 72(5), Article 5. <https://doi.org/10.1007/s13595-015-0482-9>

Modelos de combustible forestales de Canarias—Modelo de combustible forestal de la isla de Tenerife—Portal de datos abiertos del Gobierno de Canarias. (s. f.). Recuperado 21 de mayo de 2024, de <https://datos.canarias.es/catalogos/general/dataset/modelos-de-combustible-forestales-de-canarias/resource/ff29d8b7-7e99-446f-b490-7b64b785fe9f>

Pemán, J. (s. f.). *Tecnología de las operaciones para la extracción de los productos forestales.*

Quemas prescritas—Gran Canaria Mosaico. (s. f.). Recuperado 21 de mayo de 2024, de <https://grancanariamosaico.com/quemas-prescritas/>

Sector público—SITCAN Open Data. (s. f.). Recuperado 21 de mayo de 2024, de <https://opendata.sitcan.es/group/sector-publico>

Seguimiento Incendio Tenerife Agosto 2023. (s. f.). Recuperado 21 de mayo de 2024, de <https://grafcan1.maps.arcgis.com/apps/dashboards/f325af433a6d4c49963e6b41f625a607>

Sentinel-hub EO-Browser3. (s. f.). Recuperado 18 de junio de 2024, de <https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser/?zoom=11&lat=28.33893&lng=-16.51382&themeId=WILDFIRES&toTime=2024-06-18T12%3A13%3A25.984Z#search>

Sounding Map. (s. f.). Recuperado 20 de junio de 2024, de <https://weather.uwyo.edu/upperair/africa.html>

Toribio, G. (s. f.). *Cálculo de severidad de incendios en QGIS | TYC GIS.* Recuperado 18 de junio de 2024, de <https://www.cursosteledeteccion.com/calculo-de-severidad-de-incendios-en-qgis/>

Visor de IDE Canarias. (s. f.). Recuperado 21 de mayo de 2024, de <https://visor.grafcan.es/visorweb/>

(S. f.). Recuperado 8 de julio de 2024, de <https://tarifas.tragsa.es/prestowebisapi.dll?FunctionGo&id=4115954&cod=Tragsa2024/F&path=Tragsa2024W-Act-sujetas.cfg>