



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Máster

Severidad y factores ambientales en Grandes
Incendios Forestales (GIF) de Gran Canaria
mediante imágenes Landsat

Severity and environmental factors in Large Forest
Fires (GIF) of Gran Canaria through Landsat images

Autor/es

Jonatan Mendoza Godoy

Director/es

Fernando Pérez Cabello

FACULTAD DE FILOSOFIA Y LETRAS

DEPARTAMENTO DE GEOGRAFÍA Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO

MÁSTER EN ORDENACIÓN TERRITORIAL Y MEDIOAMBIENTAL

2019



Fuente: Francisco Rívero.



Fuente: Francisco Rivero.

Agradecimientos

Son muchas las personas que han ayudado a lograr la consecución de este trabajo. En primer lugar, agradecer a Fernando Pérez Cabello, director de este Trabajo Fin de Máster por su paciencia, apoyo y dedicación incansable. Asimismo, agradecer a todo el Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio de la Universidad de Zaragoza al igual que a mis compañeros de Máster.

Agradecer también a Aday González y a Irene Fernández, geógrafos graduados por la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, por su gran aporte de información. Así como, al fotógrafo y vecino Francisco Rivero por cederme las fotografías de su colección del incendio de 2019 de Gran Canaria.

Y, por último, pero no menos importante, a mi familia, en especial a mi madre y a mi hermano por ser mi motivación para cada día salir adelante y por aguantar a mi lado todo este proceso. Muchas gracias.

Resumen: Las características climáticas de Gran Canaria, con unas precipitaciones escasas y lluvias que suelen concentrarse en cortos períodos de tiempo, limitan la eficacia de las técnicas empleadas por los gestores de los incendios forestales. En este sentido, el objetivo de este Trabajo Fin de Máster ha sido facilitar una herramienta útil para la evaluación inicial de la severidad post-incendio, a partir de técnicas de teledetección. Estas técnicas se han aplicado a los dos últimos Grandes Incendios Forestales de Gran Canaria, ocurridos en 2007 y 2017 y han consistido en realizar una delimitación de su perímetro, así como calcular un índice espectral de severidad, el ΔNBR . Posteriormente se analizó los factores explicativos de carácter estructural que explican la distribución espacial de los niveles de severidad registrados. Por lo tanto, a partir de los resultados obtenidos, se advierte que, entre todos los factores estructurales manejados, es la ocupación del suelo la que mejor explica la distribución de la severidad en los dos incendios analizados.

Palabras clave: Severidad del fuego, imágenes de satélite, índices espectrales, incendios forestales, cartografía, gestión forestal.

Abstract: The climatic characteristics of Gran Canaria, with scarce precipitations that usually concentrate in short periods of time, limit the efficacy of the techniques used by forest fire managers. In this respect, the main goal of this Master's Thesis was providing a useful tool for the initial evaluation of the post-fire severity, based on remote sensing techniques. These techniques have been applied to the last two Great Forest-Fires of Gran Canaria, that occurred in 2007 and 2017, and consisted of delimiting their perimeter, as well as calculating the severity spectral index (ΔNBR). Subsequently, the explanatory factors of a structural nature that explain the spatial distribution of the recorded severity levels are analysed. Therefore, from the results obtained, it is noted that, among all the structural factors managed, it is the land cover that best explains the severity distribution in the two fires analysed.

Key Words: Fire severity, satellite images, spectral indexes, forest fires, cartography, forest management.

Índice

1	INTRODUCCIÓN.....	12
1.1	Los incendios forestales	12
1.2	Los incendios forestales en Canarias.....	13
1.3	Caracterización de los incendios forestales de Gran Canaria	16
2	ESTADO DE LA CUESTIÓN.....	23
3	OBJETIVOS	25
4	ÁREA DE ESTUDIO.....	26
4.1	Aspectos generales	26
4.2	Gran Incendio Forestal 2007.....	28
4.3	Gran Incendio Forestal 2017.....	30
5	MATERIAL Y MÉTODOS.....	31
5.1	Material	33
5.1.1	Imágenes de satélite	33
5.1.2	Base de datos para el análisis de los GIF.....	34
5.2	Métodos	36
5.2.1	Delimitación del perímetro afectado.....	36
5.2.2	Cálculo de índices espectrales	38
5.2.2.1	Differenced Normalized Burn Ratio (Δ NBR).....	38
5.2.2.2	Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)	40
5.2.3	Tratamiento de la base de datos.....	41
5.2.4	Análisis estadísticos aplicados	44
6	RESULTADOS	45
6.1	Cartografía de las áreas quemadas	45
6.1.1	Gran incendio forestal 2007	45
6.1.2	Gran incendio forestal 2017	46
6.2	Cartografía de la severidad en los incendios forestales analizados.....	48
6.2.1	Distribución espacial de la severidad en el Gran incendio forestal 2007.....	48
6.2.2	Distribución espacial de la severidad en el Gran incendio forestal 2017.....	50
6.3	Análisis de factores ambientales en relación con la severidad	52
6.3.1	Gran incendio forestal 2007	53
6.3.1.1	Pendiente Topográfica.....	53
6.3.1.2	Comunidades vegetales.....	56
6.3.1.3	Ocupación del suelo	60
6.3.1.4	Materia orgánica.....	64
6.3.1.5	Espacios Naturales Protegidos	67
6.3.1.6	Precipitación.....	70
6.3.1.7	Espesor suelo	72
6.3.1.8	Actividad fotosintética/recubrimiento vegetal (NDVI) previo al incendio	76
6.3.2	Gran incendio forestal 2017	77
6.3.2.1	Pendiente topográfica	77
6.3.2.2	Comunidades vegetales.....	81
6.3.2.3	Ocupación del suelo	84
6.3.2.4	Materia orgánica.....	86
6.3.2.5	Espacios naturales protegidos.....	89
6.3.2.6	Precipitación.....	92
6.3.2.7	Espesor de suelo	95
6.3.2.8	Actividad fotosintética/recubrimiento vegetal (NDVI) previo al incendio	98
7	CONSIDERACIONES FINALES Y CONCLUSIONES.....	100
8	ANEXOS.....	103

9 BIBLIOGRAFÍA..... 109

Índice de figuras

<i>Figura 1: Distribución de los incendios forestales de Gran Canaria para el período de tiempo comprendido entre el año 2000 y el 2017.</i>	17
<i>Figura 2: Número de conatos, incendios e incendios forestales ocurridos en Gran Canaria desde el año 2000 hasta el 2017....</i>	18
<i>Figura 3: Comienzo de los diferentes incendios ocurridos en Gran Canaria desde el año 2000 hasta el 2017, por municipios.</i>	19
<i>Figura 4: Tipo de superficie quemada en Gran Canaria desde el año 2000 hasta el 2017.....</i>	20
<i>Figura 5: Causalidad de los incendios ocurridos en Gran Canaria desde el año 2000 hasta el 2017.</i>	21
<i>Figura 6: Modelo de combustible de los incendios ocurridos en Gran Canaria desde el año 2000 hasta el 2017.....</i>	22
<i>Figura 7: Localización del área de estudio.....</i>	27
<i>Figura 8: Localización del GIF 2007.....</i>	29
<i>Figura 9: Localización del GIF 2017.....</i>	30
<i>Figura 10: Esquema metodológico.....</i>	32
<i>Figura 11: Composición en falso color (7/5/4) del GIF 2017.</i>	37
<i>Figura 12: Perímetro afectado por el Gran Incendio Forestal ocurrido en Gran Canaria en 2007.</i>	46
<i>Figura 13: Perímetro afectado por el Gran Incendio Forestal ocurrido en Gran Canaria en 2017.</i>	47
<i>Figura 14: Distribución espacial de la severidad del fuego del Gran Incendio Forestal ocurrido en Gran Canaria en 2007.</i>	49
<i>Figura 15: Distribución de las categorías de severidad del Gran Incendio Forestal de 2007.</i>	50
<i>Figura 16: Distribución espacial de la severidad del fuego del Gran Incendio Forestal ocurrido en Gran Canaria en 2017.</i>	51
<i>Figura 17: Distribución de las categorías de severidad del Gran Incendio Forestal de 2017..</i>	52
<i>Figura 18: Distribución espacial de la pendiente topográfica en el área afectada por el Gran Incendio Forestal ocurrido en Gran Canaria en 2007.....</i>	53
<i>Figura 19: Distribución de la pendiente topográfica en el Gran Incendio Forestal de 2007.</i>	54
<i>Figura 20: Distribución de los valores severidad (ΔNBR) en relación con el factor pendiente topográfica en el Gran Incendio Forestal de 2007.</i>	55
<i>Figura 21: Distribución espacial de las Comunidades Vegetales presentes en el área afectada por el Gran Incendio Forestal ocurrido en Gran Canaria en 2007.....</i>	57
<i>Figura 22: Distribución de las Comunidades Vegetales en el Gran Incendio Forestal de 2007.....</i>	58
<i>Figura 23: Distribución de los valores de severidad (ΔNBR) en relación con el factor Comunidades Vegetales en el Gran Incendio Forestal de 2007.</i>	59
<i>Figura 24: Distribución espacial de la ocupación del suelo presente en el área afectada por el Gran Incendio Forestal ocurrido en Gran Canaria en 2007.</i>	61
<i>Figura 25: Distribución de la ocupación del suelo en el Gran Incendio Forestal de 2007.</i>	62
<i>Figura 26: Distribución de los valores de severidad (ΔNBR) en relación con el factor ocupación del suelo en el Gran Incendio Forestal de 2007.</i>	63
<i>Figura 27: Distribución espacial de la materia orgánica presente en el área afectada por el Gran Incendio Forestal ocurrido en Gran Canaria en 2007.</i>	64
<i>Figura 28: Distribución de la materia orgánica en el Gran Incendio Forestal de 2007.....</i>	65
<i>Figura 29: Distribución de los valores de severidad (ΔNBR) en relación con el factor materia orgánica en el Gran Incendio Forestal de 2007..</i>	66
<i>Figura 30: Distribución espacial de los Espacios Naturales Protegidos presentes en el área afectada por el Gran Incendio Forestal ocurrido en Gran Canaria en 2007.</i>	67

<i>Figura 31: Distribución de los Espacios Naturales Protegidos afectados por el Gran Incendio Forestal de 2007.....</i>	<i>68</i>
<i>Figura 32: Distribución de los valores de severidad (ΔNBR) en relación con el factor Espacios Naturales Protegidos en el Gran Incendio Forestal de 2007.....</i>	<i>69</i>
<i>Figura 33: Distribución espacial de la precipitación en el área afectada por el Gran Incendio Forestal ocurrido en Gran Canaria en 2007.....</i>	<i>70</i>
<i>Figura 34: Distribución de la precipitación en el Gran Incendio Forestal de 2007.....</i>	<i>71</i>
<i>Figura 35: Distribución de los valores de severidad (ΔNBR) en relación con el factor precipitación en el Gran Incendio Forestal de 2007.....</i>	<i>72</i>
<i>Figura 36: Distribución espacial del espesor del suelo en el área afectada por el Gran Incendio Forestal ocurrido en Gran Canaria en 2007.....</i>	<i>73</i>
<i>Figura 37: Distribución del espesor del suelo en el Gran Incendio Forestal de 2007.....</i>	<i>74</i>
<i>Figura 38: Distribución de los valores de severidad (ΔNBR) en relación con el factor espesor de suelo en el Gran Incendio Forestal de 2007.....</i>	<i>75</i>
<i>Figura 39: Distribución espacial del NDVI en el área afectada por el Gran Incendio Forestal ocurrido en Gran Canaria en 2007.....</i>	<i>76</i>
<i>Figura 40: Distribución de los valores de la actividad fotosintética (NDVI) en relación con la severidad en el Gran Incendio Forestal de 2007.....</i>	<i>77</i>
<i>Figura 41: Distribución espacial de la pendiente topográfica en el área afectada por el Gran Incendio Forestal ocurrido en Gran Canaria en 2017.....</i>	<i>78</i>
<i>Figura 42: Distribución de la pendiente topográfica en el Gran Incendio Forestal de 2017.....</i>	<i>79</i>
<i>Figura 43: Distribución de los valores de severidad (ΔNBR) en relación con el factor pendiente topográfica en el Gran Incendio Forestal de 2017.....</i>	<i>80</i>
<i>Figura 44: Distribución espacial de las comunidades vegetales en el área afectada por el Gran Incendio Forestal ocurrido en Gran Canaria en 2017.....</i>	<i>81</i>
<i>Figura 45: Distribución de las comunidades vegetales en el Gran Incendio Forestal de 2017.....</i>	<i>82</i>
<i>Figura 46: Distribución de los valores de severidad (ΔNBR) en relación con el factor comunidades vegetales en el Gran Incendio Forestal de 2017.....</i>	<i>83</i>
<i>Figura 47: Distribución espacial de la ocupación del suelo en el área afectada por el Gran Incendio Forestal ocurrido en Gran Canaria en 2017.....</i>	<i>84</i>
<i>Figura 48: Distribución de la ocupación del suelo en el Gran Incendio Forestal de 2017.....</i>	<i>85</i>
<i>Figura 49: Distribución de los valores de severidad (ΔNBR) en relación con el factor ocupación del suelo en el Gran Incendio Forestal de 2017.....</i>	<i>86</i>
<i>Figura 50: Distribución espacial de la materia orgánica en el área afectada por el Gran Incendio Forestal ocurrido en Gran Canaria en 2017.....</i>	<i>87</i>
<i>Figura 51: Distribución de la materia orgánica en el Gran Incendio Forestal de 2017.....</i>	<i>88</i>
<i>Figura 52: Distribución de los valores de severidad (ΔNBR) en relación con el factor materia orgánica en el Gran Incendio Forestal de 2017.....</i>	<i>89</i>
<i>Figura 53: Distribución espacial de los Espacios Naturales Protegidos presentes en el área afectada por el Gran Incendio Forestal ocurrido en Gran Canaria en 2017.....</i>	<i>90</i>
<i>Figura 54: Distribución de los Espacios Naturales Protegidos en el Gran Incendio Forestal de 2017.....</i>	<i>91</i>
<i>Figura 55: Distribución de los valores de severidad (ΔNBR) en relación con el factor Espacios Naturales Protegidos en el Gran Incendio Forestal de 2017.....</i>	<i>91</i>

<i>Figura 56: Distribución espacial de la precipitación presente en el área afectada por el Gran Incendio Forestal ocurrido en Gran Canaria en 2017.</i>	93
<i>Figura 57: Distribución de la precipitación en el Gran Incendio Forestal de 2017.</i>	93
<i>Figura 58: Distribución de los valores de severidad (ΔNBR) en relación con el factor Espacios Naturales Protegidos en el Gran Incendio Forestal de 2017.</i>	94
<i>Figura 59: Distribución espacial del espesor de suelo presente en el área afectada por el Gran Incendio Forestal ocurrido en Gran Canaria en 2017.</i>	95
<i>Figura 60: Distribución de la precipitación en el Gran Incendio Forestal de 2017.</i>	96
<i>Figura 61: Distribución de los valores de severidad (ΔNBR) en relación con el espesor de suelo en el Gran Incendio Forestal de 2017.</i>	97
<i>Figura 62: Distribución espacial del NDVI previo presente en el área afectada por el Gran Incendio Forestal ocurrido en Gran Canaria en 2017.</i>	98
<i>Figura 63: Distribución de los valores de la actividad fotosintética (NDVI) en relación con la severidad en el Gran Incendio Forestal de 2017.</i>	99

Índice de tablas

<i>Tabla 1: Número de incendios y superficie forestal quemada en Canarias y Gran Canaria entre el año 2000 y 2015.</i>	15
<i>Tabla 2: Número de incendios según tipo en Canarias y Gran Canaria entre el año 2000 y 2015.</i>	15
<i>Tabla 3: Descripción de bandas del Landsat 8.</i>	33
<i>Tabla 4: Imágenes de satélite usadas en el estudio.</i>	34
<i>Tabla 5: Variables usadas en los análisis estadísticos.</i>	35
<i>Tabla 6: Fórmula aplicada para calcular el índice Δnbr.</i>	39
<i>Tabla 7: Niveles de severidad del índice ΔNBR.</i>	39
<i>Tabla 8: Fórmula utilizada para calcular el NDVI.</i>	40
<i>Tabla 9: Clases del NDVI.</i>	41
<i>Tabla 10: Índices espectrales aplicados en los GIF analizados.</i>	41
<i>Tabla 11: Variables categorizadas.</i>	43
<i>Tabla 12: Clasificación de la severidad.</i>	44
<i>Tabla 13: Resumen del análisis de las diferencias por pares correspondientes al factor pendiente topográfica con intervalos de confianza (95%) (GIF 2007).</i>	56
<i>Tabla 14: Resumen del análisis de las diferencias por pares correspondientes al factor comunidades vegetales con intervalos de confianza (95%) (GIF 2007).</i>	60
<i>Tabla 15: Resumen del análisis de las diferencias por pares correspondiente al factor ocupación de suelo con intervalos de confianza (95%) (GIF 2007).</i>	63
<i>Tabla 16: Resumen del análisis de las diferencias por pares correspondiente al factor materia orgánica con intervalos de confianza (95%) (GIF 2007).</i>	66
<i>Tabla 17: Resumen del análisis de las diferencias por pares correspondiente al factor Espacios Naturales Protegidos con intervalos de confianza (95%) (GIF 2007).</i>	69
<i>Tabla 18: Resumen del análisis de las diferencias por pares correspondiente al factor precipitación con intervalos de confianza (95%) (GIF 2007).</i>	72
<i>Tabla 19: Resumen del análisis de las diferencias por pares correspondiente al factor espesor de suelo con intervalos de confianza (95%) (GIF 2007).</i>	75

<i>Tabla 20: Resumen del análisis de las diferencias por pares correspondiente al factor severidad con intervalos de confianza (95%) (GIF 2007).</i>	77
<i>Tabla 21: Resumen del análisis de las diferencias por pares correspondiente al factor pendiente topográfica con intervalos de confianza (95%) (GIF 2007).</i>	81
<i>Tabla 22: Resumen del análisis de las diferencias por pares correspondiente al factor comunidades vegetales con intervalos de confianza (95%) (GIF 2007).</i>	84
<i>Tabla 23: Resumen del análisis de las diferencias por pares correspondiente al factor ocupación del suelo con intervalos de confianza (95%) (GIF 2007).</i>	86
<i>Tabla 24: Resumen del análisis de las diferencias por pares correspondiente al factor materia orgánica con intervalos de confianza (95%) (GIF 2007).</i>	89
<i>Tabla 25: Resumen del análisis de las diferencias por pares correspondiente al factor Espacios Naturales Protegidos con intervalos de confianza (95%) (GIF 2007).</i>	92
<i>Tabla 26: Resumen del análisis de las diferencias por pares correspondiente al factor precipitación con intervalos de confianza (95%) (GIF 2007).</i>	94
<i>Tabla 27: Resumen del análisis de las diferencias por pares correspondiente al factor espesor suelo con intervalos de confianza (95%) (GIF 2007).</i>	97
<i>Tabla 28: Resumen del análisis de las diferencias por pares correspondiente al factor severidad con intervalos de confianza (95%) (GIF 2007).</i>	99

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Los incendios forestales

El fuego ha sido un elemento clave en la conservación y en la transformación del paisaje y de los ecosistemas naturales actuales, además de parte esencial del desarrollo de los sistemas de vida humanos. Cumple una función ecológica como regulador de procesos, jugando un papel determinante en la historia evolutiva de la tierra, en particular cuando su origen es consecuencia de procesos naturales (Castillo *et al.*, 2003).

Algunos ecosistemas necesitan de fenómenos naturales como el fuego para mantener o incluso aumentar su biodiversidad, en muchas partes del mundo la ocurrencia de incendios forestales responde a ciertas características climáticas, provocando la adaptación de la vegetación a situaciones de estrés, como en el caso de un incendio forestal (Castillo *et al.*, 2003).

Por su parte, los efectos positivos del fuego, como agente favorecedor de la biodiversidad y del mantenimiento de los ecosistemas naturales, han ido disminuyendo conforme ha ido aumentando los procesos de globalización de la economía mundial, hasta convertirse en un problema ambiental. (Riera *et al.*, 2003; Peralta, 2010)

La Ley 43/2003, de 21 de noviembre, de montes, define un incendio forestal como *“aquel fuego que se extiende sin control sobre combustibles forestales situados en el monte”* En este sentido, el *Artículo 5* de la citada ley expone que, *“se entiende por monte todo terreno en el que vegetan especies forestales arbóreas, arbustivas, de matorral o herbáceas, sea espontáneamente o procedan de siembra o plantación, que cumplan o puedan cumplir funciones ambientales, protectoras, productivas, culturales, paisajísticas o recreativas”*

Una vez aclarado esto, los incendios forestales provocan grandes perturbaciones sobre el territorio, además de producir impactos negativos sobre la sociedad y la economía. En las últimas décadas, la severidad, magnitud y frecuencia de los incendios forestales ha ido en aumento. Según varios autores, uno de los factores que explican este incremento de la voracidad de los incendios forestales es el cambio climático producido por el incremento de gases de efecto invernadero en la atmósfera terrestre, que provoca un aumento de las temperaturas y de los fenómenos meteorológicos extremos a nivel global.

Por su parte, las características de los incendios forestales en España están cambiando, debido en cierta medida al cambio climático global y a la acción humana la cual ha modificado

los mecanismos naturales de los ecosistemas (López *et al.*, 2019). Además, los montes españoles han aumentado su superficie forestal debido al abandono del medio rural, de los aprovechamientos forestales y de la aplicación de prácticas de reforestación, en muchos casos con especies inflamables. Esto ha llevado a una menor gestión de las zonas boscosas, como resultado, se ha visto incrementado el número de Grandes Incendios Forestales (Almagro, 2009).

Por lo tanto, el estudio de los mecanismos y procesos del fuego, así como de las consecuencias de los incendios forestales resulta muy útil en relación con la prevención, gestión y rehabilitación de las áreas quemadas. En este contexto, la teledetección, los sistemas de información geográfica y la ordenación del territorio desempeñan un papel determinante.

En definitiva, el motivo principal de la realización de este Trabajo Fin de Máster es conocer las características, desde el punto de vista de la severidad, de los Gran Incendios Forestales ocurridos en Gran Canaria en la última década. En este sentido, el objetivo es que este análisis sirva para mejorar las técnicas de prevención, gestión y rehabilitación de zonas quemadas, así como ayudar a realizar una ordenación territorial acorde con la realidad existente.

1.2 Los incendios forestales en Canarias

La respuesta de los ecosistemas forestales canarios tras el fuego es bastante positiva en comparación a la que tiene lugar en los sistemas del área mediterránea, debido principalmente a sus características biogeográficas que ha favorecido el tipo de vegetación existente. Especies como el Pino Canario (*Pinus canariensis*) con dotes naturales para resistir el fuego, han desarrollado una gran capacidad de adaptación a los incendios forestales (Plan Forestal de Canarias, 1999). “Increíblemente, los incendios no afectan en gran medida al pinar ni al pino canario, gracias a que su gruesa corteza protege su sistema vascular de las altas temperaturas [...] por lo que las manchas quemadas se recuperan en unos pocos meses” (Fernández-Palacios *et al.*, 2007).

Durante casi toda la existencia del archipiélago, las Islas Canarias han estado estrechamente relacionadas con la frecuencia e intensidad de los incendios forestales, debido principalmente, aunque no de forma exclusiva, a las erupciones volcánicas. Por lo tanto, los incendios forestales han supuesto una dificultad para mantener la calidad de las masas forestales del archipiélago (Plan Forestal de Canarias, 1999).

Se trata de un riesgo natural muy extendido por todas las Islas, afectando con mayor frecuencia e intensidad a las Islas con una mayor cobertura vegetal. La gran mayoría de los incendios forestales no afectan a un gran número de hectáreas, sin embargo, un 10% de los que superan las 25 hectáreas suelen convertirse en grandes incendios forestales (>500 ha), manifestándose en un período de aproximadamente 4-5 años (Plan Forestal de Canarias, 1999).

La frecuencia de los Grandes Incendios Forestales (en adelante GIF) ha ido en aumento en los últimos años debido, entre otras muchas causas, al abandono por parte del ser humano de tareas tradicionales como la agricultura o la ganadería, además de aspectos relacionados con el cambio climático, que acentúa las características climáticas de las Islas.

Las condiciones meteorológicas del archipiélago es un factor determinante a la hora de favorecer la aparición de incendios. Características meteorológicas como, escasas e irregulares precipitaciones, altas temperaturas estivales, elevada insolación anual, humedad relativa baja, vientos cargados con poca humedad, entre otros muchos factores. Estas condiciones climáticas favorecen la presencia de material inflamable seco, elevando las posibilidades de desencadenar un proceso de combustión de dicho material.

Los incendios forestales provocan graves consecuencias sobre el territorio, ya que la pérdida de cobertura vegetal incrementa los procesos de erosión y de desertificación. además de producir impactos negativos sobre la sociedad y la economía insular. En las últimas décadas los incendios forestales se han convertido en un grave problema en la Isla de Gran Canaria, el fuego ha pasado de ser un elemento más del medio, a convertirse en una amenaza para su ecosistema. En este contexto, los GIF han aumentado en frecuencia, extensión e intensidad, pasando a ser un grave problema ecológico, económico y social (Pous Andrés *et al.*, 2009).

Tomando como fuente de los datos el Instituto Canario de Estadística (ISTAC), para el período comprendido entre el año 2000 y 2015, en el caso particular de Gran Canaria se registraron un total de 806 incendios, presentando una media de unos 50 incendios forestales al año, afectando a un total de superficie forestal de 20.289 hectáreas y una media de 1.268 hectáreas cada año (Tabla 1).

	CANARIAS		GRAN CANARIA	
	Nº incendios	Superficie forestal	Nº incendios	Superficie forestal
2000	85	4.377,02	35	426,66
2001	69	290,19	29	112,11
2002	88	143,26	35	28,88
2003	81	398,93	44	50,12
2004	142	334,51	65	226,19
2005	148	2.142,57	61	210,4
2006	123	1.612,65	69	84,66
2007	139	35.758,62	59	18.701,10
2008	133	424,52	51	9,58
2009	122	3.612,87	62	28,06
2010	116	198,68	60	80,24
2011	99	59,17	45	15,21
2012	128	12.399,27	51	25,07
2013	101	219,88	62	199,74
2014	60	40,22	25	13,2
2015	89	107,05	53	75,42

Tabla 1: Número de incendios y superficie forestal quemada en Canarias y Gran Canaria entre el año 2000 y 2015.

Fuente: ISTAC (Instituto Canario de Estadística) (Elaboración propia)

Como se observa en la Tabla 1, el año en el que hubo un mayor número de incendios en Gran Canaria fue el año 2006, registrándose un total de 69 incendios que afectaron a 84,66 hectáreas. Por otra parte, el año en el que más superficie forestal se vio afectada, fue sin lugar a duda en 2007, con un total de 59 incendios y una superficie forestal afectada de 18.000 hectáreas.

	CANARIAS			Gran Canaria		
	Conatos	Incendios	Grandes Incendios	Conatos	Incendios	Grandes Incendios
2000	56	28	1	18	17	0
2001	50	19	0	17	12	0
2002	76	12	0	31	4	0
2003	64	17	0	35	9	0
2004	102	40	0	43	22	0
2005	130	17	1	55	6	0
2006	98	24	1	52	17	0
2007	111	26	2	49	9	1
2008	125	8	0	49	2	0
2009	105	16	1	53	9	0
2010	106	10	0	56	4	0
2011	86	13	0	40	5	0
2012	109	15	4	48	3	0
2013	86	15	0	51	11	0
2014	53	7	0	22	3	0
2015	76	13	0	44	9	0

Tabla 2: Número de incendios según tipo en Canarias y Gran Canaria entre el año 2000 y 2015. Fuente: ISTAC

(Instituto Canario de Estadística) (Elaboración propia)

Por otro lado, en relación con la tipología de incendios se establecen tres niveles: (1) conatos, que incluyen los incendios menores de 1 hectárea; (2) incendios con una extensión entre 1 y 500 hectáreas; (3) grandes incendios, cuando la superficie afectada supera las 500 hectáreas.

Por lo tanto, una vez aclarado esto, como figura en la Tabla 2, la tipología de incendio que prevalece tanto a nivel autonómico como insular es el conato, registrándose un total de 1.433 en Canarias, de los cuáles casi el 50% se registraron en Gran Canaria.

Por su parte, los incendios que se registraron en Canarias durante el período de tiempo del año 2000 al 2015 fue de 280, de los que más de la mitad, 140 incendios afectaron a Gran Canaria. Y, por último, 10 grandes incendios forestales se registraron en Canarias entre el año 2000 y el 2015, de los que solamente 1 incendio afectó a Gran Canaria.

En resumen, dentro del Archipiélago Canario, Gran Canaria ha tenido un verdadero problema en relación con los incendios forestales, ya que 663 conatos, casi la mitad de los registrados a nivel insular asolaron la isla, igual que en relación con los incendios (de 1 a 500 hectáreas) que más de la mitad de los registrados a nivel autonómico se registraron en Gran Canaria. Por su parte, el único GIF que se produjo en Gran Canaria arrasó más de 20.000 hectáreas.

1.3 Caracterización de los incendios forestales de Gran Canaria

La caracterización de los incendios forestales de Gran Canaria se ha elaborado a partir de una base de datos cedida y confeccionada por Irene Isabel Fernández Pérez, geógrafa graduada por la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. La autoría de esta base de datos pertenece al Ministerio de Agricultura y Pesca, Medio Ambiente (MAPAMA) y fue facilitada por el Cabildo de Gran Canaria por parte del Centro de Coordinación Operativa Insular (Fernández, 2018)

Dicha base de datos se compone de un repositorio de ficheros Excel con los partes de incendios en la isla de Gran Canaria, en nuestro caso se han seleccionado los incendios desde el año 2000 hasta el 2017. Contabilizándose un total de 830 incendios de todo tipo. La información con un mayor interés desde el punto de vista de este Trabajo Fin de Máster ha sido:

- Año: 2000 hasta 2017.
- Tipo: Conato, incendio o gran incendio forestal.

- Municipios en los que comienza el fuego.
- Superficie total afectada.
- Tipo de superficie afectada: arbolada, no arbolada y desarbolada.
- Causas.
- Modelo de combustible.

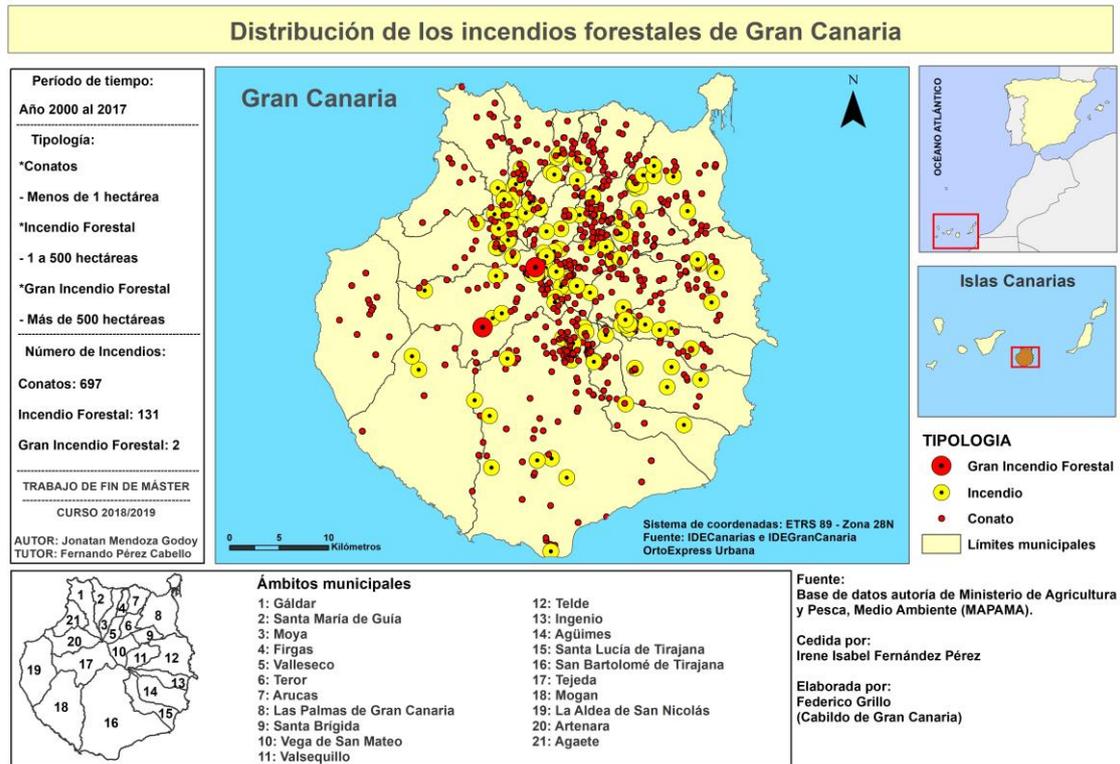


Figura 1: Distribución de los incendios forestales de Gran Canaria para el período de tiempo comprendido entre el año 2000 y el 2017. Fuente: Cabildo de Gran Canaria (Elaboración propia)

Según lo expuesto en la Figura 1, la mayoría de los conatos, incendios y grandes incendios forestales se concentran en la mitad norte/noreste de Gran Canaria, y particularmente en la zona de cumbre, correspondiéndose con el área donde más superficie forestal existe. Estos datos se distribuyen en un período de tiempo que va desde el año 2000 hasta el 2017, registrándose un total de 697 conatos, 131 incendios y 2 grandes incendios forestales.

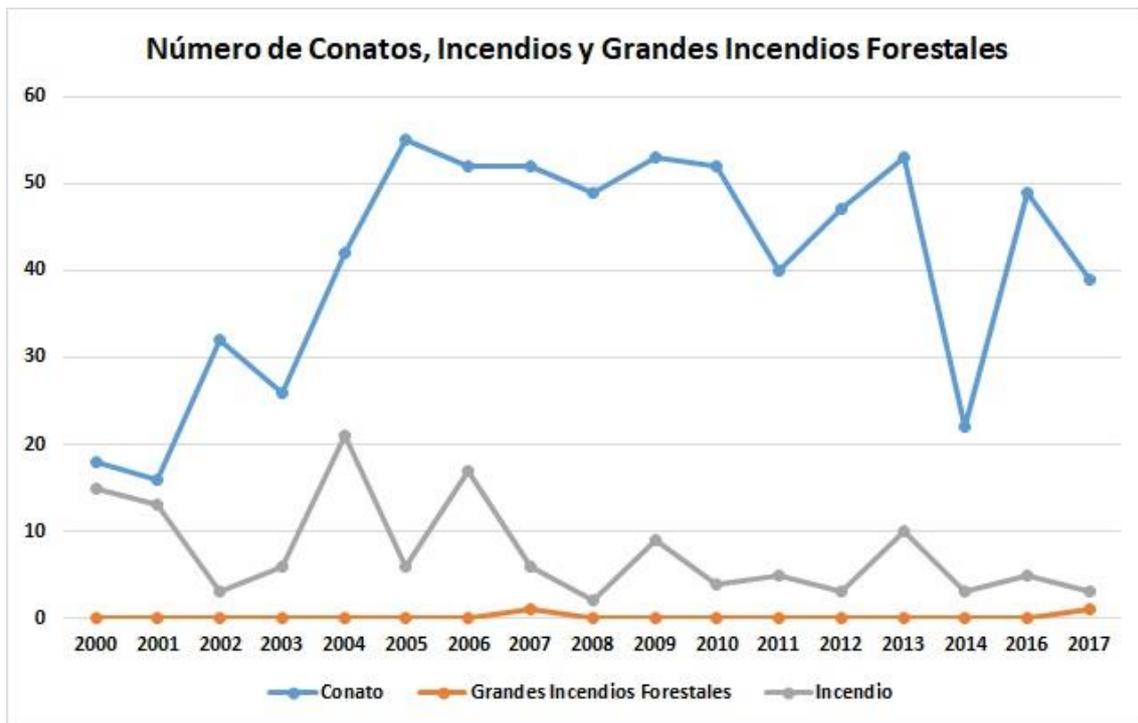


Figura 2: Número de conatos, incendios e incendios forestales ocurridos en Gran Canaria desde el año 2000 hasta el 2017. Fuente: Cabildo de Gran Canaria (Elaboración propia)

Según lo expuesto en el gráfico (Figura 2), se observa que el número de conatos supera con creces el de incendios y grandes incendios forestales, contabilizándose un total de 697. A comienzos de siglo el número de conatos presentó unos valores realmente bajos, registrándose entre el año 2000 y 2001 un total de 34 conatos. A partir de aquí se produjo un incremento hasta alcanzar en el año 2005 los valores más altos del período analizado, con un total de 55. A partir de este año, el número de conatos registrados se estabilizó, hasta el año 2014 en el que se produjo un descenso evidente, para volver a aumentar el número a final del período.

El número de incendios registrados, como se observa en el gráfico, ha tenido un comportamiento un tanto irregular, sin llegar a presentar unos valores excesivamente altos. Se han ido sucediendo años con valores más altos, con otros en los que el número de incendios desciende. Registrándose el mayor número de incendios en el año 2004, con un total de 21 incendios, siendo el año 2008 en el que menos incendios se contabilizó, con un total de 2.

Por último, en la serie temporal analizada solamente se han contabilizado 2 grandes incendios forestales, uno en el año 2007 y otro en el año 2017, aunque el número de grandes

incendios forestales es escaso, el total de hectáreas afectadas ha sido elevado, la cantidad de hectáreas afectadas se comentará en las páginas siguientes.

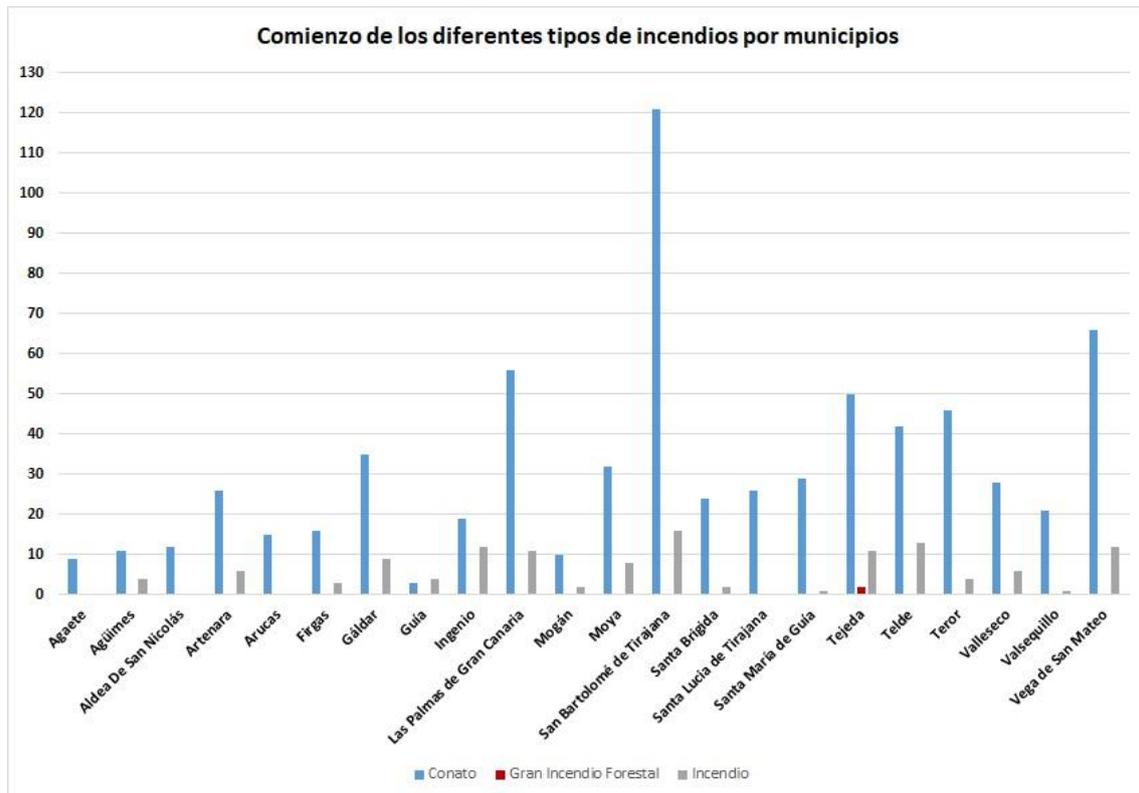


Figura 3: Comienzo de los diferentes incendios ocurridos en Gran Canaria desde el año 2000 hasta el 2017, por municipios. Fuente: Cabildo de Gran Canaria (Elaboración propia)

Antes de comentar el gráfico, aclarar que la mayoría de los municipios de Gran Canaria siguen un patrón lógico en relación con su distribución, abarcando desde las áreas cumbre hasta la costa, esto se debe a una mayor optimización de los recursos económicos. Por lo tanto, como se comentó en la Figura 1, la mayoría de los conatos, incendios y grandes incendios forestales se concentran en la zona de cumbres, afectando a todos los municipios de la isla.

Por lo tanto, a raíz de lo expuesto en la Figura 3, el municipio donde han comenzado el mayor número de conatos es San Bartolomé de Tirajana, con un total de 121 conatos registrados, seguido de la Vega de San Mateo con 66, comentar que los dos municipios mencionados tienen una gran superficie municipal en la zona de cumbres, por lo que no sorprende dichos datos. Por otro lado, los municipios en los que se han registrado un menor número de conatos son Santa María de Guía, con un total de solamente 3 conatos y Agate con 9, municipios muy próximos entre sí.

Por su parte, en relación con los incendios, el municipio más afectado nuevamente es San Bartolomé de Tirajana, con un total de 16 incendios registrados, seguido por Telde con un total de 13. Por el contrario, nos encontramos con cuatro municipios en los que no ha comenzado ninguno de los incendios registrados, estos municipios son Agaete, La Aldea de San Nicolás, Arucas y Santa Lucía de Tirajana, mientras que nuevamente Santa María de Guía, al igual que Valsequillo presentan los datos más bajos con solamente el comienzo de un incendio registrado.

Por último, solamente dos grandes incendios forestales se registraron durante el período de tiempo analizado, comenzando los dos en el municipio de Tejeda, municipio cumbreño de Gran Canaria por excelencia. En total, en dicho municipio se registró el comienzo de 63 conatos, incendios o grandes incendios forestales.

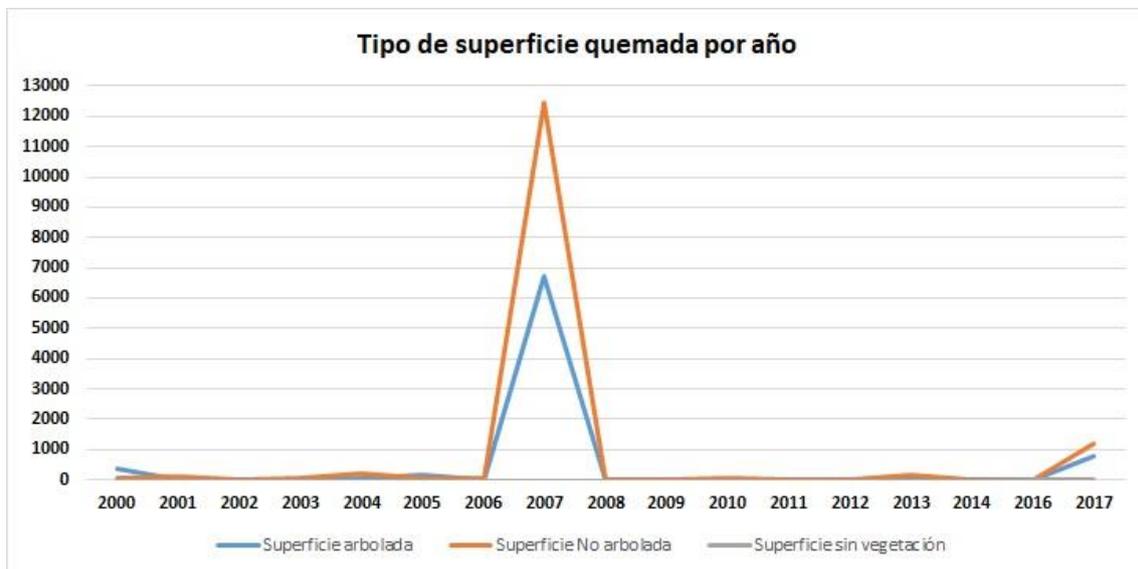


Figura 4: Tipo de superficie quemada en Gran Canaria desde el año 2000 hasta el 2017. Fuente: Cabildo de Gran Canaria (Elaboración propia)

Según lo expuesto en la Figura 4, hay dos años en los que la superficie afectada por el fuego se dispara, estos años coinciden con los dos grandes incendios forestales analizados. En primer lugar, comentar que la superficie arbolada se corresponde con áreas en las que predominan las especies vegetales con porte arbóreo, la superficie no arbolada con espacios en los que predomina las especies vegetales con porte arbustivo, subarbustivo y herbáceo, y, la superficie sin vegetación, como su propio nombre indica, con áreas desprovistas de vegetación.

Por lo tanto, una vez aclarada esta cuestión, la superficie más afectada por los incendios en el período de tiempo analizado es la superficie no arbolada, con un total de 14537

hectáreas afectadas aproximadamente, seguido de la superficie arbolada con 8155 hectáreas, y, por último, la menor incidencia la ha tenido las áreas desprovistas de vegetación con un total de 5 hectáreas afectadas. Estos resultados siguen un comportamiento lógico, ya que los datos analizados se corresponden en su mayoría con espacios forestales, por lo que las áreas sin vegetación son las menos afectadas.

El año con una mayor superficie afectada es sin duda el 2007, correspondiéndose con el año en el que se produjo el primero de los GIF analizados, se quemaron un total de 19218 hectáreas aproximadamente, afectando a áreas con superficie arbolada y no arbolada exclusivamente. Seguido del año 2017, coincidiendo con el segundo GIF analizado, en el que se quemaron unas 2000 hectáreas aproximadamente.

Por último, las hectáreas de superficie arbolada media afectadas en todo el período es de unas 480 aproximadamente, por su parte la media de hectáreas afectadas en las superficies no arboladas fue de 855 hectáreas, y por último las superficies desprovistas de vegetación con menos de 1 hectárea de media afectada.

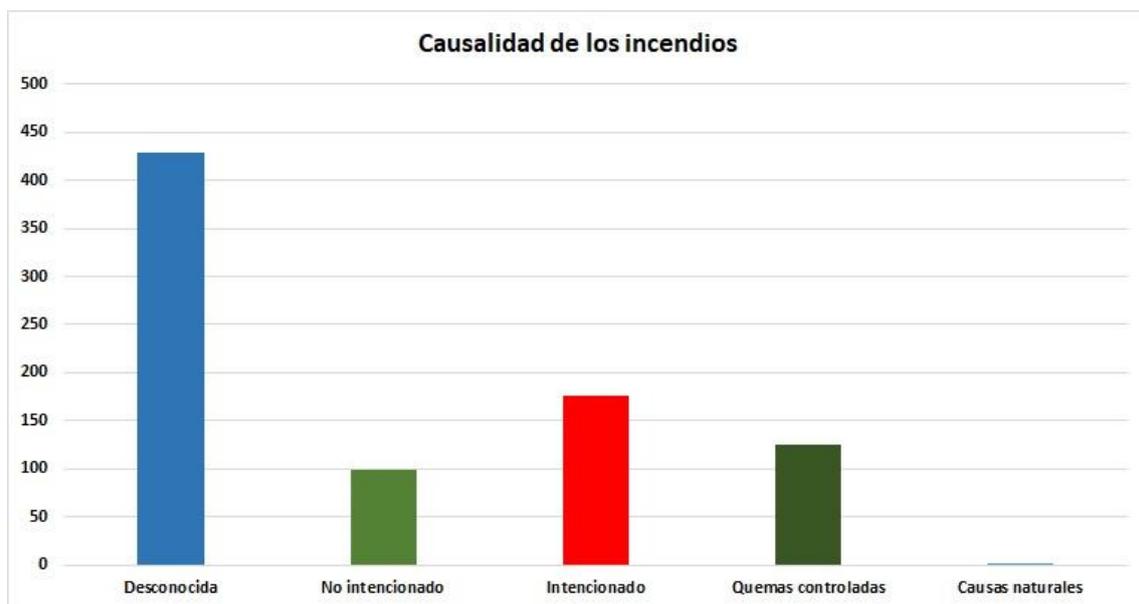


Figura 5: Causalidad de los incendios ocurridos en Gran Canaria desde el año 2000 hasta el 2017. Fuente: Cabildo de Gran Canaria (Elaboración propia)

Por su parte, la causalidad de los incendios se ha agrupado en cinco categorías para tratar de resumir en la medida de lo posible las causas de los incendios. Como se expone en la Figura 5, de los 830 tipos de incendios diferentes registrados, 429 se desconoce la causa, por lo tanto, más de la mitad de los incendios ocurridos se iniciaron por causas desconocidas.

Por otro lado, el segundo grupo que más destaca es el de causas intencionadas, con un total de 176 incendios, una cifra muy alta si lo comparamos con el total registrados, 830, representando el 21%, que sumado al 51% de las causas desconocidas hacen un total del 72%, cifra verdaderamente elevada.

Por último, el 28% restante se corresponde con las categorías de quemas controladas, no intencionado y causas naturales.

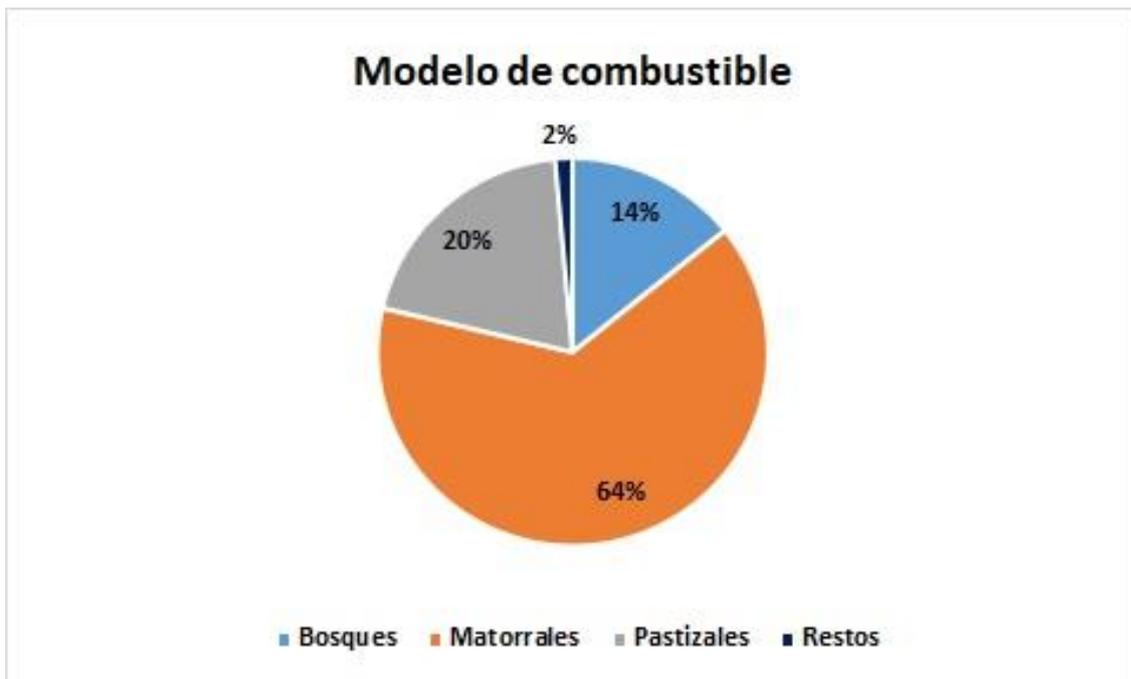


Figura 6: Modelo de combustible de los incendios ocurridos en Gran Canaria desde el año 2000 hasta el 2017. Fuente: Cabildo de Gran Canaria (Elaboración propia)

Para concluir la caracterización de los incendios forestales ocurridos en Gran Canaria en el período de tiempo comprendido entre el año 2000 y el 2017, se analizará el modelo de combustible. Los combustibles son uno de los elementos claves en los incendios forestales, ya que suministran la energía necesaria para la propagación del fuego (Bryam, 1959; Chandler et al., 1983; citado por Fernández, O, 2016).

Por lo tanto, según lo expuesto en la Figura 6, el combustible mayoritario se relaciona con matorrales, con un 64% de los incendios analizados, en segundo lugar, con pastizales, con un 20% del total. Y, por último, con bosques y restos, representando el primero un 14% del total y el segundo un 2% siendo el grupo minoritario.

2 ESTADO DE LA CUESTIÓN

Existe una variada y extensa colección de literatura dedicada a estudiar y analizar los incendios forestales a través de técnicas de teledetección. Con el paso de los años, estas técnicas se han ido avanzando y mejorando, hasta llegar a nuestros días en los que hay infinidad de metodologías aplicadas al análisis de los efectos que provocan los incendios forestales.

Se han de destacar las ventajas que ofrece la teledetección para el análisis de los incendios forestales, estas ventajas se han obtenido del vaciado bibliográfico desarrollado durante la elaboración del Trabajo Fin de Máster; (1) Cobertura global y periódica del área afectada, (2) frecuencia de adquisición alta y cobertura repetitiva, (3) información sobre regiones no visibles del espectro, (4) resolución espacial adecuada para analizar Grandes Incendios Forestales, (5), tratamiento digital/visual de las imágenes recibidas, (6) escasa inversión económica y (7) observación multiescala.

Autores como Chuvieco han sido pioneros en España a la hora de investigar los aspectos relacionados con la Teledetección espacial y su aplicación a la gestión de distintos fenómenos naturales, es el caso de su obra *Cartografía y evaluación de daños causados por incendios forestales mediante técnicas de teledetección* (1994), que junto a Olga Viedma analizan la capacidad de la teledetección para realizar cartografía y evaluar los daños provocados por los incendios forestales. En este sentido, Chuvieco en su obra *Teledetección ambiental: la observación de la Tierra desde el espacio* (2006) presenta los fundamentos de la teledetección, desde la adquisición de las imágenes hasta su corrección e interpretación.

La teledetección, así como el uso de imágenes de satélite proporcionan información muy útil en el contexto de las actuaciones post-incendio, teniendo cada vez más importancia desde el punto de vista de la gestión holística de los incendios forestales (Botella-Martínez *et al.*, 2017).

Por otra parte, la bibliografía referida al análisis y cartografía de la severidad del fuego es muy extensa, en este Trabajo se aplicará un índice espectral de severidad del fuego conocido como *Differenced Normalized Burn Ratio* (Δ NBR), que fue desarrollado por Hunt y Rock en 1989, posteriormente, desde que se realizara una clasificación óptima y útil del índice de estimación de severidad del fuego (Key y Benson, 2006), han sido varios los autores que han desarrollado trabajos relacionados con la severidad del fuego y su cartografía.

La severidad del fuego se entiende como “el cambio ecológico causado por el fuego” (Montorio *et al.*, 2015) o, como es lo mismo, “el nivel de daño o perturbación causado por el fuego en el conjunto del ecosistema o en alguna de sus características” (Key y Benson, 2006 citado en Arellano *et al.*, 2017). Los incendios con una alta severidad producen un gran impacto en el medio ambiente, según lo expuesto por Neary *et al.*, 2005 citado por Botella-Martínez *et al.*, 2017, la virulencia de los incendios está estrechamente relacionada con la severidad de este, por lo tanto, en el ámbito de la gestión de las áreas quemadas, su evaluación y cartografía resulta de gran interés para priorizar la aplicación de métodos que reduzcan los efectos que pueda producir el fuego sobre el medio ambiente (Montorio *et al.*, 2015).

En el ámbito nacional existen numerosos grupos de investigación que en las últimas décadas han basado su investigación en el análisis de los incendios. Realizando aproximaciones metodológicas ha dicho aspecto (Montorio *et al.*, 2014), así como aplicando índices espectrales (Arellano *et al.*, 2017; Botella-Martínez y Fernández- Manso, 2017) para estimar y cartografiar la severidad en los incendios forestales.

Arellano *et al.*, (2017) plantean que para acometer la rehabilitación de áreas quemadas y mejorar la planificación y gestión post-incendio, es esencial evaluar y cartografiar la severidad de este. Ya que, el proceso de combustión supone cambios en la reflectividad superficial de las cubiertas, provocando un descenso de la reflectividad en las regiones del visible y del infrarrojo cercano y un aumento en el infrarrojo medio de onda corta. Estas variaciones del espectro están asociadas a la eliminación de la vegetación, la exposición del suelo, los cambios en el contenido de humedad, así como, la aparición de nuevas cubiertas (Key y Benson, 2006; Montorio *et al.*, 2015, citado en Arellano *et al.*, 2017).

La cartografía de la severidad de un incendio ofrece una visión holística y explicativa de las características de los incendios forestales (Key y Benson, 2006), en este sentido, la clasificación de los distintos grados de severidad con el que un incendio forestal afecta a un determina territorio, ofrece al gestor encargado de la restauración post-incendio una herramienta muy valiosa (Botella-Martínez *et al.*, 2017). La verdadera utilidad recae sobre la toma de decisiones, ya que te permite jerarquizar las áreas en las que actuar con mayor prioridad.

En este contexto, según lo expuesto por Masot *et al.*, (2016) para desarrollar un sistema de gestión de incendios forestales efectivo, se necesita una evaluación completa de las áreas afectadas, desde la cartografía de su perímetro hasta la evaluación del nivel de daño provocado, esta información resulta vital a la hora de distribuir los recursos y priorizar las

actuaciones en las zonas más dañadas, el método más efectivo para obtener esta información es a través de los sistemas de información geográfica y la teledetección.

Por tanto, el funcionamiento de este riesgo natural suscita un gran interés desde el punto de vista de la Ordenación Territorial de las áreas quemadas, sobre todo desde la perspectiva de las medidas de control y prevención, medidas de regeneración vegetal, el estudio de la problemática post-incendio, la mejora de las políticas de gestión forestal y prevención de incendios, etc.

En conclusión, la teledetección espacial desempeña un papel determinante para el análisis y la gestión de zonas quemadas, además de ser una herramienta muy buena para el seguimiento y funcionamiento de estos fenómenos adversos. Por lo tanto, el binomio teledetección-ordenación territorial ofrece a las administraciones una herramienta con la que encarar la problemática post-incendio de una manera efectiva.

3 OBJETIVOS

El objetivo principal de la realización de este Trabajo Fin de Máster es analizar la distribución espacial de la severidad, mediante técnicas de teledetección espacial, en dos GIF ocurridos en la isla de Gran Canaria en 2007 y 2017, para generar (1) productos cartográficos e (2) identificar factores estructurales que explican los patrones espaciales. La consecución del objetivo principal implica la obtención de los siguientes objetivos específicos:

- Generar productos cartográficos de la severidad de los GIF a través de los índices espectrales *Normalized Burn Ratio* (NBR) y *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), con imágenes Landsat-8 OLI/TIRS y Landsat-5 TM, tanto con imágenes previas y posteriores a los incendios.
- Identificar los factores ambientales explicativos de la distribución espacial de los niveles de severidad, mediante análisis estadísticos.
- Proponer medidas de prevención o actuación (métodos de restauración o regeneración de la cobertura vegetal afectada), desde el punto de vista de la gestión forestal.

4 ÁREA DE ESTUDIO

4.1 Aspectos generales

El Archipiélago Canario se localiza en el Océano Atlántico, al norte del continente africano, entre las latitudes, 29° 24' 40" N y 27° 38' 16"; y las longitudes 13° 19' 54" O y 18° 09' 38" (Suárez Molina *et al.*, 2018) al este de las costas de Marruecos y el Sáhara Occidental, presentando una superficie terrestre de unos 7.445 Km².

Esta localización geográfica sumada a la influencia de la corriente fría de Canarias y la corriente de retorno cálida del Golfo permite que Canarias tenga un clima caracterizado por temperaturas suaves y regulares durante todo el año, predominio de la estabilidad atmosférica, escasas precipitaciones, elevada humedad relativa, vientos flojos o moderados con predominio de los alisios y un elevado número de horas de sol (Suárez *et al.*, 2018).

Por su parte, la isla de Gran Canaria está ubicada en el centro del Archipiélago, posee una extensión de 1.560,1 Km², siendo la tercera isla de mayor extensión después de Tenerife (2.034,4 Km²) y Fuerteventura (1.659,7 Km²) y una altitud máxima de 1956 metros sobre el nivel de mar (Morro de la Agujereada).

Desde el punto de vista administrativo, Gran Canaria pertenece a la provincia de Las Palmas, la cual está formada, además de por esta, por las islas de Lanzarote y Fuerteventura y una serie de islotes. Por su parte, Gran Canaria se divide en 21 municipios, siendo Las Palmas de Gran Canaria el municipio más poblado con el 44,8% de la población. En este sentido, Gran Canaria posee una densidad de población muy alta, al contar con el 40% de los habitantes del archipiélago y representando solamente el 21% de la superficie total.



Figura 7: Localización del área de estudio. Fuente: IDECanarias e IDEGranCanaria (Elaboración propia)

Geológicamente Gran Canaria se formó a partir de tres períodos eruptivos, intercalados por una serie de ciclos de erosión, lo que ha generado que la topografía de la isla sea probablemente la más accidentada y compleja del archipiélago. En el primer ciclo eruptivo (14-8,7 Ma) se emite gran cantidad de material basáltico, formando un edificio volcánico en escudo. El segundo ciclo eruptivo (5,5-3,40 Ma) está caracterizado por la evolución de las lavas basálticas hacia basaltos más diferenciados, fonolitas y coladas ignimbríticas, emitiendo una cantidad mucho menor que en el primer ciclo. Y, por último, el tercer ciclo eruptivo (2,8-presente) se caracteriza por presentar una actividad volcánica de tipo estromboliano, con la aparición de conos volcánicos puntuales, sobre todo en la mitad noreste de la isla. (Plan Insular de Ordenación de Gran Canaria, 2003)

Este proceso geológico ha dado lugar a una morfología insular con una estructura en forma de cúpula cuyo punto más elevado se localiza en la zona central. La isla presenta una planta casi circular de unos 45 kilómetros de diámetro, la cual se encuentra profundamente horadada por una red radial de barrancos que comienzan su recorrido en la zona central de cumbres y lo finalizan en el litoral costero, lo que genera importantes desniveles. En consecuencia, la isla presenta una orografía muy abrupta. (Plan Insular de Ordenación de Gran Canaria, 2003)

Por su parte, el litoral insular es bastante irregular, con presencia de grandes acantilados sobre todo en la franja oeste, mientras que la zona este y sur presenta una morfología litoral completamente diferente, con amplias playas y plataformas más moderadas desde el punto de vista fisiográfico. (Plan Insular de Ordenación de Gran Canaria, 2003)

En relación con el clima, Gran Canaria posee dos zonas verdaderamente diferenciadas, la mitad nororiental “Alisiocanaria” caracterizada por la incidencia de vientos cargados de humedad generado por los alisios, registrándose los máximos pluviométricos. Y la mitad suroccidental “Xerocanaria” cuya característica principal es la escasez de recursos hídricos. A su vez, altitudinalmente también se diferencia tres zonas climáticas, la franja litoral (desde el nivel del mar hasta los 300 metros), no superando los 300 mm anuales, la segunda franja climática se corresponde con las medianías (superando los 400 metros en la cara norte y los 600 en la parte sur) aumentando el volumen pluviométrico a medida que aumenta la altitud. Y, por último, la zona de cumbres, a partir de los 800 metros aproximadamente, donde se suelen recoger las precipitaciones más altas. (Plan Insular de Ordenación de Gran Canaria, 2003)

Estas características climáticas influyen en la singularidad de sus ecosistemas, la isla posee un gran número de especies endémicas de flora y fauna. La localización y distribución de la vegetación viene determinada principalmente por el clima, agrupándose en seis pisos bioclimáticos; (1) costero, (2) basal, (3) de transición termófilo, (4) montano subhúmedo, (5) montano seco y (6) áreas volcánicas. Destacando como especies/comunidades representativas el cardonal-tabaibal, la palmera canaria (*Phoenix canariensis*), el pino canario (*Pinus canariensis*), la sabina (*Juniperus turbinata ssp. canariensis*) y la laurisilva.

4.2 Gran Incendio Forestal 2007

En concreto, el área de estudio se centra en los dos últimos GIF ocurridos en Gran Canaria, correspondiéndose con los GIF del año 2007 y 2017.

El primero de los dos casos de estudio afectó a la zona suroeste de la isla, concretamente a los municipios de Tejeda, Mogán, La Aldea de San Nicolás y San Bartolomé de Tirajana, como se puede observar en la Figura 8. El cual se prolongó durante un mes aproximadamente, desde el 27/07/2007 hasta el 25/08/2007.

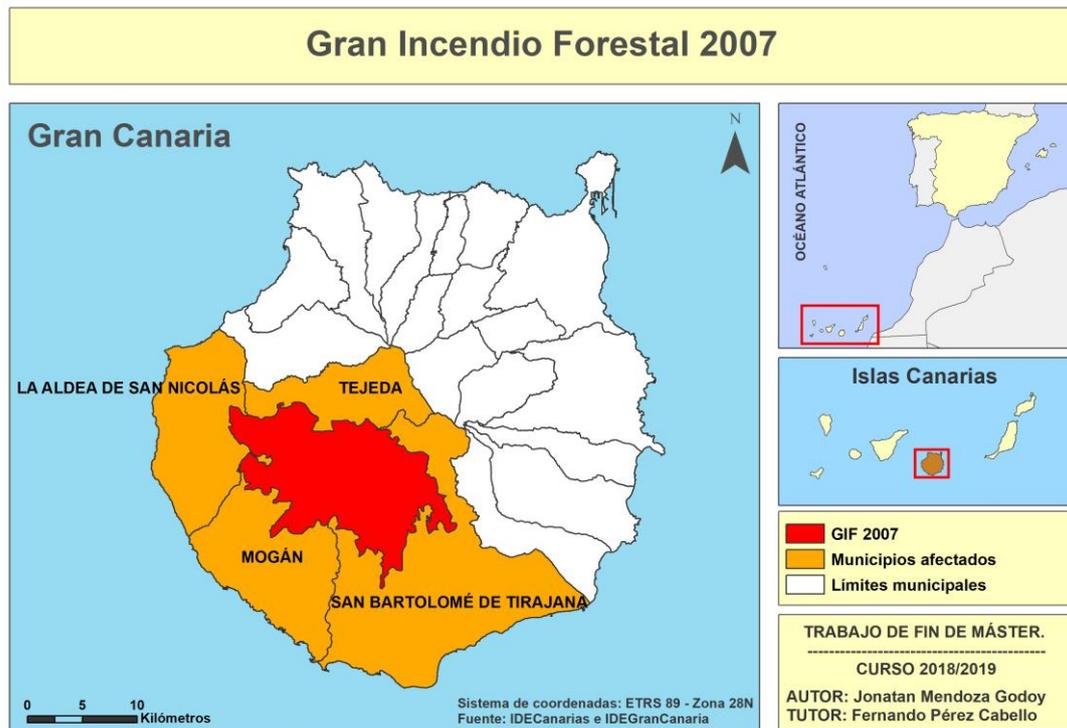


Figura 8: Localización del GIF 2007. Fuente: IDECanarias e IDEGranCanaria (Elaboración propia)

Este GIF se caracterizó por presentar unas condiciones ambientales extremas, cumpliéndose la “regla de los 30”, con temperaturas máximas de 42 a 45°C y mínimas de 30 a 33°C, con una humedad relativa mínima de 4 a 6 % y máxima nocturna de 7 a 9 %, manteniéndose esta situación desde los días previos al inicio del incendio hasta días posteriores al control del mismo (García *et al.*, 2007). Este escenario climático se produjo debido a invasiones de aire cálido sahariano (Dorta, 2001, citado en García *et al.*, 2007).

“A nivel sinóptico existía una situación anticiclónica, entre 1012-1016 hPa sobre Canarias y un centro de bajas presiones de 1008 hPa en el oeste del Sahara. Esta situación generaba un flujo de Nordeste a niveles bajos y de Este moderado a fuerte en medianías y cumbres” (Suárez *et al.*, 2018)

El incendio comenzó en el municipio de Tejeda, en la zona de Pajonales muy próximo al macizo de Inagua, área con una figura de protección¹. Se trata de un macizo con la presencia de fuertes pendientes, un pinar de sur de *Pinus Canariensis*, lo que le añade una fuerte carga de combustible (García *et al.*, 2007).

¹ Concretamente la C-1, Reserva Natural Integral de Inagua.

Por lo tanto, al ser una zona con difícil orografía, con fuertes pendientes y cuencas topográficas, con falta de vías de comunicación, asociado a la elevada humedad relativa, las altas temperaturas, fuertes vientos de dirección sur y la gran cantidad y continuidad de combustible provocó la rápida propagación del fuego.

Por todo esto, el GIF de 2007 ha sido el incendio forestal más grande y devastador de la historia reciente de Gran Canaria. Calcinando casi 20.000 hectáreas, un tercio de la masa forestal de la isla, en su mayoría de pinar canario abierto y matorral, además de afectar a zonas urbanas y agrícolas (García *et al.*, 2007). A su vez, causó graves daños en varios Espacios Naturales Protegidos, entre los que destacan, la Reserva Natural Integral de Inagua, el Monumento Natural de Tauro y el Parque Natural de Pílancones.

4.3 Gran Incendio Forestal 2017

Por su parte, el GIF de 2017 se extiende por las medianías y la zona central de la isla de Gran Canaria, a 1.500 metros sobre el nivel del mar aproximadamente, afectando a los municipios de Valleseco, Valsequillo, Ingenio, Santa Lucía de Tirajana, Agüimes, Tejeda, San Bartolomé de Tirajana y Vega de San Mateo, como se expone en la Figura 9. Prologándose desde el 20/09/2017 hasta el 30/09/2017.



Figura 9: Localización del GIF 2017. Fuente: IDECanarias e IDEGranCanaria (Elaboración propia)

El área afectada por el GIF se localiza en una zona con una difícil orografía, al encuadrarse en la cabecera de varias cuencas hidrográficas, como la del barranco de Guiniguada, el barranco de Guayadeque y el barranco de la Aldea, englobando un área de unos 190 km² aproximadamente (Armas, 2018), afectando a una superficie con un importante valor ecológico.

El incendio comenzó, al igual que en el anterior, en el municipio de Tejeda, calcinando unas 2.000 hectáreas aproximadamente. Aunque de menor duración que el anterior, una combinación de viento norte y sur provocó que se propagara rápidamente, ocasionando la muerte de una persona.

Por su parte, el incendio afectó a vegetación de pinar canario y pino de repoblación (*Pinus canariensis* y *Pinus radiata*), mayormente, así como a matorral bajo compuesto principalmente por retama amarilla (*Teline microphylla*), escobones (*Chamaecytisus proliferus*) y codesos (*Adenocarpus foliolosus*) (Armas, 2018).

Además, causó graves daños en cuatro Espacios Naturales Protegidos², los cuales son, el Monumento Natural de Riscos de Tirajana, el Parque Rural del Nublo, el Paisaje Protegido de Las Cumbres y la Reserva Natural Especial de Los Marteles, todos ellos con una gran importancia desde el punto de vista natural y cultural.

5 MATERIAL Y MÉTODOS

A continuación, se expone un resumen de la estructura metodológica adoptada para llevar a cabo este Trabajo Fin de Máster. La secuencia empleada se representa en la Figura 10.

² Correspondiéndose sucesivamente con los códigos C-20, C-11, C-25 y C-6.

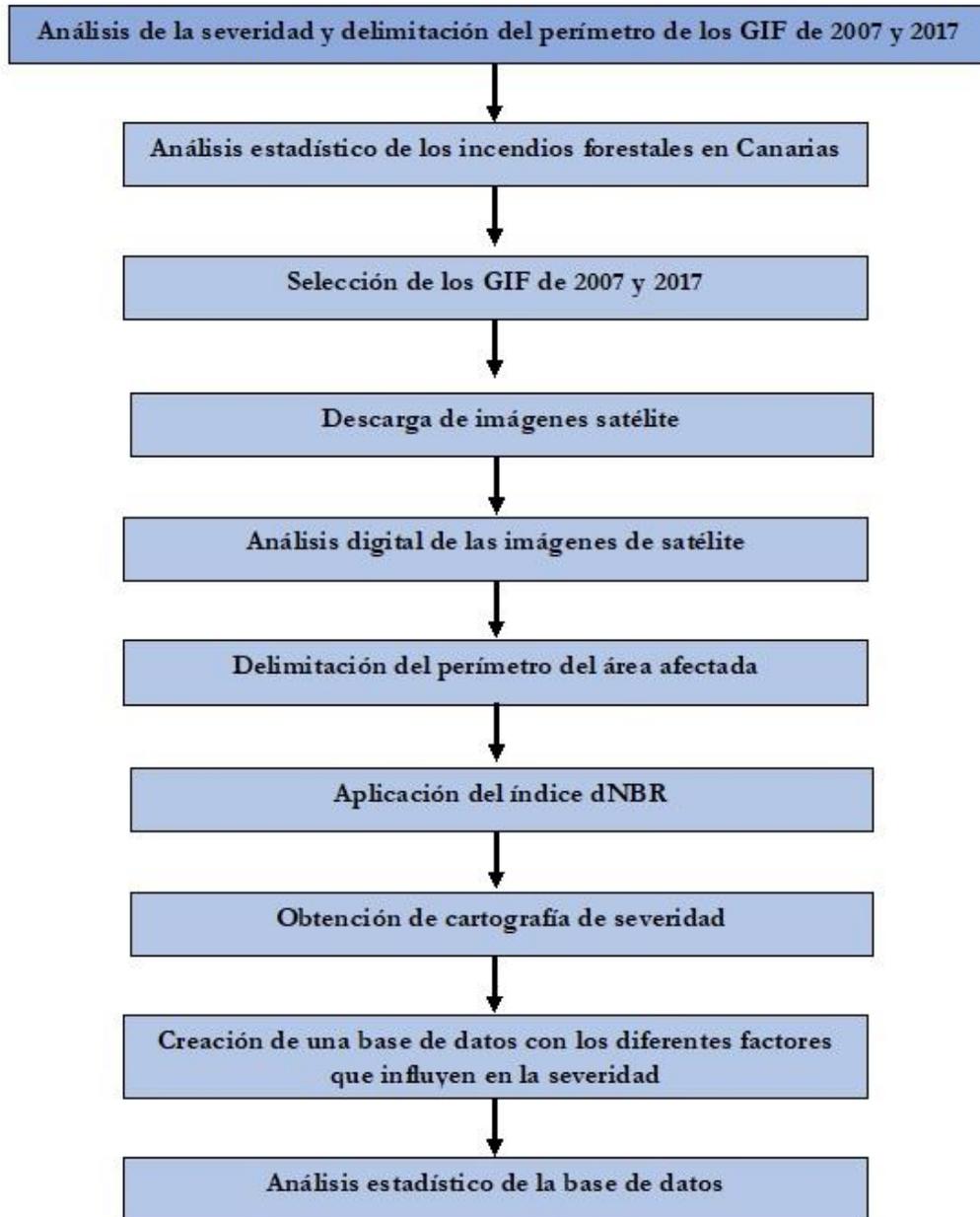


Figura 10: Esquema metodológico. Fuente: elaboración propia

La metodología desarrollada para lograr la consecución de los objetivos propuestos ha consistido, sucintamente, en la delimitación del perímetro afectada por los dos GIF ocurridos en la última década en Gran Canaria, además de realizar un análisis de su severidad, a través de imágenes de satélite. En las páginas siguientes se tratará de explicar el proceso metodológico que se ha llevado a cabo.

5.1 Material

5.1.1 Imágenes de satélite

La obtención de imágenes de satélite se ha realizado a través del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), *que es una agencia de investigación independiente que recopila, estudia, analiza y provee información científica sobre las condiciones, cuestiones y problemas relacionados con los recursos naturales* (<https://www.usgs.gov/>). En concreto, a través de *EarthExplorer* (<https://earthexplorer.usgs.gov>) una interfaz que proporciona acceso a una colección completa de datos de teledetección que incluye fotografías aéreas, imágenes de satélite, datos de elevación, productos de cobertura de suelo y mapas digitalizados.

El análisis digital se ha realizado sobre imágenes de satélite de Landsat-8, provisto de los sensores OLI (*Operational Land Imagen*) y TIRS (*Thermal Infrared Sensor*) con una resolución espacial de 30 metros de píxel (*Collection 1. Level – 2*). Así como de Landsat-5, dotado del sensor TM (*Thematic Mapper*), con una resolución espacial, al igual que el anterior de 30 metros de píxel (*Collection 1. Level – 2*). Estas imágenes de satélite *Level 2* han pasado un proceso de corrección para solventar los efectos atmosféricos, garantizado la consistencia geométrica y radiométrica de la colección.

Las imágenes Landsat se constituyen de nueve bandas espectrales, ofreciendo una resolución espacial, espectral y temporal óptima para el seguimiento de incendios forestales. Estas nueve bandas se describen en la Tabla 3.

Banda	Nombre	Longitud onda (um)	Resolución
1	Aerosol costa	0,43 – 0,45	30
2	Azul	0,45 – 0,51	30
3	Verde	0,53 – 0,59	30
4	Rojo	0,64 – 0,67	30
5	IRC (infrarrojo cercano)	0,85 – 0,88	30
6	SWIR 1 (infrarrojo de onda corta)	1,57 – 1,65	30
7	SWIR 2 (infrarrojo de onda corta)	2,11 – 2,29	30
8	Pancromática	0,50 – 0,68	15
9	Cirrus	1,36 – 1,38	30
10	TIRS 1 (infrarrojo térmico o de onda larga)	10,60 – 11,19	100
11	TIRS 2 (infrarrojo térmico o de onda larga)	11,50 – 12,51	100

Tabla 3: Descripción de bandas del Landsat 8. Fuente: Masot et al. (2016).

Estos productos proporcionan una estimación de la reflectividad espectral, ofreciendo datos corregidos de la reflectividad de la superficie, ya que se mide a nivel del suelo en ausencia de dispersión o absorción atmosférica.

Con el objetivo de evaluar el área afectada y su grado de severidad, se han seleccionado dos imágenes pre-fuego y dos post-fuego para cada uno de los años, resultando un total de cuatro imágenes (Tabla 4). Se escogieron aquellas con menor cubrimiento de nubes y más próximo en el tiempo a la fecha inicial y final de los incendios, para minimizar las variaciones fenológicas y de ángulo solar.

Satélite	Imagen de satélite	Fecha	Path/Row
Landsat-5	Pre-fuego 2007	20/07/2007	206/41
Landsat-5	Post-fuego 2007	22/09/2007	206/41
Landsat-8	Pre-fuego 2017	17/09/2017	206/41
Landsat-8	Post-fuego 2017	03/10/2017	206/41

Tabla 4: Imágenes de satélite usadas en el estudio. Fuente: elaboración propia.

5.1.2 Base de datos para el análisis de los GIF

Se ha elaborado una base de datos espacial para cada GIF a partir de la información disponible de GRAFCAN (Comunidad Autónoma de Canarias), del Cabildo de Gran Canaria y del IGN (Instituto Geográfico Nacional), reuniendo datos de carácter estructural tales como el tipo de vegetación, la pendiente topográfica, la ocupación del suelo y el espesor de suelo entre otros (Tabla 5).

No se consideran otro tipo de variables como la intensidad y los cambios de dirección del viento o la eficacia de los medios de extinción, debido a su carácter coyuntural y a la dificultad para su obtención a nivel espacial.

Variable	Tipo de información
Severidad (Δ NBR) 2007/20017	Cuantitativa continua
Modelo Digital de Precipitaciones	Cuantitativa continua
NDVI _{pre} 2007/2017	Cuantitativa continua
Pendiente (grados)	Cuantitativa continua
Espacios Naturales Protegidos	Cuantitativa discreta
Ocupación del suelo	Cuantitativa discreta
Vegetación	Cuantitativa discreta
Espesor del suelo	Cuantitativa discreta
Materia orgánica	Cuantitativa discreta

Tabla 5: Variables usadas en los análisis estadísticos. Fuente: elaboración propia.

Las variables relativas a los suelos; (1) espesor de suelo y (2) materia orgánica, se obtuvieron de una base de datos perteneciente al Cabildo de Gran Canaria, esta base de datos se generó a partir de un trabajo en el que se analizó el potencial del medio natural de Gran Canaria (Sánchez *et al.*, 1995). En este trabajo se dividió la isla en una serie de Unidades Ambientales Homogéneas, cada una con una serie de características edáficas, posteriormente fue el Cabildo de Gran Canaria el encargado de digitalizar todas esas unidades en soporte vectorial. Cada una de las variables están categorizadas de 0 (muy bajo) a 5 (muy alto)

Por su parte, el Modelo Digital de Precipitaciones y el Modelo Digital del Terreno de Gran Canaria fue facilitado por Luis Hernández Calvento (Profesor Titular de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria). El Modelo Digital de Precipitaciones contiene información relacionada con la pluviometría. Por su parte, el Modelo Digital del Terreno ofrece información relativa a la altitud sobre el nivel del mar de cada uno de los píxeles. A partir de este se generó mediante diferentes herramientas del software *ArGis* la orientación, y la pendiente, todas en soporte ráster.

Los Espacios Naturales Protegidos, la ocupación del suelo y la vegetación se obtuvieron mediante la Infraestructura de Datos Espaciales de Canarias, a través de SITCAN (Sistema de Información Territorial de Canarias), cuyo Portal de Datos Abiertos permitió la obtención de estas capas en soporte vectorial. Todas las variables mencionadas están codificadas a través de un indicador.

Con respecto a los Espacios Naturales Protegidos, el identificador se relaciona con el nombre oficial de cada Espacio Natural, por otro lado, la información que ofrece la ocupación del suelo es de carácter global, separando entre zonas urbanizadas, agrícolas, bosque, vegetación arbustiva y/o herbácea, agua y suelo desnudo. En relación con la

vegetación, la información está codificada en referencia a las comunidades vegetales, como tabaibal dulce, pinar, monteverde húmedo.

Por último, para realizar el *NDVI* y el ΔNBR se tuvo que aplicar dos fórmulas matemáticas, las cuales se expondrán en los próximos apartados, a las cuatro imágenes Landsat expuestas en la Tabla 4. Como resultado se obtiene valores de -1 a 1 en el caso de *NDVI* y valores de -500 a 1.300 en el caso del ΔNBR . Estos valores se categorizaron, para el *NDVI* de nula a muy alta actividad fotosintética (Tabla 9) y para el caso de ΔNBR de áreas no quemadas a alta severidad (Tabla 12).

5.2 Métodos

5.2.1 Delimitación del perímetro afectado

La elaboración de una cartografía histórica de perímetros de incendios y de su severidad, ofrece una visión diacrónica de los incendios que afectan a un determina lugar (Eidenshink *et al.*, 2007 citado por Botella-Martinez *et al.*, 2017). Existen infinitos métodos para realizar la cartografía de áreas quemadas a través de técnicas de teledetección. Aunque uno de los métodos más utilizados consiste en la comparación entre dos imágenes, una pre-incendio y otra post-incendio (Masot *et al.*, 2016).

Las técnicas utilizadas en este Trabajo Fin de Máster, para realizar la delimitación del perímetro afectado de los dos últimos GIF ocurridos en Gran Canaria, han consistido en la aplicación de composiciones de falso color y la utilización de neocanales o bandas artificiales, a partir de operaciones algebraicas sobre las bandas originales. La combinación de ambas técnicas facilitará a la consecución de unos resultados más satisfactorios.

El objetivo de estas técnicas es realzar las diferencias espectrales de las zonas quemadas en detrimento de las demás cubiertas (Masot *et al.*, 2016). La primera de las técnicas, la fotointerpretación multiespectral (composiciones en falso color) se realiza, asignándole un color dentro de las tres bandas de la gama del visible (rojo, verde y azul), a los distintos niveles digitales de las diferentes bandas ofrecidas por los sensores de los satélites. Con esta técnica el área del incendio queda diferenciada en una tonalidad distinta al resto, visualizándose claramente.

En este Trabajo Fin de Máster, se ha utilizado la combinación en falso color 7/5/4, tanto para las imágenes Landsat 5, como para Landsat 8. Por lo tanto, en el cañón del rojo

(r) se ha aplicado el *SWIR 2* (banda 7), en el cañón del verde (v) el *IRC* (banda 5) y, por último, en el cañón del azul (a), el rojo (banda 4) de la gama del espectro visible.

En la Figura 11 se puede observar una comparación de una imagen pre-incendio y de otra post-incendio del año 2017, en las que se percibe las alteraciones provocadas por el paso del fuego sobre ese sector de Gran Canaria. Así como otra en la que el perímetro ya está delimitado. En cada una de las imágenes se ha realizado la misma combinación en falso color 7/5/4.

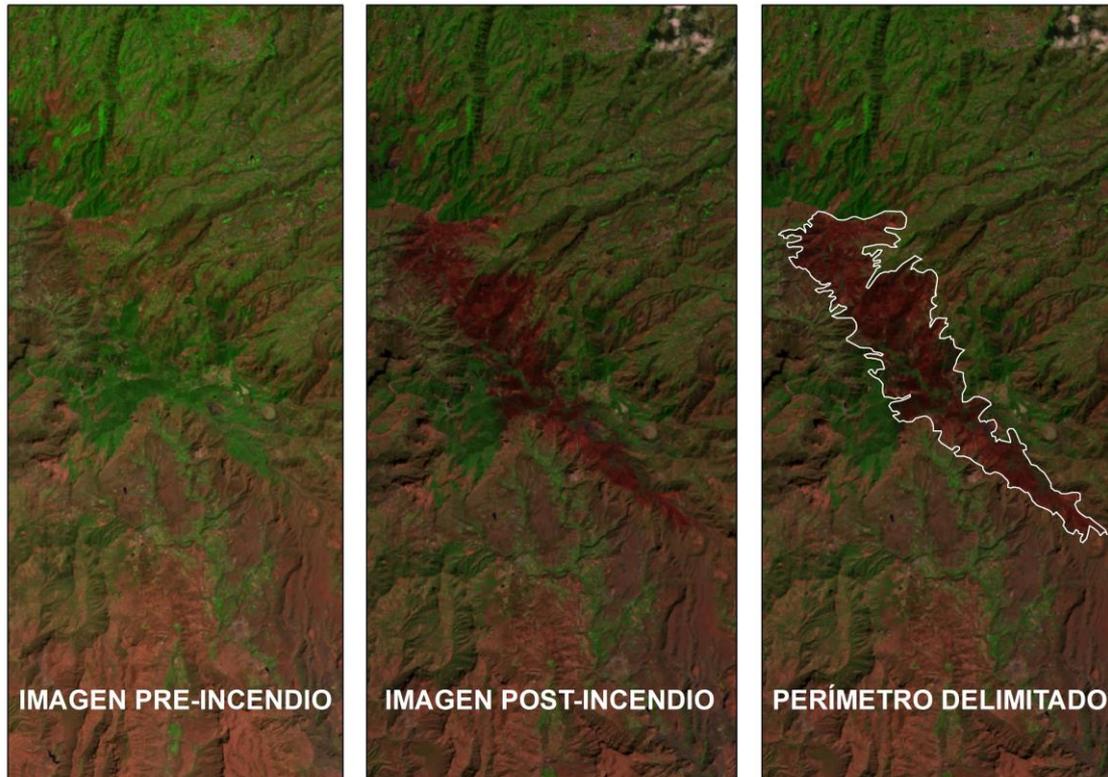


Figura 11: Composición en falso color (7/5/4) del GIF 2017. Fuente: Imágenes Landsat (Elaboración propia)

Se parte de la base de que la vegetación, cuando presenta un estado fenológico óptimo, se visualiza en tonos verdosos. Esto se debe a los altos valores de reflectividad que presenta en el *IRC*, por el contrario, en tonos rojizos/magentas se visualizará las zonas donde la vegetación tenga un cierto nivel de estrés, o las áreas afectadas por el incendio (González, 2016).

El fuego provoca modificaciones en la estructura de las hojas, dañando sus pigmentos, deteriorando la composición celular, así como eliminando el agua almacenada en su interior. Por lo tanto, estos pigmentos que absorbían gran parte de la radiación solar para realizar este proceso, provocando la alteración de la estructura celular, por lo que la reflectividad en

el infrarrojo cercano disminuye y la del *SWIR* aumenta, debido a la pérdida de humedad de la vegetación.

Por último, la segunda de las técnicas empleadas, el tratamiento digital de las imágenes ha consistido en realizar el índice espectral para calcular la severidad del fuego. Una vez realizado este proceso se ha comparado la delimitación del perímetro creado con la primera técnica y se ha terminado de ajustar.

5.2.2 Cálculo de índices espectrales

Los índices espectrales ofrecen la posibilidad de analizar las pautas espaciales de la severidad del fuego, además de poder comparar los diferentes niveles de severidad entre zonas distintas. Pero la verdadera importancia radica en la posibilidad de estimar la severidad en lugares inaccesibles, así como reducir los períodos de trabajo de campo (Arellano *et al.*, 2017). Sin embargo, también presenta una serie de dificultades como la disponibilidad de imágenes de satélite adecuadas, la escasa resolución espacial o la fiabilidad para representar los estratos inferiores de las masas forestales y el suelo (Hudak *et al.*, 2007 citado en Arellano *et al.*, 2017).

Para determinar el grado de afección de los incendios analizados se han aplicado los índices ΔNBR y el *NDVI*, los cuales se exponen a continuación. Estos tienen una gran utilidad a la hora de analizar la severidad del fuego, así como su impacto en la vegetación. Ya que las bandas espectrales utilizadas en ellos responden a ciertas características intrínsecas de los incendios como la eliminación de la vegetación o la pérdida de humedad.

Para calcular estos índices es preciso aplicar una combinación matemática, las cuales se expondrán en los apartados correspondientes, entre niveles digitales almacenados en dos o más bandas espectrales de la misma imagen (Esperanza y Zerda, 2002 citado por Masot *et al.*, 2016).

5.2.2.1 Differenced Normalized Burn Ratio (ΔNBR)

Este cálculo se ha realizado a partir del *Normalized Burn Ratio* (*NBR*), este índice espectral ofrece la posibilidad de identificar las áreas donde se ha producido una mayor pérdida de vegetación. Para ello se combina las dos bandas que mejor responden al fuego, el infrarrojo cercano (*IRC*), ya que la reflectividad en esta banda desciende provocado por la eliminación de la cubierta vegetal, y el infrarrojo medio de onda corta (*SWIR*), que en este caso aumenta

la reflectividad provocado por el descenso de humedad. Estas bandas se corresponden en imágenes Landsat con la 5 y 7.

El índice se aplica a las imágenes pre y post fuego de los dos GIF, para realizar el cálculo del índice de severidad (ΔNBR).

$$\text{NBR pre, post} = (\text{IRC} - \text{SWIR}) / (\text{IRC} + \text{SWIR})$$

$$\Delta NBR = (\text{NBRpre} - \text{NBRpost}) \times 1000$$

Tabla 6: Fórmula aplicada para calcular el índice Δnbr . Fuente: Key y Benson (2006) (Elaboración propia).

Una vez calculados estos índices, se puede generar cartografía de severidad, esta severidad se representa en categorías cualitativas que van desde “áreas no quemadas” hasta “alta severidad”.

Dado que los índices espectrales proporcionan información continua, se necesita establecer umbrales de corte para su transformación en una variable ordinal (Botella-Martínez *et al.*, 2017). En este sentido, los resultados obtenidos del índice espectral ΔNBR han sido clasificados a partir de la propuesta de Key y Benson (2006). Dicha clasificación se divide en siete clases o rangos que va desde áreas no quemadas hasta áreas con una alta severidad.

Nivel de severidad	Clases del ΔNBR
Enhanced regrowth, high	-500 to -251
Enhanced regrowth, low	-250 to -101
Unburned	-100 to +99
Low severity	+100 to +269
Moderate – low severity	+270 to +439
Moderate – high severity	+440 to +659
High severity	+660 to +1300

Tabla 7: Niveles de severidad del índice ΔNBR . Fuente: Key y Benson., (2006) (Elaboración propia)

A su vez estas categorías pueden agruparse en 2 bloques. El primero estaría compuesto por tres clases (*Enhanced regrowth-high*, *Enhanced regrowth-low*, *Unburned*), las cuales se relacionan con áreas que no han sido quemadas. En los dos primeros niveles se registran valores de áreas en donde el estado de la vegetación mejoró post-incendio, o sea, que se registran valores *NBR* más altos post-incendio que pre-incendio. Y, por último, el nivel *Unburned* en cuyo caso,

engloba valores *NBR* de áreas que no han sido quemadas, pero que tampoco han registrado mejoras en el estado de la vegetación.

Por otro lado, el segundo de los bloques estaría compuesto por cuatro clases (*Low severity*, *Moderate – low severity*, *Moderate – high severity*, *High severity*) que englobaría todas las áreas que han sufrido algún cambio en la vegetación, por lo tanto, áreas que sí han sido quemadas. Por consiguiente, este es el grupo que interesa, ya que es donde se registran las áreas quemadas con mayor severidad, objetivo principal de este Trabajo Fin de Máster.

Puntualizar que, en nuestro caso, esta clasificación se ha modificado sensiblemente, aglutinando las dos primeras categorías, en una sola con el nombre de “áreas no quemadas”, manteniendo la misma categorización en el resto. La clasificación utilizada en este Trabajo Fin de Máster se expondrá más adelante en la Tabla 12.

5.2.2.2 *Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)*

Cuando la vegetación alcanza un 70% de recubrimiento, la respuesta espectral del *NDVI* se satura, lo que sirve de gran ayuda para analizar los estadios iniciales de la recuperación vegetal después de los incendios forestales (Díaz-Delgado *et al.*, 1999).

En este contexto, se ha calculado el índice de vegetación de diferencia normalizada (*NDVI*), descrito por Rouse *et al* (1973), para conocer el estado de la vegetación antes y después de cada incendio. El *NDVI* es un índice que extrae información relacionada con la vegetación a partir de valores de reflectividad de dos bandas del espectro electromagnético. Estas bandas se corresponden en imágenes Landsat con la 3 y 4.

Las bandas espectrales utilizadas son el infrarrojo cercano (*IRC*) y el Rojo (*R*), su utilidad radica en que son las que mejor realzan el estado de la vegetación, ya que, la banda del rojo está fuertemente correlacionada con la clorofila, al absorber mucha reflectividad en esta banda del espectro, mientras que la banda del infrarrojo cercano se relaciona con la estructura de la hoja cuando su estado fenológico es óptimo (Rouse *et al.*, 1973).

$$\text{NDVI} = (\text{IRC} - \text{ROJO}) / (\text{IRC} + \text{ROJO})$$

Tabla 8: Fórmula utilizada para calcular el *NDVI*. Fuente: Rouse *et al.*, 1973. (Elaboración propia)

Los valores de este índice espectral oscilan entre -1 y 1, pudiendo ser divididos en intervalos que representen de la mejor manera posible la realidad existente. En este contexto,

los píxeles con valores cercanos a 1 se corresponden con áreas de mayor densidad y actividad de la vegetación, en otras palabras, áreas que presentan un estado óptimo de la cobertura vegetal. Por otro lado, los píxeles con valores próximos a -1 se corresponden con áreas en la que la cobertura vegetal es desfavorable, o áreas que han sufrido algún impacto ambiental, como el paso de un incendio forestal (Montorio *et al.*, 2007).

Como se expone en la Tabla 9, el resultado del *NDVI* se puede agrupar en las siguientes clases según la actividad fotosintética (Duncan *et al.*, 1993 citado por Masot *et al.*, 2016):

Actividad fotosintética	Clases del NDVI
Nula	< 0
Muy baja	0 a 0,1
Baja	0,1 a 0,2
Media	0,2 a 0,3
Media-Alta	0,3 a 0,4
Alta	0,4 a 0,6
Muy alta	> 0,6

Tabla 9: Clases del NDVI. Fuente: Duncan *et al.*, 1993 citado por Masot, *et al.*, 2016. (elaboración propia)

El resumen de los índices espectrales aplicados se desarrolla en la Tabla 10, obtenida de Montorio *et al.* (2015).

ÍNDICE	ECUACIÓN	
<i>Normalized Difference Vegetation Index</i> (Rouse <i>et al.</i> , 1973)	$\text{NDVI} = \frac{(\text{Rirc} - \text{Rr})}{(\text{Rirc} + \text{Rr})}$	donde Rirc y Rr son la reflectividad en las regiones del infrarrojo cercano y rojo.
<i>Normalized Burn Ratio</i> (López y Caselles, 1991)	$\text{NBR} = \frac{(\text{Rirc} - \text{Rswir})}{(\text{Rirc} + \text{Rswir})}$	Donde Rirc y Rswir son la reflectividad en las regiones del infrarrojo cercano e infrarrojo medio de onda corta.
<i>delta Normalized Burn Ratio</i> (Key y Benson, 2006)	$\Delta\text{NBR} = \text{NBR}_{\text{pre}} - \text{NBR}_{\text{post}}$	donde NBRpre y NBRpost son el valor del índice <i>Normalized Burn Ratio</i> en las situaciones pre y post fuego.

Tabla 10: Índices espectrales aplicados en los GIF analizados. Fuente: Montorio *et al.* (2015) (Elaboración propia)

5.2.3 Tratamiento de la base de datos

La siguiente fase metodológica ha consistido en la generación de una base de datos espacial para cada GIF. Para la obtención de la base de datos en primer lugar se rasterizaron todas las variables disponibles en soporte vectorial, aplicándole una malla de 30x30 metros,

coincidiendo con la resolución de las imágenes Landsat. A continuación, se generó un fichero de puntos a partir de las coordenadas X e Y de todos los píxeles que componían dicha malla y se extrajeron los valores de todas las variables consideradas, almacenándolos en dos bases de datos, una para cada incendio analizado.

Una vez generadas las dos bases de datos se realizó un filtrado, ya que la cantidad de datos era muy elevada, además de una cualificación de alguna de las variables de la tabla anterior. Empezando por el filtrado se realizó las siguientes operaciones:

- Se eliminaron los píxeles que presentan un $\Delta NBR < -100$ correspondiéndose con las zonas regeneradas (Tabla 12).
- Se eliminaron los píxeles cuya ocupación de suelo era agua (39, 41).
- Se agrupó en una única categoría (1) las zonas urbanas y antropizadas (1, 3, 9, 11, 12, 45, y 49)
- Se agrupó en una única categoría (2) las zonas de uso agrícola (16, 17, 18 y 19)

Por otro lado, se cualificaron las variables orientación, Espacios Naturales Protegidos, espesor de suelo, materia orgánica, precipitación, ocupación de suelo, pedregosidad, pendiente, salinidad y vegetación, tal y como expresa la Tabla 11.

Variable	Tipo de información	Categoría
Modelo Digital de Precipitación	Cualitativa nominal	0 - 100 (Escasas precipitaciones) 101 - 300 (Baja precipitación) 301 - 500 (Media baja precipitación) 501 - 700 (Media alta precipitación) 701 - 900 (Alta precipitación)
Pendiente (grados)	Cualitativa nominal	0 - 3 (Zona llana) 4 - 6 (Suave) 7 - 11 (Moderada) 12 - 18 (Acentuada) 19 - 27 (Muy Acentuada) Más de 27 (Zonas Escarpadas)
Espacios Naturales Protegidos	Cualitativa nominal	29 (Monumento Natural de Tauro) 27 (Paisaje Protegido Fataga) 26 (Parque Natural de Pílancones) 22 (Monumento Natural Riscos de Tirajana) 20 (Reserva Natural Integral de Inagua) 15 (Parque Rural del Nublo) 11 (Paisaje Protegido de Las Cumbres) 17 (Reserva Natural Especial Los Marteles)
Ocupación del suelo	Cualitativa nominal	1 (Zonas urbanas y antropizadas) 2 (Zonas de uso agrícola) 22 (Agrícola. Cultivos abandonados) 23 (Bosques y Espacios Repoblados. Frondosas) 24 (Bosques y Espacios Repoblados. Bosques Termófilos) 29 (Bosques y Espacios Repoblados. Coníferas. Pino Canario) 33 (Vegetación Arbustiva y/o herbácea. Matorral Costero) 34 (Vegetación Arbustiva y/o herbácea. Matorral degradado) 37 (Vegetación Arbustiva y/o herbácea. Matorral de cumbre) 38 (Vegetación Arbustiva y/o herbácea. Pastizal) 39 (Agua. Aguas Insulares. Balsas) 41 (Agua. Aguas Insulares. Presas) 27 (Bosques y Espacios Repoblados. Frondosas. Castaño) 30 (Bosques y Espacios Repoblados. Coníferas. Pino Insignis)
Vegetación	Cualitativa nominal	9905 (Tabaibal dulce) 9907 (Cardonal) 9908 (Sabinar) 9911 (Palmeral Canario) 9917 (Vegetación de ribera e hidrófitos) 9918 (Pinar) 9922 (Vegetación rupícola) 9926 (Complejo de vegetación de ramblas secas del desierto) 9914 (Monteverde húmedo) 9915 (Monteverde higrófilo)
Espesor del suelo Materia orgánica	Cualitativa ordinal	0 (Muy bajo) 1 (Bajo) 2 (Moderado bajo) 3 (Moderado alto) 4 (Alto) 5 (Muy alto)

Tabla 11: Variables categorizadas. Fuente: Elaboración propia

5.2.4 Análisis estadísticos aplicados

Se le aplicó a la base de datos generada dos análisis estadísticos, por un lado, un análisis ANOVA-Bonferroni en el que se combinaron variables categóricas con variables continuas y, por otro lado, un análisis de regresión lineal, en el cual se combinan dos variables continuas.

Recordemos que unos de los objetivos del trabajo es analizar los patrones espaciales de distribución de la severidad en función de distintas variables geográficas de carácter estructural. De ese modo, en primer lugar, es necesario identificar si existen o no, diferencias significativas entre las categorías de un factor en relación con una variable dependiente, en este caso la severidad y, en segundo lugar, si existen algún grado de asociación entre la severidad y las variables geográficas, cuando ambas se consideradas como variables continuas. Para ellos se han empleado análisis ANOVA y pruebas de Bonferroni y análisis de regresión lineal.

El análisis de la varianza (*ANOVA, Analysis of Variance*) por sus siglas en inglés, es un grupo de técnicas estadísticas mediante las cuales se analiza la variación de una variable (continua) influenciada por factores discretos (Dagnino, 2014). Por lo tanto, para realizar un análisis ANOVA-Bonferroni debe existir una variable continua (Δ NBR sin categorizar o cualquier variable geográfica continua de las anteriormente comentada) y una variable categórica con dos o más niveles (en nuestro caso los datos de severidad Δ NBR expresados en categorías ordinales o cualquier variable geográfica anteriormente comentada clasificadas en categorías). Las categorías establecidas para los niveles de severidad se recogen en la Tabla 12. Hay que destacar que se excluirá la primera categoría (Áreas no quemadas).

Categorías	Valores de severidad
Categoría 0 (Áreas no quemadas)	-500 a -101
Categoría 1 (muy baja severidad)	-100 a +99
Categoría 2 (baja severidad)	+100 a +269
Categoría 3 (Moderada – baja severidad)	+270 a +439
Categoría 4 (Moderada – alta severidad)	+440 a +659
Categoría 5 (Alta severidad)	+660 a +1300

Tabla 12: Clasificación de la severidad. Fuente: Key y Benson, 2006 (elaboración propia)

En segundo lugar, se le aplicó a la base de datos un análisis de regresión lineal, vinculando los datos de severidad obtenidos con las distintas variables geográficas, con el fin de descubrir cuál es la relación de la severidad obtenida y las distintas variables geográficas. Con el objetivo de descubrir cuál es o cuales son las variables geográficas que explican los distintos niveles de severidad.

“El análisis de regresión lineal es una técnica estadística utilizada para estudiar la relación entre variables” (Vila *et al.*, 2004). Por lo tanto, da la posibilidad de estudiar la relación entre una variable dependiente, en este caso la severidad obtenida a partir del Δ NBR y una o más variable independiente, relacionadas con las demás variables geográficas utilizadas.

Estos análisis estadísticos se describirán en las páginas siguientes a través de dos tipos de gráficos, por un lado, un gráfico de sectores en los que se analizará la distribución de las categorías de los diferentes factores y, por otro lado, un gráfico de cajas y bigotes para analizar los valores de severidad en cada una de las categorías de los distintos factores.

En conclusión, el objetivo es tratar de explicar en qué medida la variable dependiente puede estar explicada por las variables independientes. O sea, tratar de explicar si la severidad está relacionada con las distintas variables geográficas comentadas anteriormente.

6 RESULTADOS

6.1 Cartografía de las áreas quemadas

En las siguientes páginas se expondrá los resultados cartográficos de la delimitación de los perímetros de los dos GIF analizados, realizada mediante composiciones de falso color y utilización de neocanales o bandas artificiales.

6.1.1 *Gran incendio forestal 2007*

El GIF de 2007, como se observa en la figura 12, se extendió por la zona sur/suroeste de Gran Canaria, afectando a los municipios de Tejeda, La Aldea de San Nicolás, Mogán y San Bartolomé de Tirajana. El 87,49% de la superficie del incendio está afectada por Espacios Naturales Protegidos, siendo el Parque Rural del Nublo el más perjudicado con 5.244 hectáreas afectadas de las 23.429 del total de su superficie.

Según el Centro de Coordinación Operativa Insular (CECOPIN) la superficie afectada por el GIF de 2007 fue de 19.218 hectáreas, con una diferencia de unas 2.000 hectáreas con respecto a lo calculado en este trabajo que se estima la superficie afectada en unas 17.000 hectáreas, con un perímetro de 110 kilómetros.

La diferencia de hectáreas entre lo calculado por la administración con respecto a lo calculado en este Trabajo se corresponde con; (1) zonas dentro del perímetro afectado que presentan una severidad tan baja que no se consideraría como espacios quemados y (2) utilización de diferentes técnicas de digitalización del perímetro.



Figura 12: *Perímetro afectado por el Gran Incendio Forestal ocurrido en Gran Canaria en 2007. Fuente: IDEGranCanaria e IDECanarias e Imágenes Landsat 5 (Elaboración propia)*

Para la realización de la cartografía del área quemada de este GIF se tuvo que aplicar la combinación de las dos técnicas comentadas anteriormente. La combinación swir7/irc/r es la más eficaz a la hora de cartografiar las áreas afectadas por incendios forestales, sin embargo, tras realizar la fointerpretación multispectral no se obtuvo los resultados esperados, debido a la escasa severidad del incendio en cuestión. Por lo tanto, hubo que aplicarle la segunda de las técnicas, una vez realizado el índice espectral de severidad del fuego (ΔNBR) se distingue claramente la zona en donde se produjo el incendio forestal (Figura 14).

6.1.2 Gran incendio forestal 2017

El GIF de 2017, como se observa en la figura 13, se extendió por la zona central de Gran Canaria, entre los 1.000 y los 1.900 metros de altitud, área donde se concentra buena parte de la masa forestal insular. A pesar de ser un incendio de corta duración, este GIF

afectó a un número superior de municipios si lo comparamos con el GIF de 2017, estos municipios son Tejeda, Vallesco, San Mateo, Valsequillo, Ingenio, Agüimes, Santa Lucía de Tirajana y San Bartolomé de Tirajana. El 97% de la superficie del incendio está afectada por Espacios Naturales Protegidos, siendo el Paisaje Protegido de Las Cumbres el más perjudicado con 1025 hectáreas afectadas de las 4084 del total de su superficie.

Según el Centro de Coordinación Operativa Insular (CECOPIN) la superficie afectada por el GIF de 2017 fue de unas 2.000 hectáreas, coincidiendo con lo calculado en este trabajo, con un perímetro estimado de 53 kilómetros.

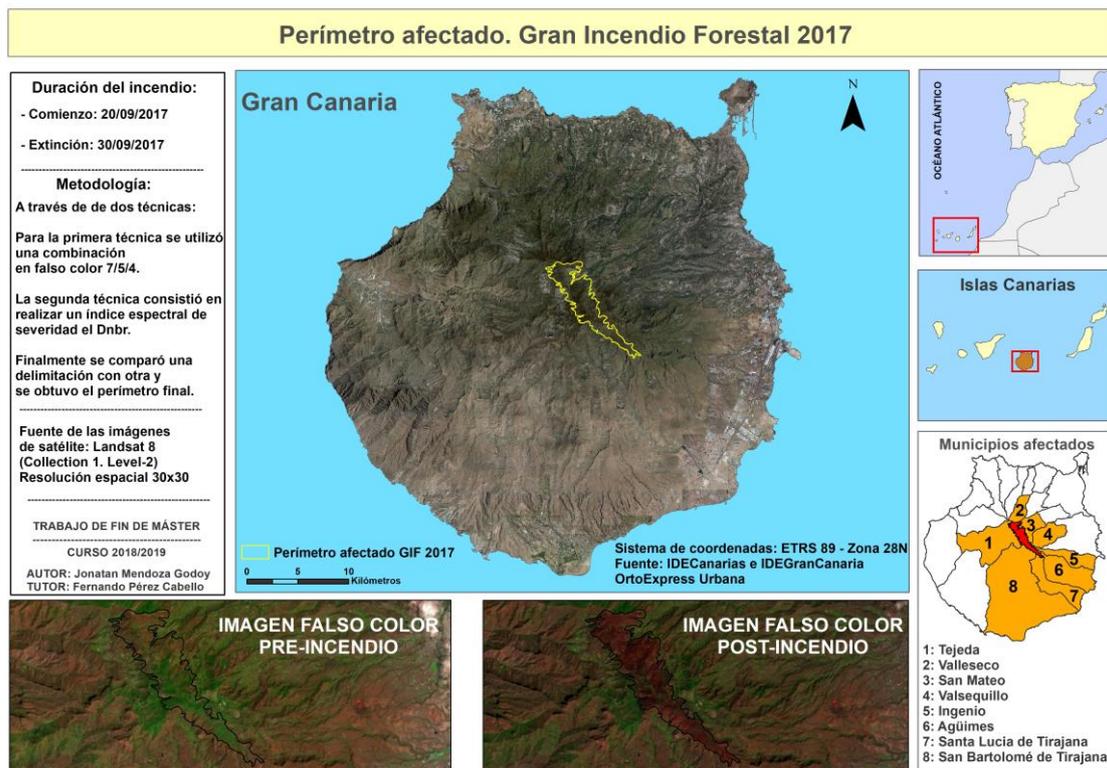


Figura 13: Perímetro afectado por el Gran Incendio Forestal ocurrido en Gran Canaria en 2017. Fuente: IDEGranCanaria e IDECanarias e Imágenes Landsat 8 (Elaboración propia)

En este caso, tras aplicarle la combinación en falso color 7/5/4 a las dos imágenes satélites obtenidas del año 2017, la pre-incendio y la post-incendio se aprecia claramente el área afectada con una tonalidad más rojiza que el resto. Esta diferencia de tonalidad de la imagen post-incendio en relación con la imagen pre-incendio se debe a que, con esta combinación en falso color, cuando la vegetación presenta un cierto nivel de estrés o se ha visto afectada por un incendio los valores de reflectividad que presenta en el *IRC* (verde) disminuyen, mientras que la reflectividad en el *SWTR* (rojo) aumenta provocado por la sequedad de la vegetación.

6.2 Cartografía de la severidad en los incendios forestales analizados

En las siguientes páginas se expondrá la cartografía desarrollada a partir del índice de severidad del fuego *Differenced Normalized Burn Ratio* (Δ NBR). Esta cartografía se ha elaborado para los dos grandes incendios forestales analizados.

6.2.1 *Distribución espacial de la severidad en el Gran incendio forestal 2007*

El gran incendio forestal de 2007 ha sido de los más devastadores de las últimas décadas, afectando a un tercio de la masa forestal de Gran Canaria, sin embargo, como se observa en la Figura 14 fue un incendio con valores de severidad bajos.

La mayor parte del área afectada presenta una severidad muy baja, distribuyéndose estos valores de forma homogénea por toda el área afectada. Los valores de baja severidad también presentan una distribución espacial homogénea, repartiéndose por toda el área afectada, aunque concentrándose al norte del ámbito. Por su parte, los valores moderada-baja severidad se distribuyen de forma casi residual por el ámbito afectado.

Por lo tanto, a pesar de haber sido un incendio catastrófico que se prolongó durante un largo período de tiempo y afectó a un número muy elevado de hectáreas, su severidad fue realmente baja, por lo que la mayoría de las zonas afectadas no necesitaron de un largo período de tiempo para recuperarse.

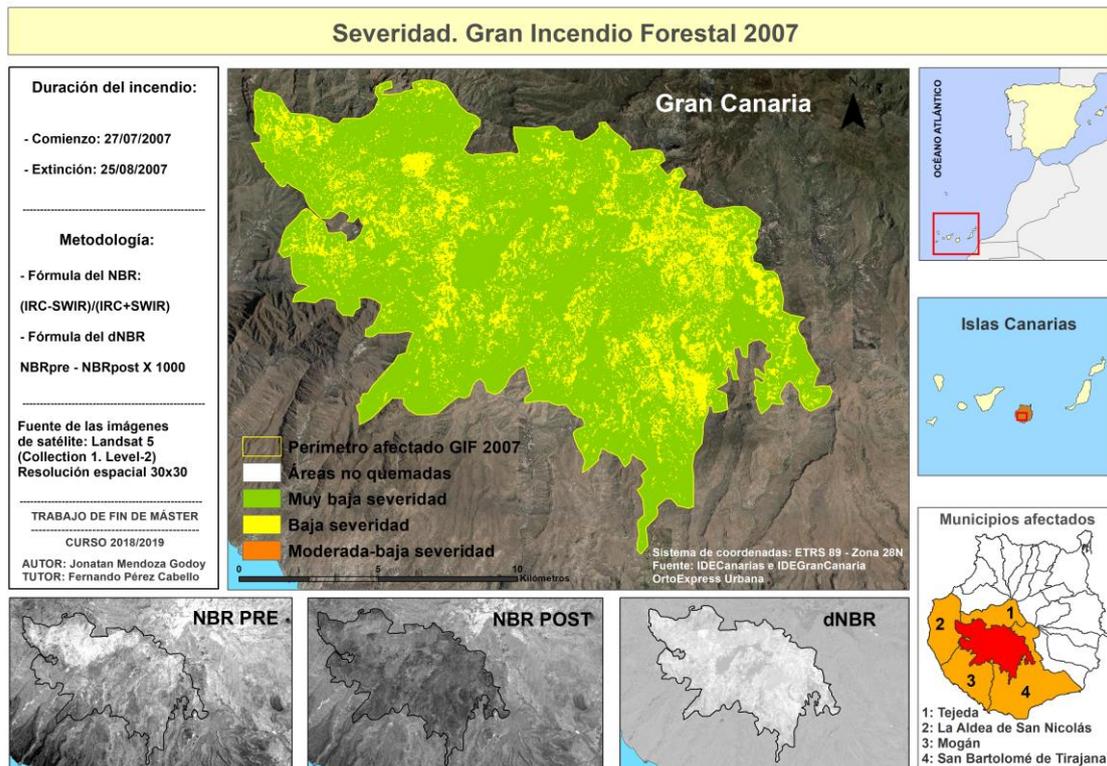


Figura 14: Distribución espacial de la severidad del fuego del Gran Incendio Forestal ocurrido en Gran Canaria en 2007. Fuente IDEGranCanaria e IDECanarias e Imágenes Landsat 5 (Elaboración propia).

Los valores de severidad tan bajos se relacionan evidentemente con un número bajo de combustible. La comunidad vegetal más afectada por este incendio fue sin duda, el pinar canario, en esta zona de Gran Canaria el pinar tiene unas características particulares, ya que, al localizarse en la zona sur de la isla es un pinar abierto y seco, por lo tanto, con una menor concentración de materia orgánica que pueda servir como material inflamable. Igualmente, es el área donde se recogen los valores pluviométricos más bajos, lo que influye en la cantidad de vegetación existente.

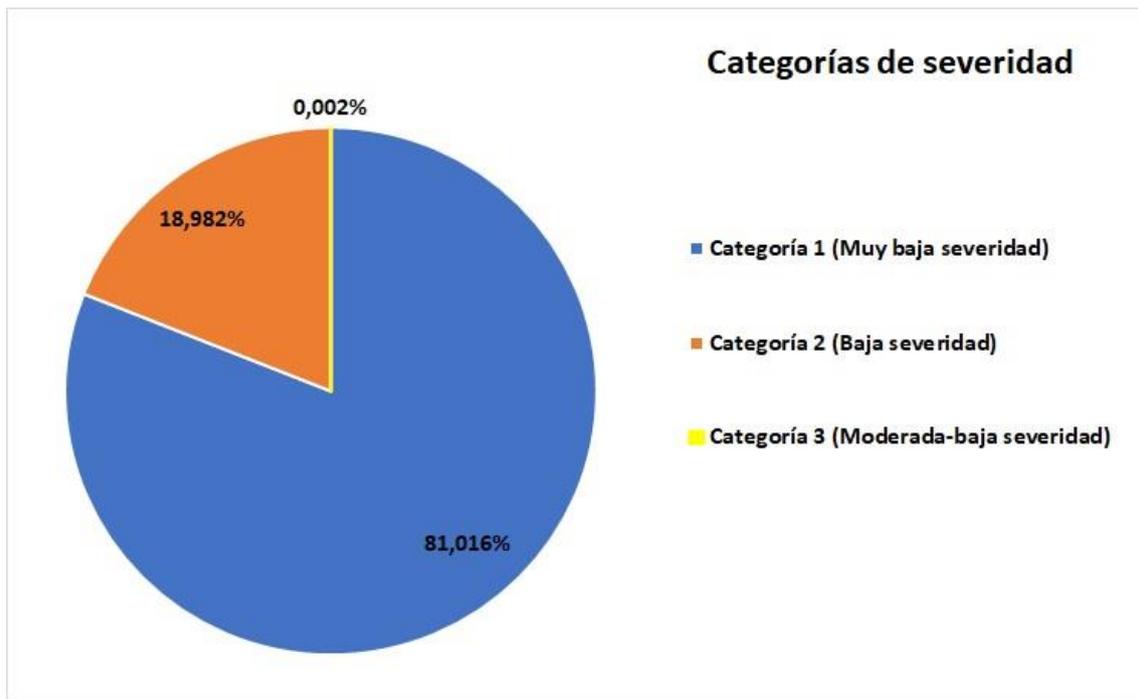


Figura 15: Distribución de las categorías de severidad del Gran Incendio Forestal de 2007. Fuente: Elaboración propia.

La distribución de la severidad, como ya se comentó anteriormente, fue muy homogénea, además de presentar unos valores realmente bajos. Como se observa en el gráfico, el 81% de la superficie total fue quemada con una severidad muy baja y el 19,98 con una severidad baja, quedando un 0,002% que se quemó con una severidad moderada-baja. Este gráfico aclara la escasa severidad del fuego en el GIF de 2007.

Por último, como se comentó anteriormente en el apartado [perímetro afectado – Gran incendio forestal 2007](#), para realizar la delimitación del perímetro afectado de este incendio hubo que aplicar la combinación de las dos técnicas empleadas, la combinación en falso color 7/5/4 y el índice espectral de severidad del fuego ΔNBR , como se observa en la figura 14, una vez aplicado el NBR a la imagen de satélite post-incendio ya se intuye claramente el área afectada por el incendio, al resaltarse con una tonalidad más oscura en comparación con el área circundante, así como al aplicarle el ΔNBR , que como se observa, el área del incendio destaca con una tonalidad más clara que el área adyacente.

6.2.2 Distribución espacial de la severidad en el Gran incendio forestal 2017

El gran incendio forestal de 2017 afectó a un número mucho menor de hectáreas que el gran incendio forestal de 2007, sin embargo, como se observa en la Figura 16, aunque los valores de severidad no son excesivamente altos, presentó una severidad mayor. Las distintas

categorías de severidad están repartidas homogéneamente por toda el área del incendio, afectando a un número de hectáreas similar e intercalándose con áreas no quemadas.

Al contrario que en el GIF de 2007, en este incendio hubo áreas que no fueron afectadas por el fuego, representadas con un color blanco en la Figura 16, no obstante, las zonas quemadas se quemaron con una severidad mayor. La mayor parte del área afectada tuvo una severidad moderada-alta y moderada-baja, no estando representada la primera de las dos categorías en el GIF de 2007, por su parte, el resto tuvo una severidad baja, siendo la categoría severidad muy baja casi inexistente. Los valores más altos se concentran en la zona noreste del incendio, mientras que las áreas no quemadas, se localizan mayormente en la zona central del mismo.

Por lo tanto, a pesar de haber sido un incendio que se prolongó durante un menor período de tiempo y afectó a un número mucho menor de hectáreas que el anterior, su severidad fue mayor, por consiguiente, la mayor parte de las zonas afectadas necesitarán de más tiempo para recuperarse.

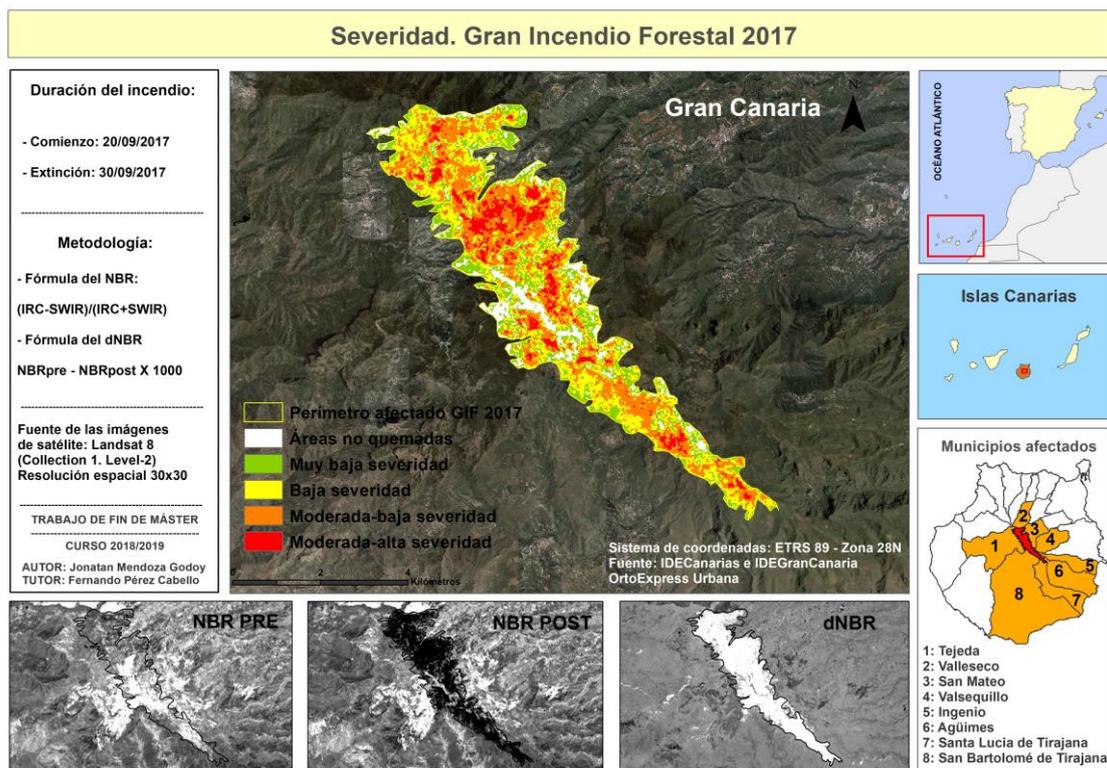


Figura 16: Distribución espacial de la severidad del fuego del Gran Incendio Forestal ocurrido en Gran Canaria en 2017. Fuente: IDEGranCanaria e IDECanarias e Imágenes Landsat 8 (Elaboración propia).

Aunque los valores de severidad no son excesivamente altos, sí son más altos que los del GIF de 2007, esto está relacionado con la mayor presencia de combustible de la zona. La comunidad vegetal más afectada fue el pinar, en este caso, pinar de norte, cuya característica principal es de ser una comunidad vegetal muy cerrada, lo que genera una mayor cantidad de combustible. Además, se localiza prácticamente en el centro de la isla, área donde se localizan los valores pluviométricos más elevados, lo que conlleva a una mayor cantidad de materia orgánica que pueda servir como material inflamable.

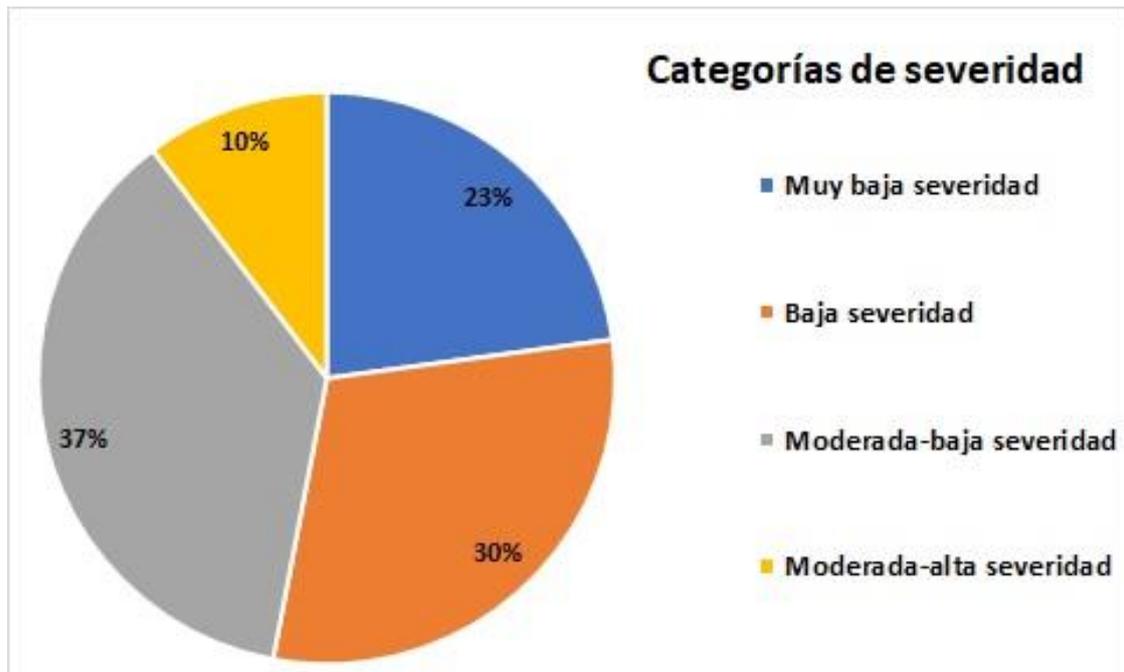


Figura 17: Distribución de las categorías de severidad del Gran Incendio Forestal de 2017. Fuente: Elaboración propia.

La distribución de la severidad, como ya se comentó anteriormente, fue muy homogénea, ya que ninguna categoría destaca por encima de otra. Como se observa en el gráfico, la mayor parte del área de incendio tuvo una severidad Moderada-baja, por su parte, la categoría moderada-alta afectó al 10% de la superficie, por lo que el 47% de la superficie presento unos valores de severidad moderados. Por otra parte, las categorías baja y muy baja severidad representan el 53%, por lo tanto, más de la mitad de la superficie afectada se quemó con una severidad baja.

6.3 Análisis de factores ambientales en relación con la severidad

En las siguientes secciones se muestran, para cada uno de los GIF considerados, los resultados del análisis espacial de los factores ambientales que explican la distribución de los niveles de severidad.

6.3.1 Gran incendio forestal 2007

Como se ha expuesto en el apartado anterior, la severidad del Gran Incendio Forestal de 2007 fue bastante homogénea, en este sentido, al no haber una gran variabilidad se presupone que identificar patrones que expliquen el comportamiento de los niveles de severidad será más complejo.

6.3.1.1 Pendiente Topográfica

A partir de la Figura 18 podemos apreciar el patrón espacial de la distribución de las pendientes; las zonas escarpadas y de pendiente muy acentuada se encuentra ampliamente distribuida por toda el área de estudio, aunque aparecen más concentradas en el sector N del GIF, coincidiendo con la cabecera de un conjunto de barrancos, como el de Tauro que surcan el ámbito de estudio. Por su parte, las zonas llanas se concentran en el sector central del GIF, correspondiéndose con fondos de barranco.

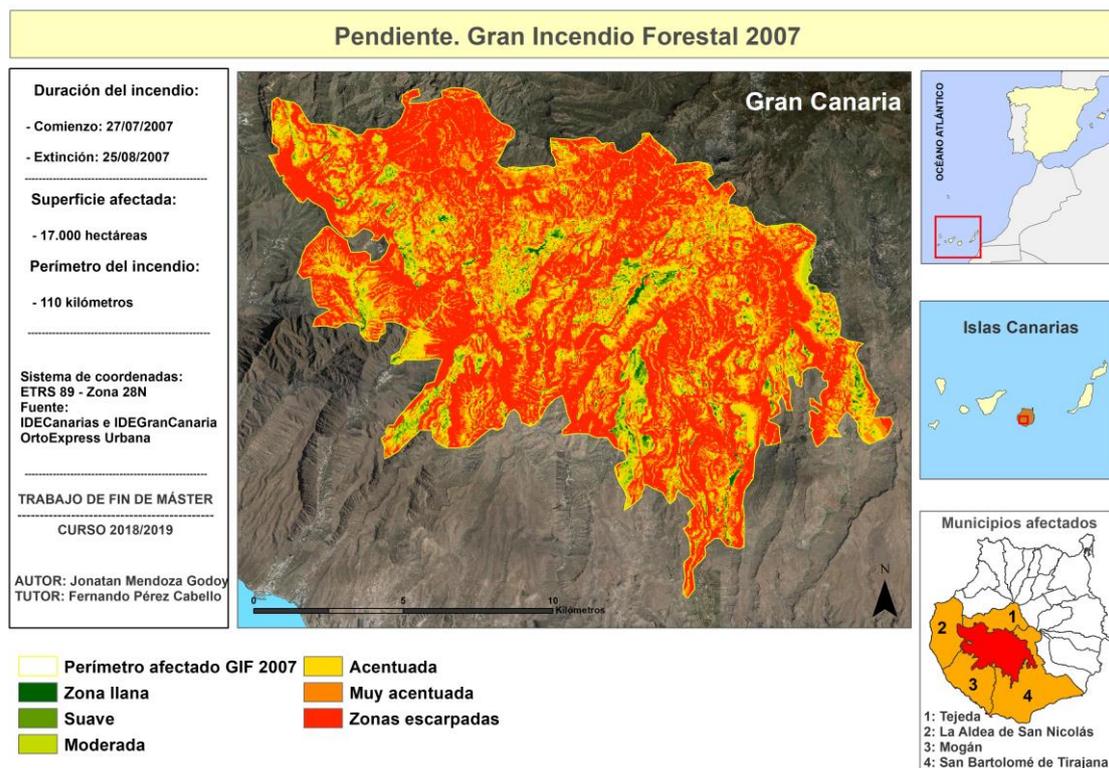


Figura 18: Distribución espacial de la pendiente topográfica en el área afectada por el Gran Incendio Forestal ocurrido en Gran Canaria en 2007. Fuente: IDEGranCanaria e IDECanarias (Elaboración propia).

Como se observa en la Figura 19 casi la mitad del área afectada por el GIF de 2007 se corresponde con zonas escarpadas, o sea, áreas con más de 27° de pendiente. Por su parte, un 27% del total presenta una pendiente muy acentuada, con pendientes comprendidas entre

19 y 27°. Por lo tanto, el 72% del área afectada presenta unos valores de fuerte pendiente. Las áreas con un pendiente menor de 3° (zona llana) solamente representan el 1% del total. Estos datos nos advierten de la complejidad topográfica de la zona afectada por el incendio y los problemas de accesibilidad a los que tuvieron que hacer frente los medios de extinción terrestre.

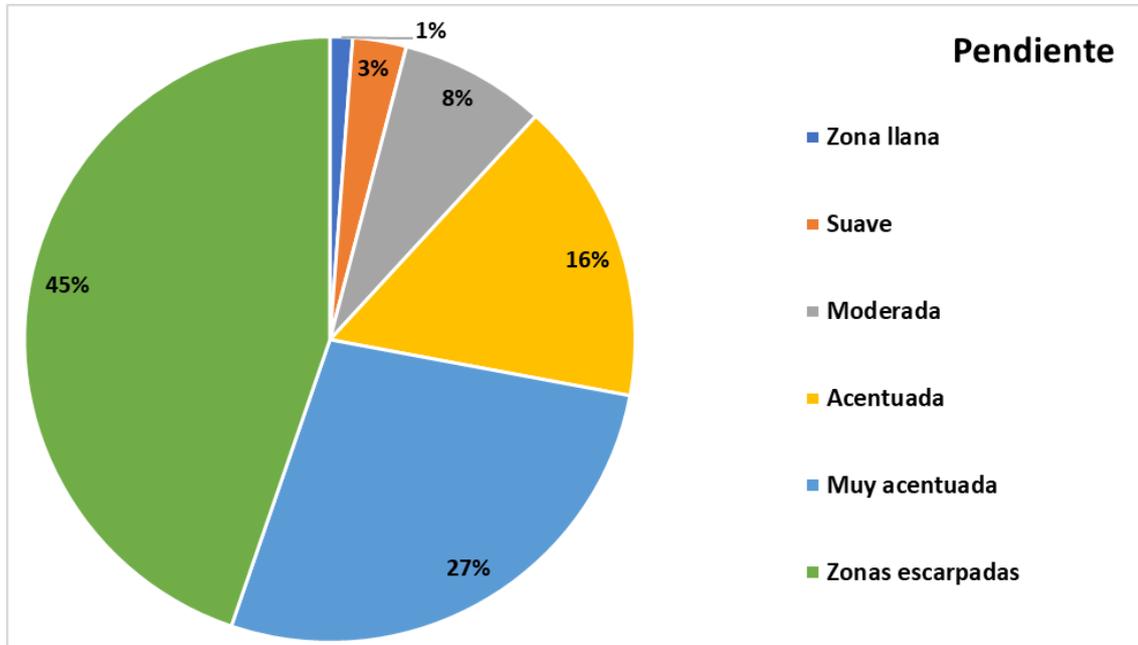


Figura 19: Distribución de la pendiente topográfica en el Gran Incendio Forestal de 2007. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 20 representa la distribución de los indicadores de centralidad y dispersión correspondientes a los valores de severidad (Δ NBR) por categorías de pendiente. Como se puede apreciar, la severidad es muy homogénea en las distintas categorías. La media en todas las categorías se sitúa entre 50 y 100, correspondiéndose con niveles de muy baja y baja severidad. Además, los parámetros de dispersión también son muy similares entre categorías; los rangos inter-cuartil son muy parecidos entre sí, siendo las zonas escarpadas donde encontramos los valores máximos de severidad.

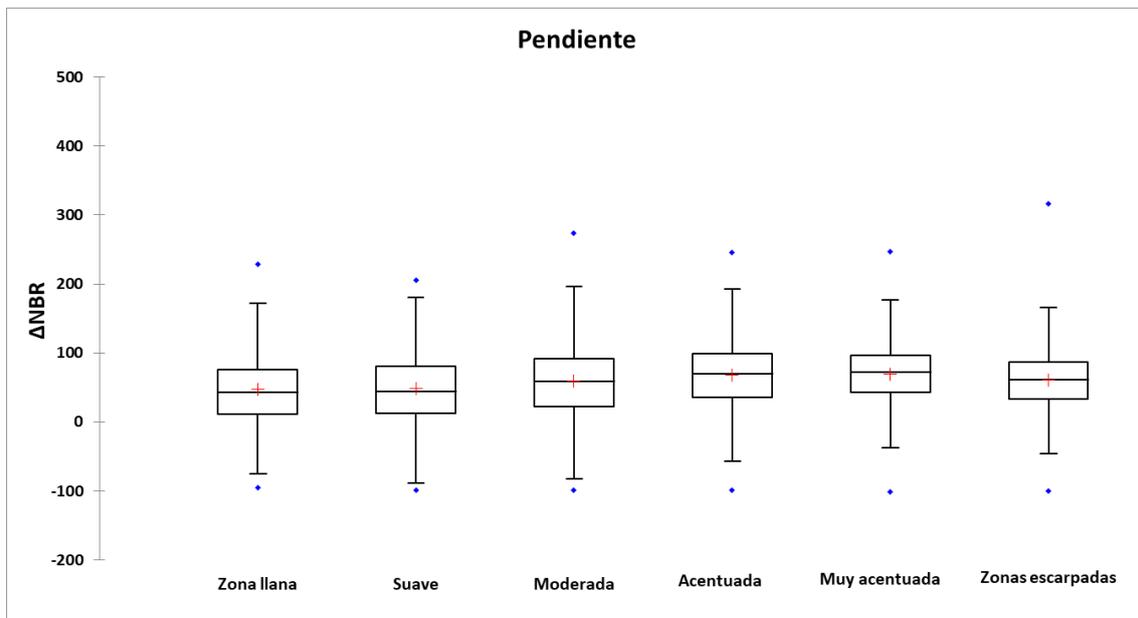


Figura 20: Distribución de los valores severidad (ΔNBR) en relación con el factor pendiente topográfica en el Gran Incendio Forestal de 2007. Fuente: Elaboración propia.

Sin embargo, a partir del análisis ANOVA y las pruebas *post-hoc* para realizar comparaciones múltiples por pares, se han encontrado diferencias estadísticamente significativas entre la mayoría de los pares ($p\text{-value} < 0.05$). En la Tabla 13 se representa un resumen del análisis de las diferencias por pares. En las columnas, cada una de las Letras en mayúscula, identifica una agrupación de los tipos de pendiente; en las filas se reconoce el carácter de las diferencias entre las agrupaciones, del tal modo que cuando Letras diferentes no comparten la misma Fila, son estadísticamente significativas. A tenor de los resultados recogidos en la Tabla 13, se establecen cuatro grupos diferenciados en relación con el grado de severidad registrados. Destacan las zonas con pendiente muy acentuada, que es donde se han obtenido los valores más altos de severidad, y las zonas llanas que es donde se localizan los registros más bajos de severidad. Por su parte, las zonas escarpadas y moderadas, al ser identificadas con la misma Letra, presentan un comportamiento similar entre sí. Este mismo extremo también se observa entre las categorías zonas llanas y suaves.

Por tanto, se puede concluir que, a pesar de la baja variabilidad registrada en todo el perímetro del GIF-2007, esta variable topográfica ejerció un papel destacado en la distribución espacial de la severidad. En este sentido, los resultados abundan en la importancia que esta variable topo-morfológica presenta en los modelos de propagación del fuego (Blanco, *et al.*, 2008; Almagro, 2009) y en la importancia de su consideración a la hora de predecir la distribución de los niveles de severidad en incendios futuros.

Categoría	Media estimada	Error estándar	Grupos			
Muy acentuada	69,568	0,185	A			
Acentuada	67,685	0,240		B		
Zonas escarpadas	60,149	0,144			C	
Moderada	59,576	0,346			C	
Suave	48,982	0,571				D
Zona llana	47,515	0,884				D

Tabla 13: Resumen del análisis de las diferencias por pares correspondientes al factor pendiente topográfica con intervalos de confianza (95%) (GIF 2007). Fuente: Elaboración propia

6.3.1.2 Comunidades vegetales

En relación con lo expuesto en la Figura 21 podemos apreciar el patrón espacial de la distribución de las diferentes comunidades vegetales; el Pinar se extiende prácticamente por toda el área de estudio, aunque dominando todo el sector norte, coincidiendo con las áreas de mayor altitud, y centro del ámbito. A partir de esto, y conforme desciende la altitud, empiezan a dominar comunidades vegetales del piso termófilo, como el cardonal que siempre viene asociado con el tabaibal, en este caso, el tabaibal dulce. Estas comunidades termófilas dominan todo el sector sur, encontrándose el resto de las comunidades vegetales termófilas del ámbito; Sabinar y Palmeral Canario.

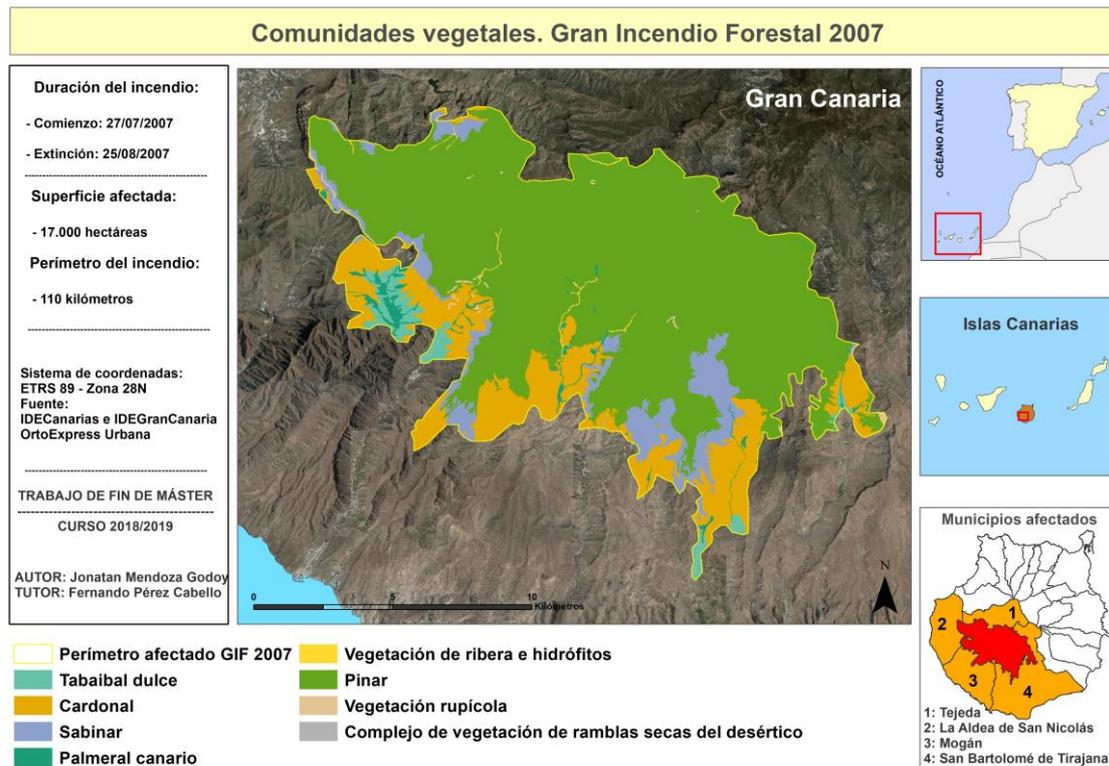


Figura 21: Distribución espacial de las Comunidades Vegetales presentes en el área afectada por el Gran Incendio Forestal ocurrido en Gran Canaria en 2007. Fuente: IDEGranCanaria e IDECanarias (Elaboración propia).

Como se observa en la Figura 22 la mayor parte del área afectada por el GIF de 2007 se corresponde con zonas en las que predomina el Pinar, y como se comentó anteriormente, pinar de sur. Por su parte, un 17,20% del total está compuesto por Cardonal, representando estas dos comunidades vegetales el 87,33% del total del área. Las demás comunidades vegetales representadas son casi residuales, siendo el Sabinar la que más destaca con un 8,16% del total. Estos datos nos advierten del tipo de vegetación de la zona afectada por el incendio, cuya especie mayoritaria es el Pino canario (*Pinus canariensis*).



Figura 22: Distribución de las Comunidades Vegetales en el Gran Incendio Forestal de 2007. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 23 representa la distribución de los indicadores de centralidad y dispersión correspondientes a los valores de severidad (ΔNBR) por categorías de comunidades vegetales. Como se puede apreciar, la severidad es muy homogénea en las distintas categorías. La media en todas las categorías se sitúa entre 50 y 100, correspondiéndose con niveles de muy baja y baja severidad. Además, los parámetros de dispersión también son muy similares entre categorías; los rangos inter-cuartil son muy parecidos entre sí, siendo las zonas de Pinar donde encontramos los valores máximos y mínimos de severidad.

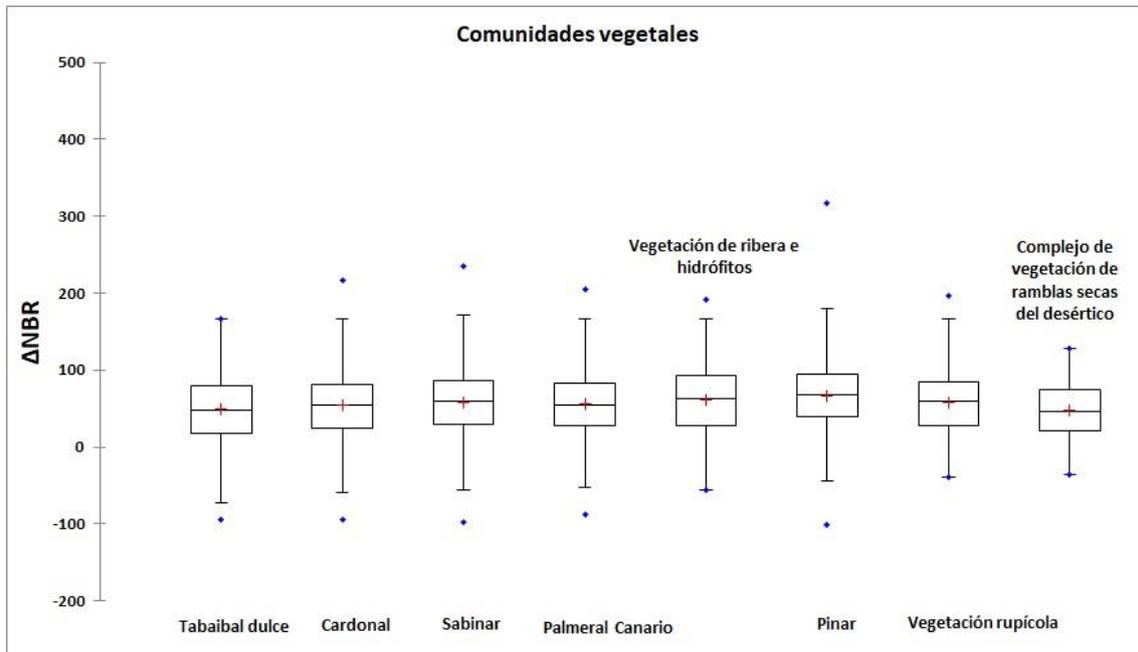


Figura 23: Distribución de los valores de severidad (ΔNBR) en relación con el factor Comunidades Vegetales en el Gran Incendio Forestal de 2007. Fuente: Elaboración propia.

A partir del análisis ANOVA y las pruebas *post-hoc*, se han encontrado diferencias estadísticamente significativas en la mitad de los pares ($p\text{-value} < 0.05$). En la tabla 14 se representa un resumen del análisis de las diferencias por pares, se establecen cuatro grupos diferenciados, los cuales presentan un comportamiento de la severidad similar. Siendo el Pinar el que presentó los mayores niveles de severidad y el complejo de vegetación de ramblas secas del desértico el que menos. Por su parte, tanto la vegetación de ribera e hidrófitos, como la vegetación rupícola y el Palmeral Canario no se identifica con ninguno de los dos grupos.

Por tanto, a pesar de la importancia que esta variable biofísica presenta en los modelos de propagación del fuego (Blanco, *et al.*, 2008; Almagro, 2009), en este caso en concreto esta variable biofísica no ejerció un papel muy destacado en la distribución espacial de la severidad, sin embargo, no hay que obviar la importancia de su consideración a la hora de predecir la distribución de los niveles de severidad en incendios futuros.

Categoría	Media estimada	Error estándar	Grupos			
Pinar	66,922	0,115	A			
Vegetación de ribera e hidrófitos	61,123	1,892	A	B		
Sabinar	58,138	0,337		B		
Vegetación rupícola	57,705	1,688		B	C	
Palmeral Canario	56,541	0,793		B	C	
Cardonal	54,481	0,232			C	
Tabaibal dulce	49,025	0,622				D
Complejo de vegetación de ramblas secas del desértico	47,071	3,738				D

Tabla 14: Resumen del análisis de las diferencias por pares correspondientes al factor comunidades vegetales con intervalos de confianza (95%) (GIF 2007). Fuente: Elaboración propia

6.3.1.3 Ocupación del suelo

A partir de la Figura 24 podemos apreciar el patrón espacial de la distribución de la ocupación del suelo; el Matorral de cumbre se extiende por la zona norte del ámbito, coincidiendo con las áreas de mayor altitud, por su parte el Pino Canario abarca un sector más amplio siendo más abundante en los extremos del ámbito. El matorral costero, abarca prácticamente toda el área, extendiéndose desde las zonas con menor altitud hasta prácticamente las cotas más altas, siendo la categoría con más presencia espacial. Por su parte, las zonas de uso agrícola están presentes mayoritariamente en el sector nororiental del ámbito, además de distribuirse como pequeñas “islas”, asociadas en su mayoría a espacios antropizados, por toda el área afectada.

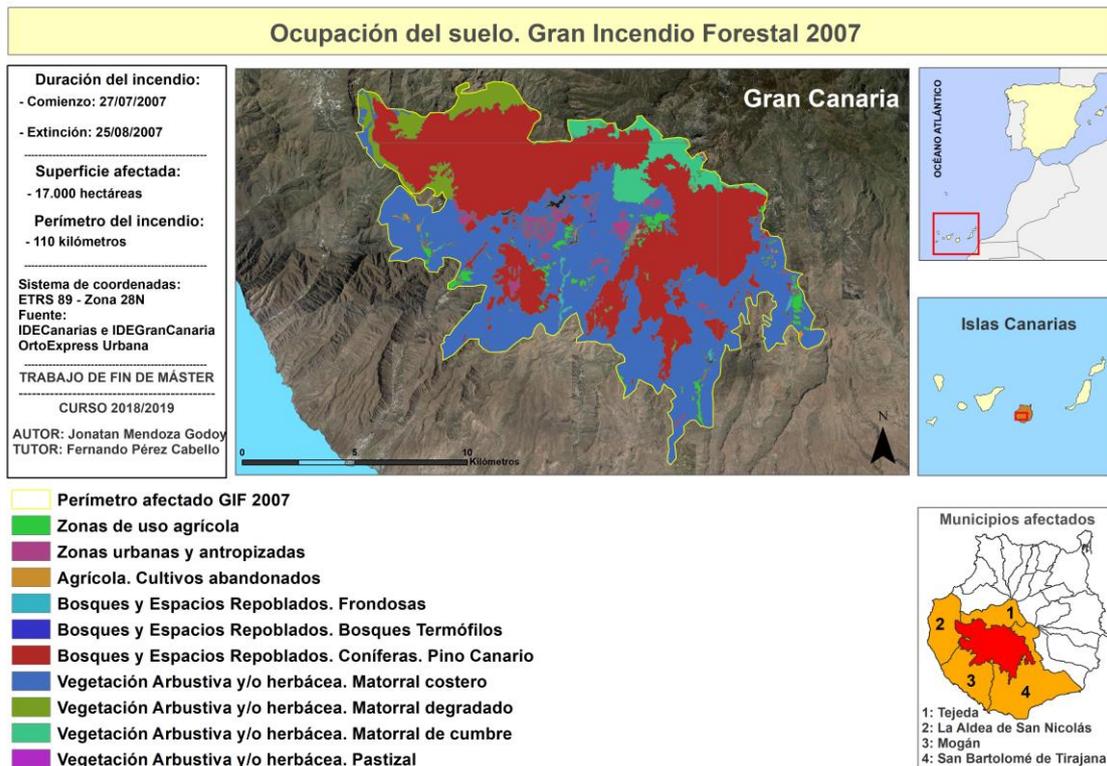


Figura 24: Distribución espacial de la ocupación del suelo presente en el área afectada por el Gran Incendio Forestal ocurrido en Gran Canaria en 2007. Fuente: IDEGranCanaria e IDECanarias (Elaboración propia).

Como se observa en la Figura 25, casi la totalidad del área afectada por el GIF de 2007 (85,51%) se corresponde con vegetación arbustiva y/o herbácea. Matorral Costero y con bosques y espacios repoblados de Pino Canario (*Pinus canariensis*). Destacar que las zonas urbanas y antropizadas solamente representan el 2,38% del total de la superficie y las zonas de uso agrícola el 2,06%, por lo que, desde el punto de vista de los riesgos, el GIF de 2007 no tuvo una afección alta a los asentamientos humanos. Las demás categorías de ocupación del suelo (10% restante) ocupan muy poca superficie en relación con el total del área.

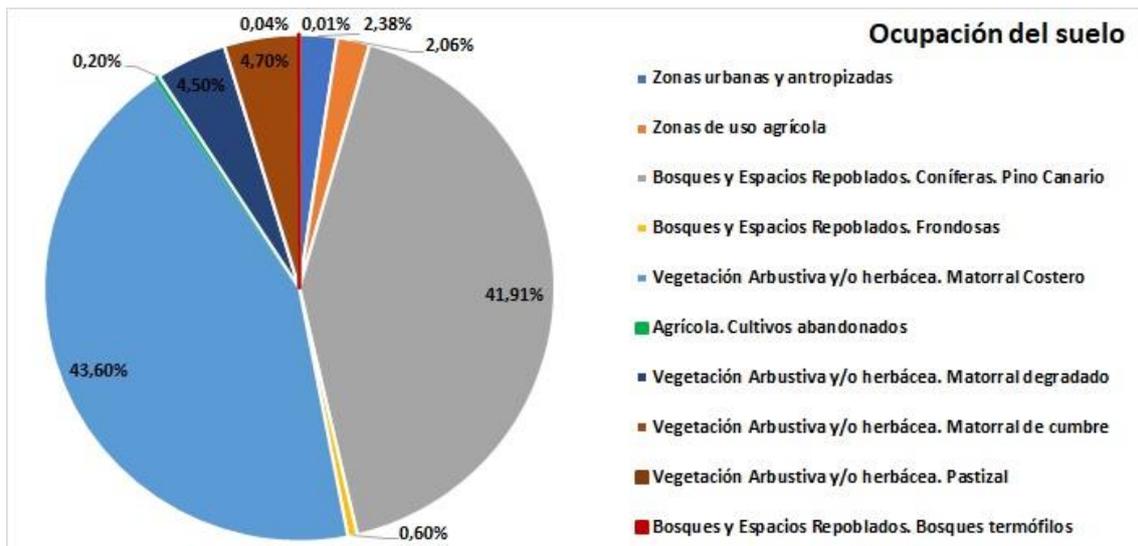


Figura 25: Distribución de la ocupación del suelo en el Gran Incendio Forestal de 2007. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar en la figura 26, hay bastante variabilidad de la severidad en las distintas categorías de ocupación del suelo. Siendo la vegetación arbustiva y/o herbácea. Pastizal y las zonas urbanas y antropizadas las que menos variabilidad presentan. La media en todas las categorías se sitúa entre 0 y 100, correspondiéndose con niveles de muy baja y baja severidad. Los parámetros de dispersión también presentan una variabilidad entre categorías; destacándose variaciones importantes en los rangos inter-cuartil, siendo la vegetación arbustiva y/o herbácea. Matorral degradado donde encontramos los valores máximos y mínimos de severidad.

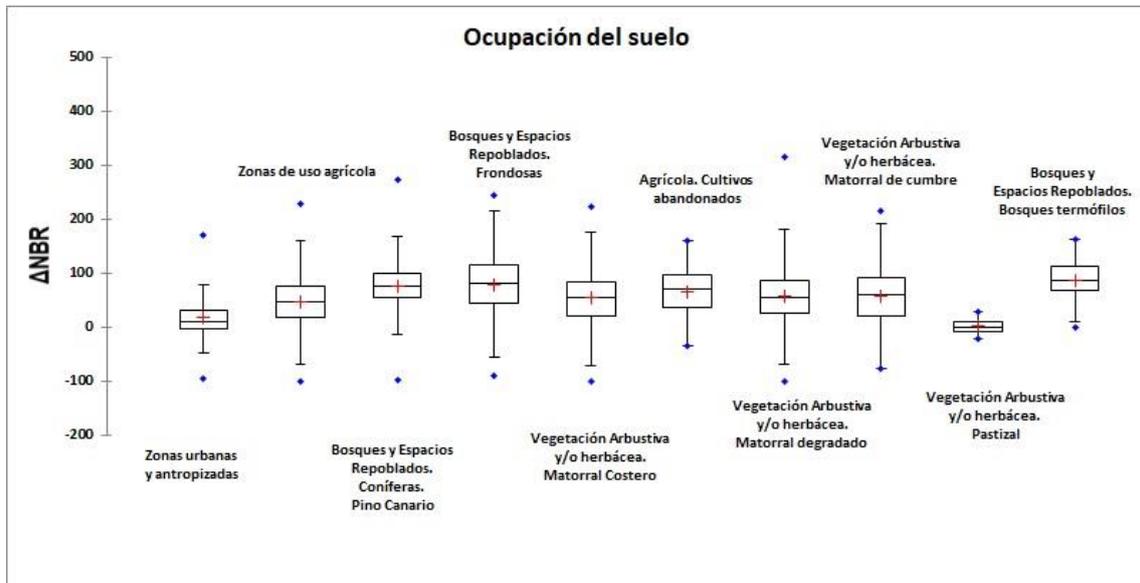


Figura 26: Distribución de los valores de severidad (ΔNBR) en relación con el factor ocupación del suelo en el Gran Incendio Forestal de 2007. Fuente: Elaboración propia.

A partir del análisis ANOVA se han encontrado diferencias estadísticamente significativas entre la mayoría de las categorías ($p\text{-value} < 0.05$). En la tabla 15 se representa un resumen del análisis de las diferencias por pares, se establecen seis grupos diferenciados, lo que demuestra la gran variabilidad que presentan las distintas categorías de ocupación del suelo en relación con la severidad.

Por su parte, el grupo A (Bosques y espacios repoblados de diferentes comunidades arbóreas) es el que presenta la media de valores de severidad más alta, aunque siempre dentro de la categoría Baja de severidad. Por su parte, las zonas urbanas y antropizadas, así como el pastizal presentan los valores más bajos de severidad. Por tanto, se puede concluir que estos datos responden a la variabilidad de la severidad por categorías antes comentada, existiendo diferencias significativas entre ellas.

Categoría	Media estimada	Error estándar	Grupos			
Bosques y Espacios Repoblados. Bosques termófilos	87,932	4,636	A			
Bosques y Espacios Repoblados. Frondosas	78,776	1,194	A			
Bosques y Espacios Repoblados. Coníferas. Pino Canario	77,048	0,143	A			
Agrícola. Cultivos abandonados	66,578	2,051		B		
Vegetación Arbustiva y/o herbácea. Matorral de cumbre	57,846	0,426			C	
Vegetación Arbustiva y/o herbácea. Matorral degradado	57,047	0,435			C	
Vegetación Arbustiva y/o herbácea. Matorral Costero	54,570	0,140				D
Zonas de uso agrícola	48,577	0,642				E
Zonas urbanas y antropizadas	17,414	0,598				F
Vegetación Arbustiva y/o herbácea. Pastizal	2,737	10,659				F

Tabla 15: Resumen del análisis de las diferencias por pares correspondiente al factor ocupación de suelo con intervalos de confianza (95%) (GIF 2007). Fuente: Elaboración propia

6.3.1.4 Materia orgánica

En la Figura 27 podemos apreciar el patrón espacial que sigue la distribución de la materia orgánica; la categoría moderada-alta abarca un sector amplio dentro del área de estudio, siendo mayoritaria en gran parte del ámbito, encontrándose ampliamente distribuida por toda el área de estudio. Por otro lado, la categoría moderada-baja se localiza especialmente en el sector noroeste del ámbito, por su parte, la categoría muy baja se concentra en el sector central del ámbito, correspondiéndose con las presas de Las Niñas, Chira y Soria.

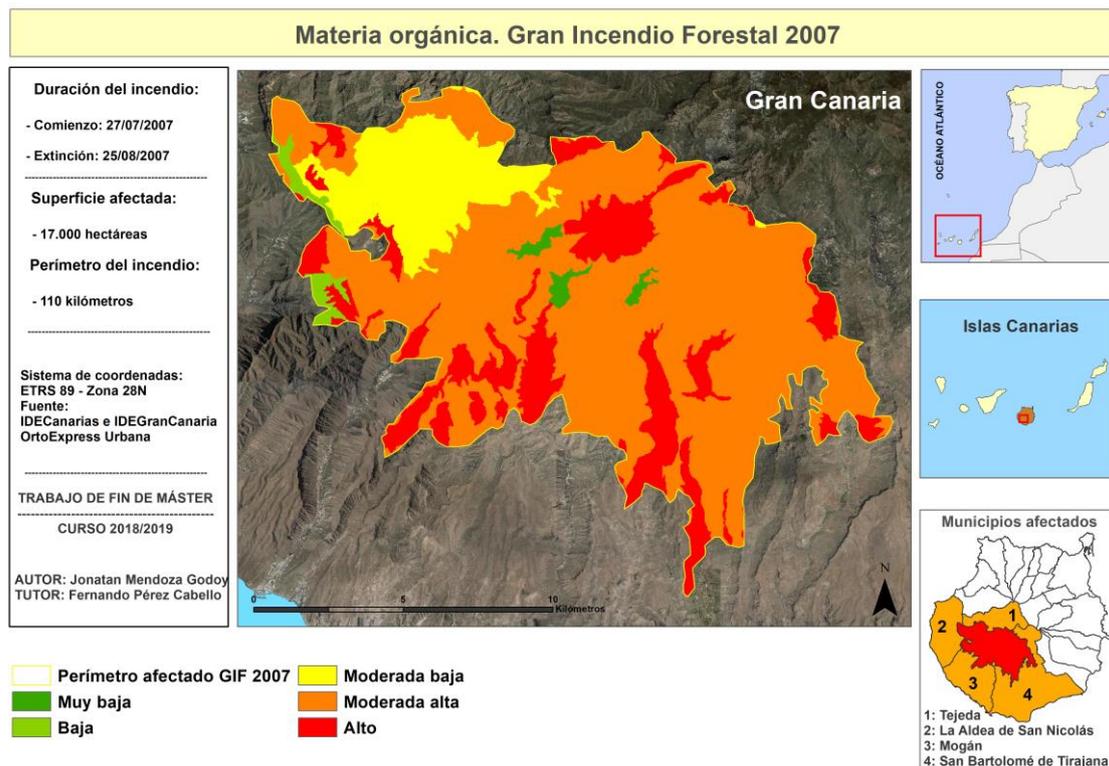


Figura 27: Distribución espacial de la materia orgánica presente en el área afectada por el Gran Incendio Forestal ocurrido en Gran Canaria en 2007. Fuente: IDEGranCanaria e IDECanarias (Elaboración propia).

Como se observa en la Figura 28, más de la mitad del área afectada por el GIF (66%) presenta valores moderados-altos de materia orgánica, mientras que el 19% se corresponde con valores altos. Por lo tanto, un 85% del ámbito presenta valores de materia orgánica altos. Por su parte, con solamente un 2% del total se encuentran las categorías baja y muy baja. Y, por último, moderada-baja con el restante 13%.

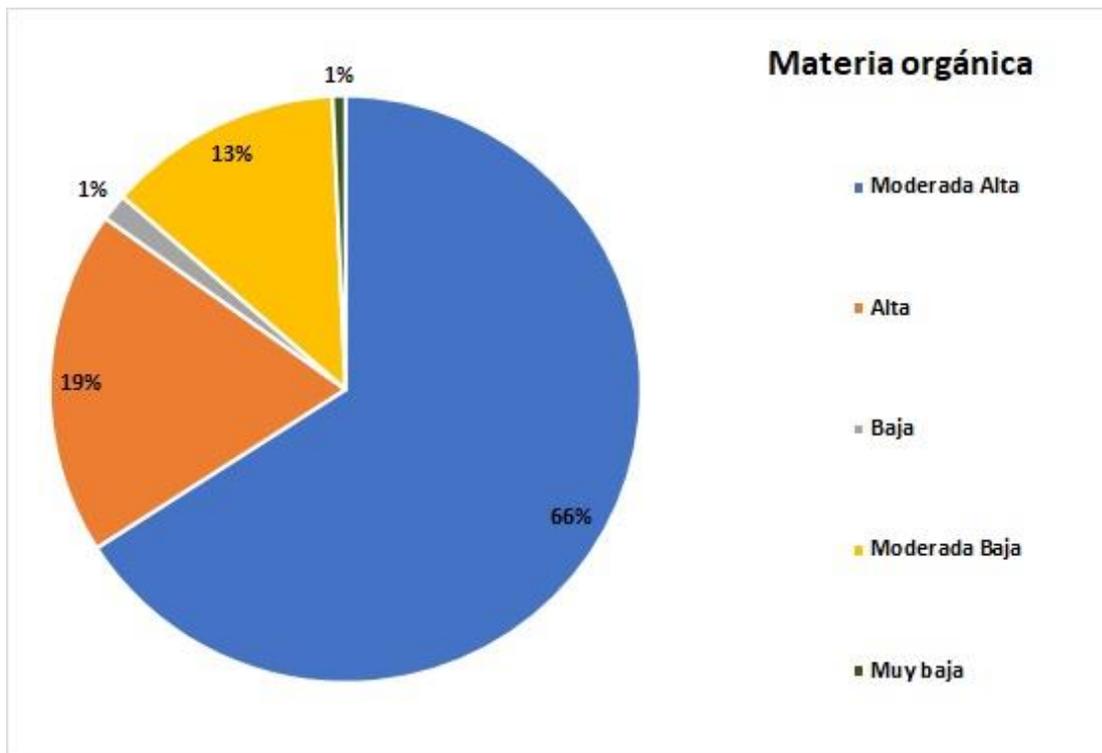


Figura 28: Distribución de la materia orgánica en el Gran Incendio Forestal de 2007. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar en la figura 26, hay variabilidad de la severidad en las distintas categorías de materia orgánica. Siendo las categorías baja y moderada baja las que menos variabilidad presentan, sin embargo, la categoría muy baja es la que más variabilidad en relación con los niveles de severidad tiene. La media en todas las categorías se sitúa entre 50 y 100, correspondiéndose con niveles de muy baja y baja severidad. Los parámetros de dispersión también presentan una variabilidad entre categorías; destacándose variaciones importantes en los rangos inter-cuartil, encontrándose los valores máximos y mínimos de severidad en la categoría moderada alta.

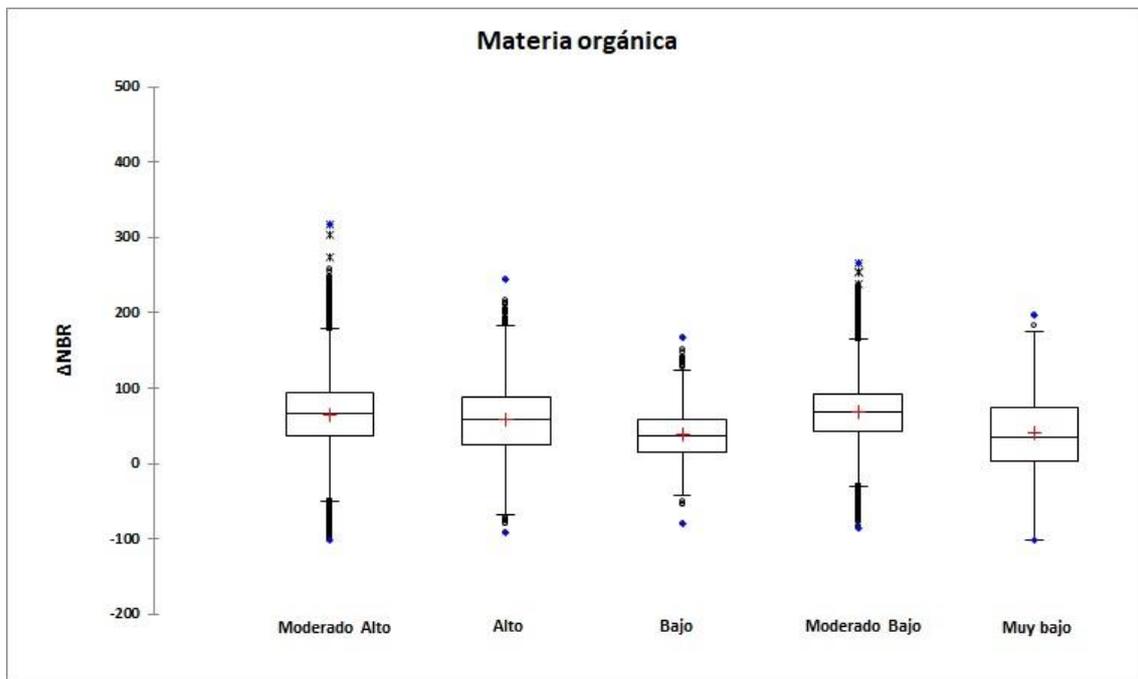


Figura 29: Distribución de los valores de severidad (ΔNBR) en relación con el factor materia orgánica en el Gran Incendio Forestal de 2007. Fuente: Elaboración propia.

Por último, después de llevar a cabo el análisis ANOVA, se han encontrado diferencias estadísticamente significativas entre la mayoría de las categorías ($p\text{-value} < 0.05$). En la tabla 16 se representa un resumen del análisis de las diferencias por pares, estableciéndose cuatro grupos diferenciados. El grupo A es el que presenta la media de valores de severidad más alta, correspondiéndose sorprendentemente con la categoría moderada baja. Por otra parte, los valores más bajos los presentan las categorías baja y muy baja, ya que, se presupone que cuanto menor es la cantidad de materia orgánica menor será la severidad del fuego. Por consiguiente, se identifican diferencias significativas entre la mayoría de las categorías, con excepción de las categorías de materia orgánica Muy bajo y Bajo.

Categoría	Media estimada	Error estándar	Grupos			
Moderado Bajo	67,758	0,269	A			
Moderado Alto	64,794	0,119		B		
Alto	58,541	0,221			C	
Muy bajo	40,412	1,163				D
Bajo	38,586	0,788				D

Tabla 16: Resumen del análisis de las diferencias por pares correspondiente al factor materia orgánica con intervalos de confianza (95%) (GIF 2007). Fuente: Elaboración propia

6.3.1.5 Espacios Naturales Protegidos

La Figura 30 muestra la distribución espacial de los Espacios Naturales Protegidos afectados por el GIF de 2007. En total se vieron afectados seis Espacios Naturales Protegidos. En el sector norte/noroeste se encuentra el Parque Rural del Nublo y la Reserva Natural Integral de Inagua, por su parte, al sur del incendio y a una cota altitudinal menor que el resto, se localiza el Monumento Natural de Tauro. Por último, al este del área afectada, el Parque Natural de Pílancones, el Paisaje Protegido de Fataga y el Monumento Natural Riscos de Tirajana.

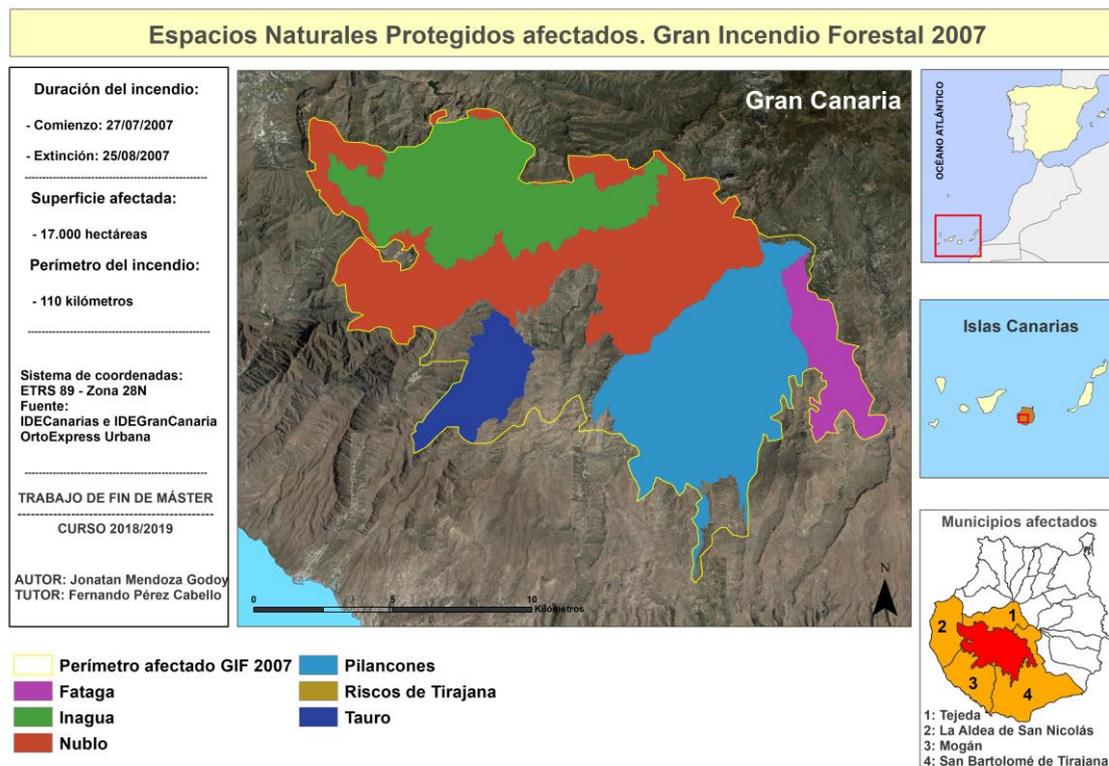


Figura 30: Distribución espacial de los Espacios Naturales Protegidos presentes en el área afectada por el Gran Incendio Forestal ocurrido en Gran Canaria en 2007. Fuente: IDEGranCanaria e IDECanarias (Elaboración propia).

Según lo expuesto en la Figura 31, el Espacio Natural Protegido con una mayor presencia en el GIF es el Parque Rural del Nublo con 30,76% del total, seguido del Parque Natural de Pílancones que representa el 20,27% del área. Por lo tanto, la mitad de la superficie del área afectada por el incendio estaría ocupada por estos dos Espacios Naturales Protegidos. Por otro lado, la Reserva Natural Integral de Inagua también ocupa una parte importante del ámbito, localizándose en el 20,27% del área. Destacar que solamente el 12,51% de toda el área afectada no se encuentra bajo ninguna categoría de protección.

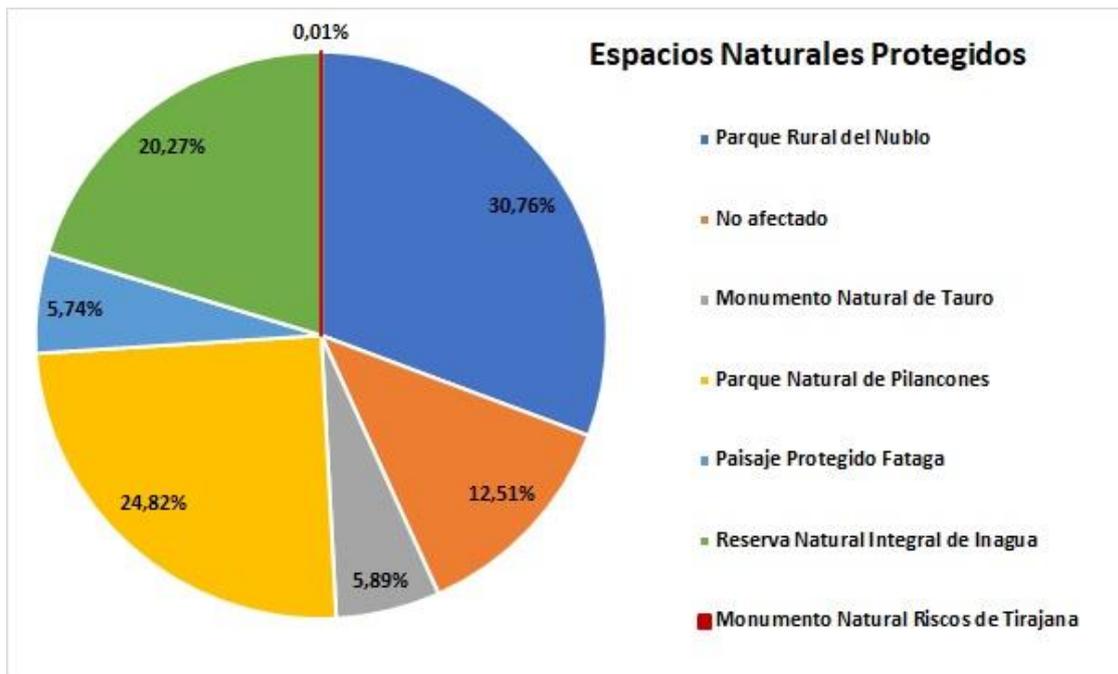


Figura 31: Distribución de los Espacios Naturales Protegidos afectados por el Gran Incendio Forestal de 2007. Fuente: Elaboración propia.

A partir de lo expuesto en la Figura 32, existe una cierta variabilidad de los valores de severidad en relación con los distintos Espacios Naturales Protegidos, sobre todo en el Monumento Natural de Riscos de Tirajana que presenta los niveles más bajos, así como el rango inter-cuartil menos variable. La media en todas las categorías se sitúa entre 0 y 100, correspondiéndose con niveles de muy baja y baja severidad. Presentando los valores máximos y mínimos la Reserva Natural de Inagua, presentando los valores de dispersión más altos. Por último, los rangos inter-cuartil también presentan ciertas diferencias, siendo el Paisaje Protegido de Fataga y el Parque Rural del Nublo donde encontramos los valores más variables.

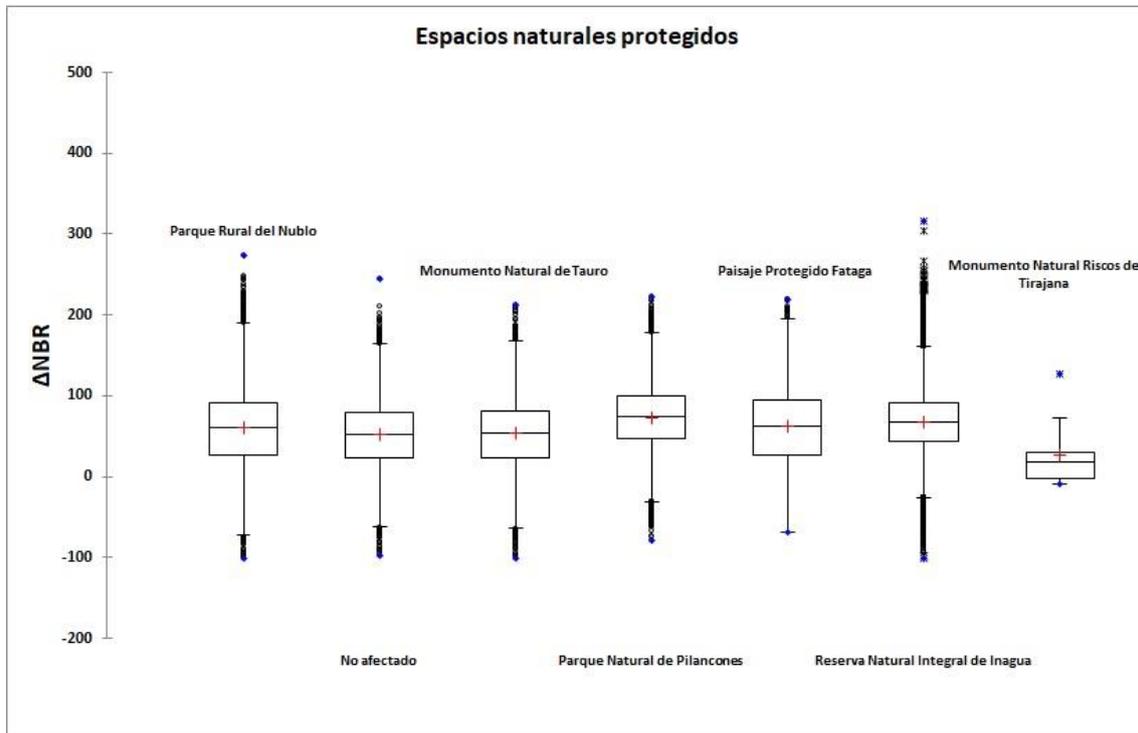


Figura 32: Distribución de los valores de severidad (ΔNBR) en relación con el factor Espacios Naturales Protegidos en el Gran Incendio Forestal de 2007. Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la Tabla 17, una vez realizado el análisis de las diferencias por pares respecto a los Espacios Naturales Protegidos se han generado cuatro grupos que presentan un comportamiento similar en relación con los niveles de severidad registrados. Por lo tanto, se han encontrado diferencias estadísticamente significativas entre la mayoría de las categorías ($p\text{-value} < 0.05$), presentando una gran variabilidad. El Parque Natural de Pilacones es el que presentan los niveles más altos de severidad, mientras que en el Monumento Natural Riscos de Tirajana se registraron los más bajos. Por su parte, las zonas que no están afectadas por ninguna categoría de protección (-9999) presentan los niveles más bajos de severidad, pudiendo estar relacionado con la menor concentración de materia orgánica y de vegetación de estas áreas, con respecto a los Espacios Naturales Protegidos.

Categoría	Media estimada	Error estándar	Grupos			
Monumento Natural Riscos de Tirajana	27,069	11,478	A			
-9999	51,813	0,271	A			
Monumento Natural de Tauro	53,768	0,394	A			
Parque Rural del Nublo	60,007	0,173	A			
Paisaje Protegido Fataga	62,943	0,400		B		
Reserva Natural Integral de Inagua	67,534	0,213			C	
Parque Natural de Pilacones	72,578	0,192				D

Tabla 17: Resumen del análisis de las diferencias por pares correspondiente al factor Espacios Naturales Protegidos con intervalos de confianza (95%) (GIF 2007). Fuente: Elaboración propia

6.3.1.6 Precipitación

En la Figura 33 se representa la distribución espacial de la precipitación en el área afectada por el GIF de 2007; se observa claramente la relación entre la altitud y la precipitación, aumentando ésta a medida que aumenta la altitud. En este sentido, se encuentra los valores más bajos de precipitación en el sector sur del ámbito, por su parte, los valores mayores de precipitación se localizan sobre todo en la zona norte, coincidiendo con las áreas de mayor altitud. En este contexto, la precipitación media-baja se encuentra ampliamente distribuida por todo el GIF-2007.

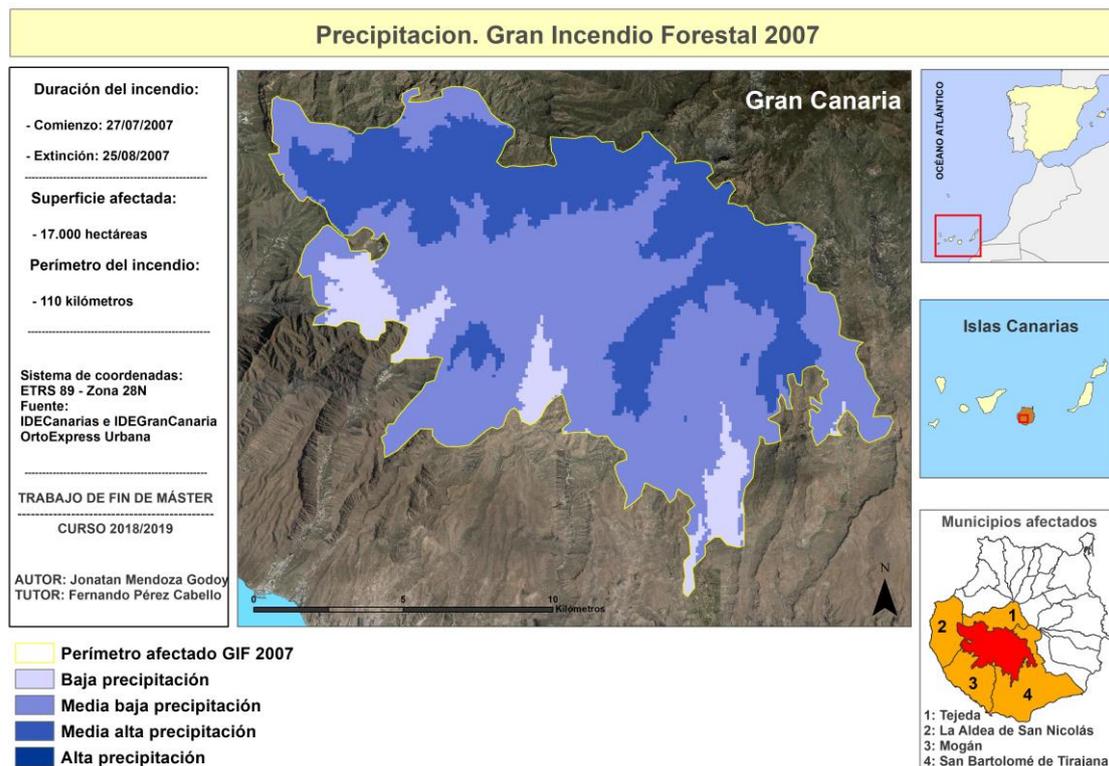


Figura 33: Distribución espacial de la precipitación en el área afectada por el Gran Incendio Forestal ocurrido en Gran Canaria en 2007. Fuente: IDEGranCanaria e IDECanarias (Elaboración propia).

Por su parte, la distribución de cada categoría de precipitación se expone en la Figura 34, y, como se observa, más de la mitad del ámbito presenta una media-baja precipitación (301-500 mm), siendo la media-alta (501-700 mm) la segunda categoría con una presencia mayor en el área, por consiguiente, el 91,18% presenta una precipitación media. Por último, la categoría baja precipitación (100-300 mm) ocupa un 8,82% de la superficie, siendo la alta precipitación prácticamente inexistente.

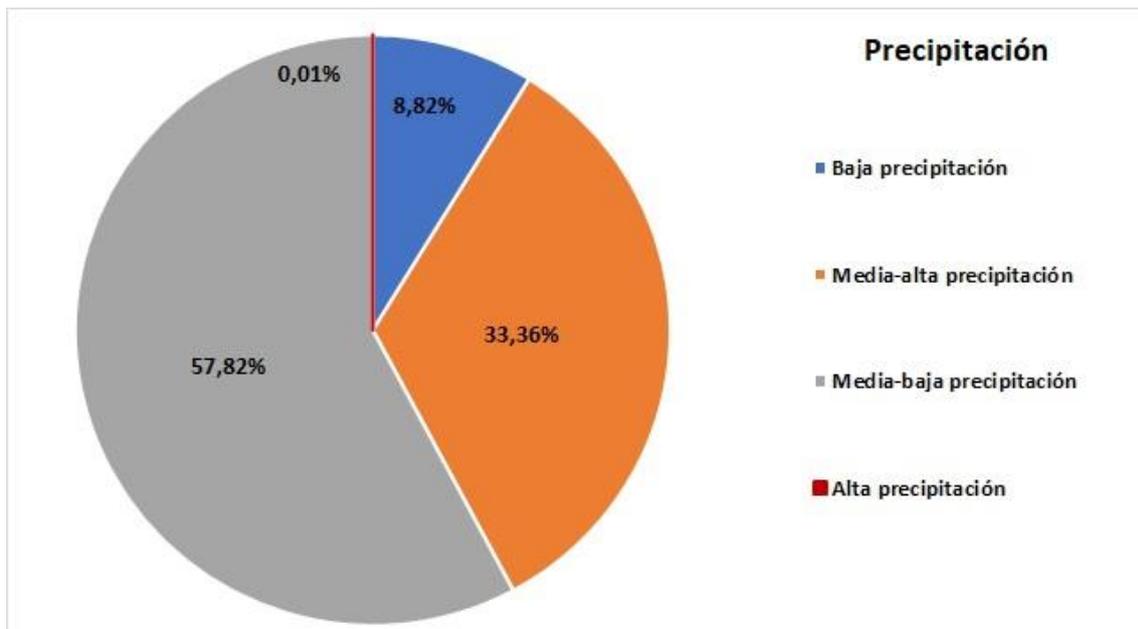


Figura 34: Distribución de la precipitación en el Gran Incendio Forestal de 2007. Fuente: Elaboración propia.

Según lo expuesto en la Figura 35, existe una cierta variabilidad de los valores de severidad en relación con las distintas categorías de precipitación, sin embargo, la media en todas las categorías se sitúa entre 50 y 100 (muy baja y baja severidad). Siendo la media-alta precipitación la que posee una menor dispersión de los datos y la que presenta los valores más altos de severidad, así como, el rango inter-cuartil menos variable.

Presentando los valores máximos y mínimos la Reserva Natural de Inagua, presentando los valores de dispersión más altos. Por último, los rangos inter-cuartil también presentan ciertas diferencias, siendo el Paisaje Protegido de Fataga y el Parque Rural del Nublo donde encontramos los valores más variables. Mientras que la categoría alta precipitación es la que presenta una mediana con valores más bajos y una variación de los rangos inter-cuartil más grande, por lo tanto, con valores más dispersos.

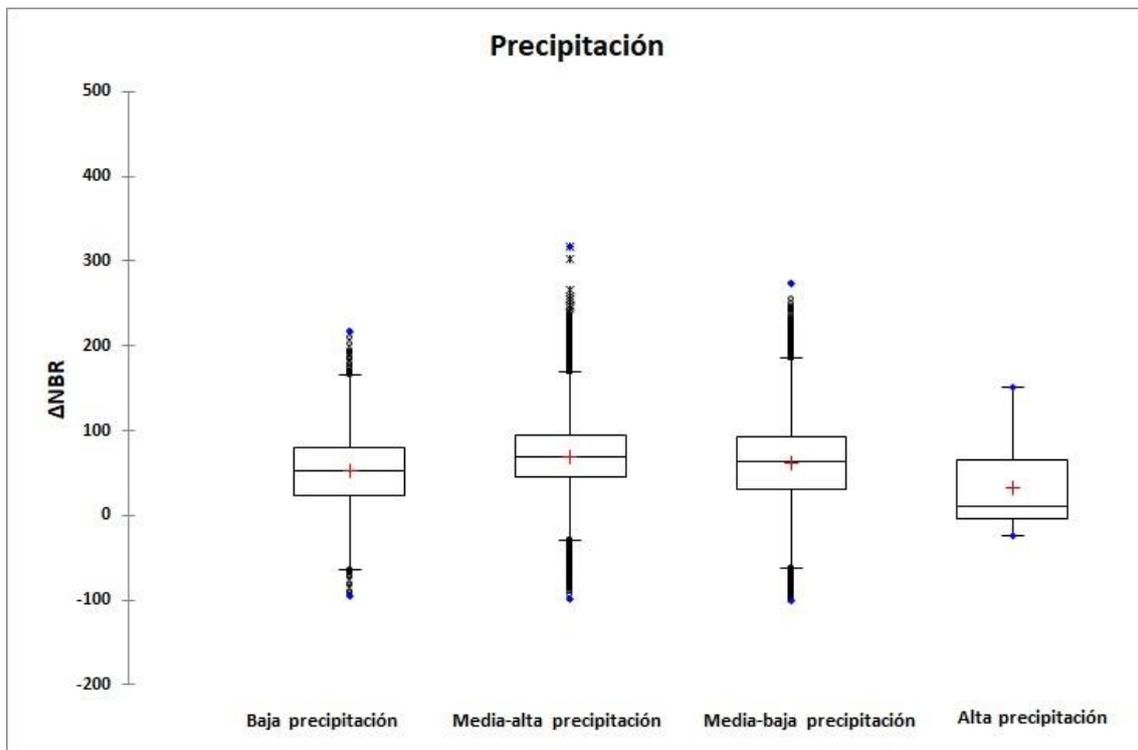


Figura 35: Distribución de los valores de severidad (ΔNBR) en relación con el factor precipitación en el Gran Incendio Forestal de 2007. Fuente: Elaboración propia

Se han identificado tres grupos que presentan un comportamiento similar en relación con los niveles de severidad registrados. Por lo tanto, se han encontrado diferencias estadísticamente significativas entre la mayoría de las categorías ($p\text{-value} < 0.05$), presentando una gran variabilidad. La baja y la alta precipitación siguen un comportamiento similar en relación con la severidad, no habiéndose identificado diferencias significativas. Mientras que, en los valores medios sí se han encontrado diferencias significativas, presentando los dos unos valores medios de severidad muy bajos.

Categoría	Media estimada	Error estándar	Grupos		
Media-alta precipitación	69,256	0,167	A		
Media-baja precipitación	61,783	0,127		B	
Baja precipitación	52,165	0,325			C
Alta precipitación	31,793	11,144			C

Tabla 18: Resumen del análisis de las diferencias por pares correspondiente al factor precipitación con intervalos de confianza (95%) (GIF 2007). Fuente: Elaboración propia

6.3.1.7 Espesor suelo

En la Figura 36 podemos apreciar que el patrón espacial que sigue la distribución del espesor del suelo es bastante heterogéneo; siendo la categoría alto la más distribuida por toda el área. Por su parte, la categoría muy alta se localiza en el sur y en el sector oeste del área, coincidiendo con cauces de barranco en los que se deposita material sedimentario. Al igual

que la categoría alto, el espesor de suelo moderado-alto también está ampliamente distribuido por toda el área. Por otro lado, el espesor de suelo muy bajo se concentra en el sector central del ámbito, correspondiéndose con las presas de Las Niñas, Chira y Soria.

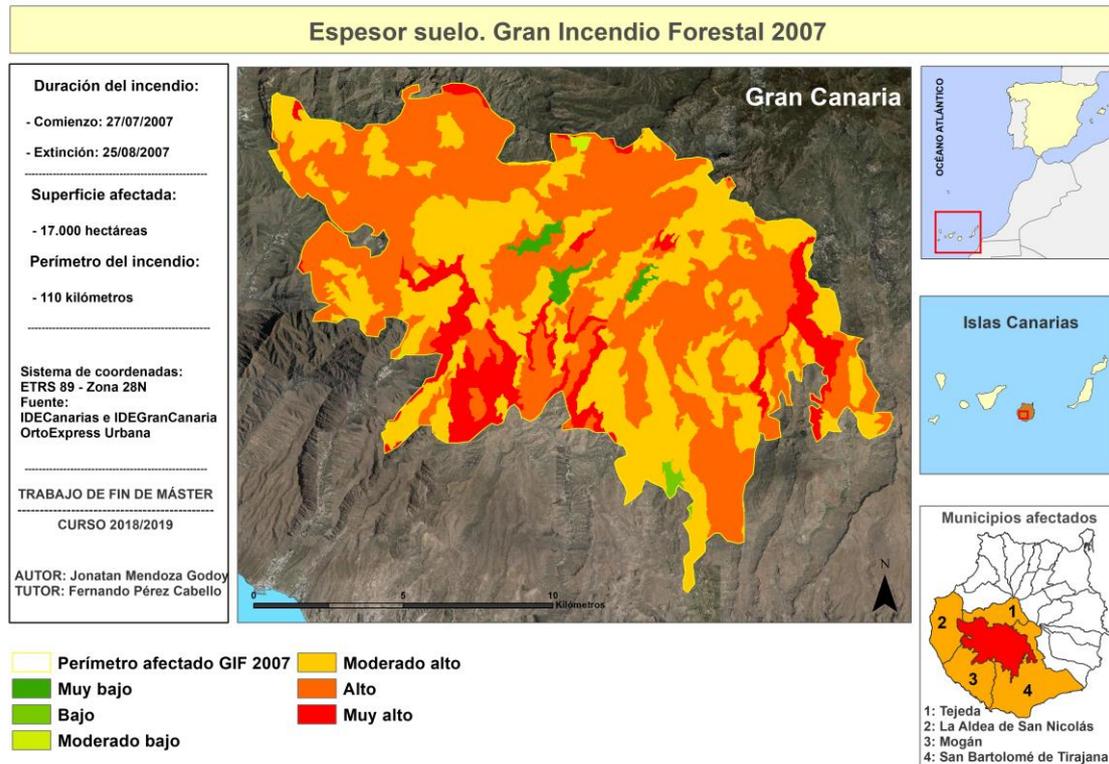


Figura 36: Distribución espacial del espesor del suelo en el área afectada por el Gran Incendio Forestal ocurrido en Gran Canaria en 2007. Fuente: IDEGranCanaria e IDECanarias (Elaboración propia).

La Figura 37 muestra la distribución de las diferentes categorías de espesor de suelo, como se observa, más de la mitad del área afectada por el GIF (50,62%) presenta valores altos, en este sentido el 38,21% del área presenta un espesor de suelo moderado-alto, en este contexto el 88,83% de la superficie presenta un espesor de suelo alto. Por el contrario, el 11,17% restante se correspondería casi en su totalidad por la categoría muy alto (9,88%), por lo tanto, estamos en un área con un espesor de suelo que se caracteriza por presentar valores altos.

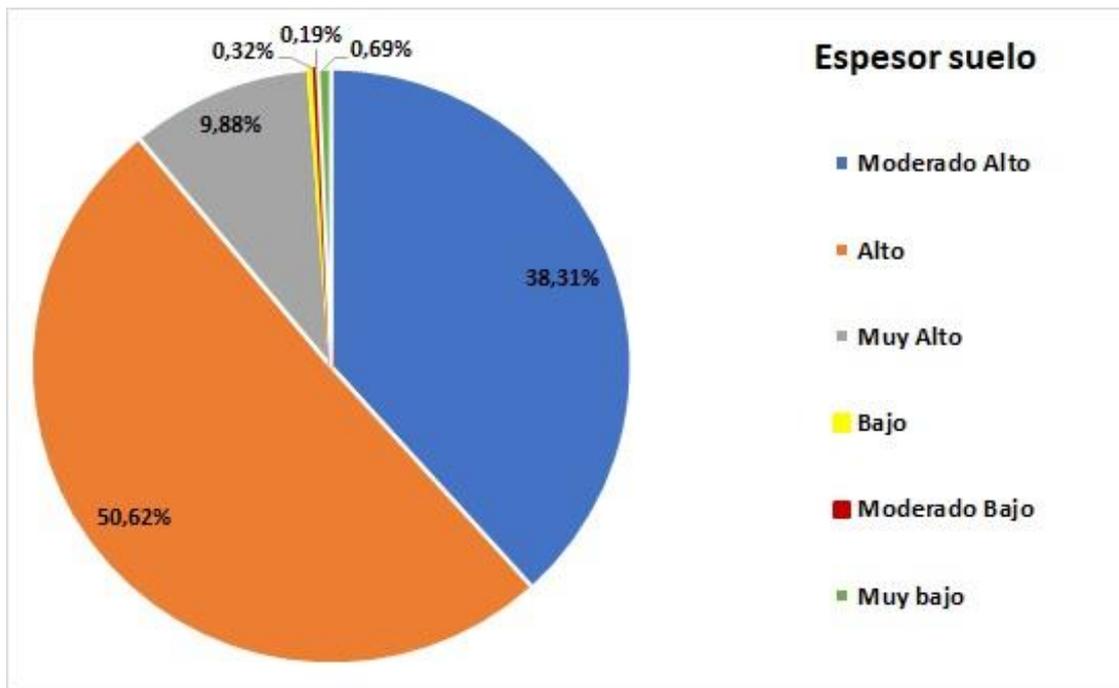


Figura 37: Distribución del espesor del suelo en el Gran Incendio Forestal de 2007. Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la Figura 38, hay una gran variabilidad de las distintas categorías de espesor de suelo. Presentando los valores máximos la categoría alto espesor de suelo, así como los registros más bajos. Por otro lado, la media en todas las categorías se sitúa entre 50 y 100 (muy baja y baja severidad). Siendo el espesor de suelo bajo el que posee una menor dispersión de los datos, concentrándose en torno a 20/50.

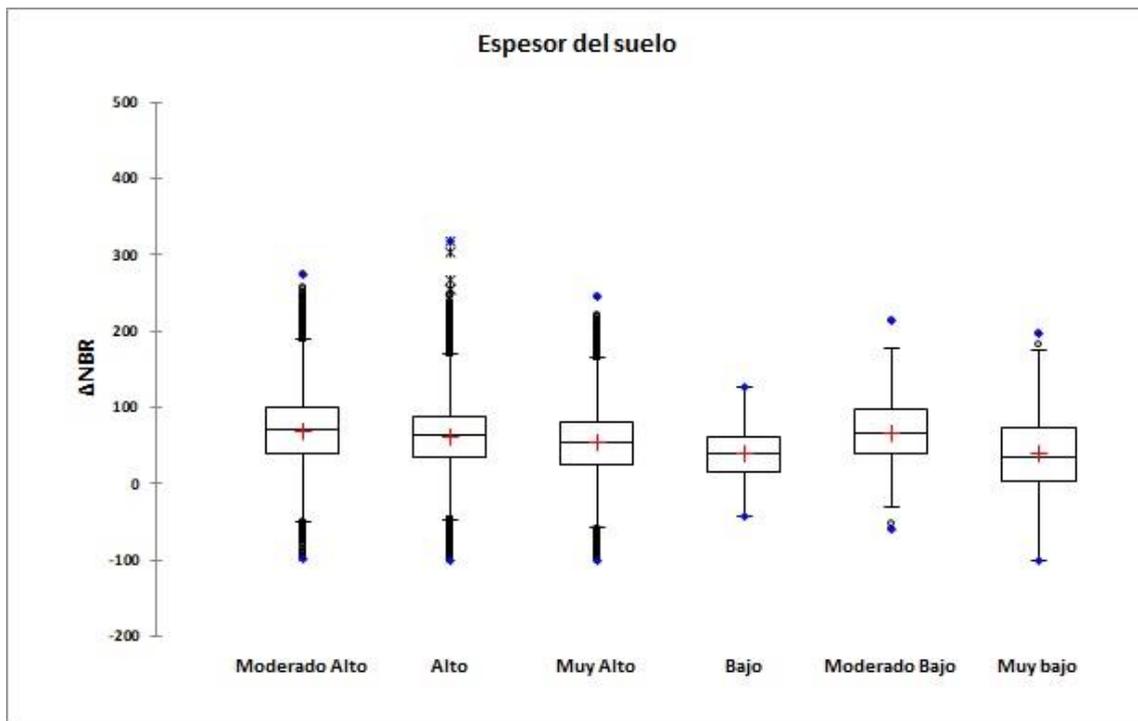


Figura 38: Distribución de los valores de severidad (ΔNBR) en relación con el factor espesor de suelo en el Gran Incendio Forestal de 2007. Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 19 se reconocen los cuatro grupos que presentan un comportamiento similar en relación con los niveles de severidad registrados. Por lo tanto, se han encontrado diferencias estadísticamente significativas entre la mayoría de las categorías ($p\text{-value} < 0.05$), presentando una gran variabilidad. Los valores más altos los encontramos en la categoría moderado-alto, por su parte, la categoría moderado-bajo no responde a ninguno de los criterios seguidos por la categoría A y la categoría B. Presentando un comportamiento similar, sin diferencias significativas entre las categorías muy bajo y bajo espesor de suelo.

Categoría	Media estimada	Error estándar	Grupos			
Moderado Alto	68,935	0,156	A			
Moderado Bajo	65,924	2,220	A	B		
Alto	61,546	0,135		B		
Muy Alto	54,022	0,307			C	
Muy bajo	40,412	1,161				D
Bajo	39,591	1,708				D

Tabla 19: Resumen del análisis de las diferencias por pares correspondiente al factor espesor de suelo con intervalos de confianza (95%) (GIF 2007). Fuente: Elaboración propia

6.3.1.8 Actividad fotosintética/recubrimiento vegetal (NDVI) previo al incendio

Como se observa en la Figura 39, el patrón espacial que sigue la distribución del NDVI previo al incendio es bastante homogéneo, sobresaliendo la categoría muy baja y baja por encima de la categoría con los valores medios. Aunque ampliamente distribuidas, las dos categorías mayoritarias en el área se concentran en zonas diferentes. Por un lado, el NDVI con valores muy bajos (0 a 0,1) se agrupa en el sector noroeste del GIF, mientras que los valores bajos en el sector sureste (0,1 a 0,2). Los valores más altos (categoría media; 0,2 a 0,3), los encontramos en el sector sur y en pequeñas islas distribuidas por toda el área. Y, por último, las zonas que presentaron una actividad fotosintética nula (< 0) se concentran en el sector norte/noroeste del ámbito.

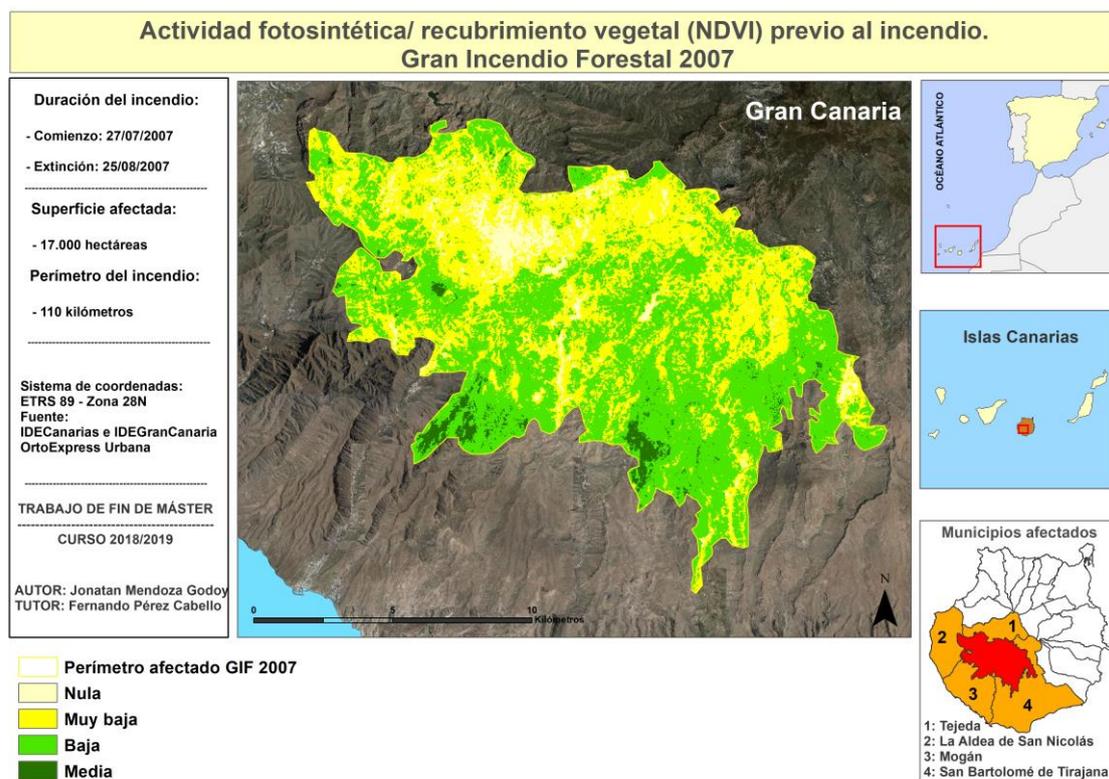


Figura 39: Distribución espacial del NDVI en el área afectada por el Gran Incendio Forestal ocurrido en Gran Canaria en 2007. Fuente: IDEGranCanaria e IDECanarias (Elaboración propia).

En este caso, como se observa en la Figura 40, la relación es a la inversa, ya que se categorizan los niveles de severidad, y se compara con los valores continuos del NDVI. En este sentido, hay una gran variabilidad entre las distintas categorías de severidad, sobre todo si comparamos la categoría muy baja severidad (-100 a 99) y moderada-baja severidad (270 a 439). Presentando los valores máximos la categoría muy baja severidad, y los mínimos la baja severidad, oscilando entre 0,25 y -0.10. La media de todas las categorías se sitúa entre 0 y

0,10 aproximadamente, presentando unos valores muy bajos. Las categorías que presenta una mayor dispersión de los valores es la moderada-baja.

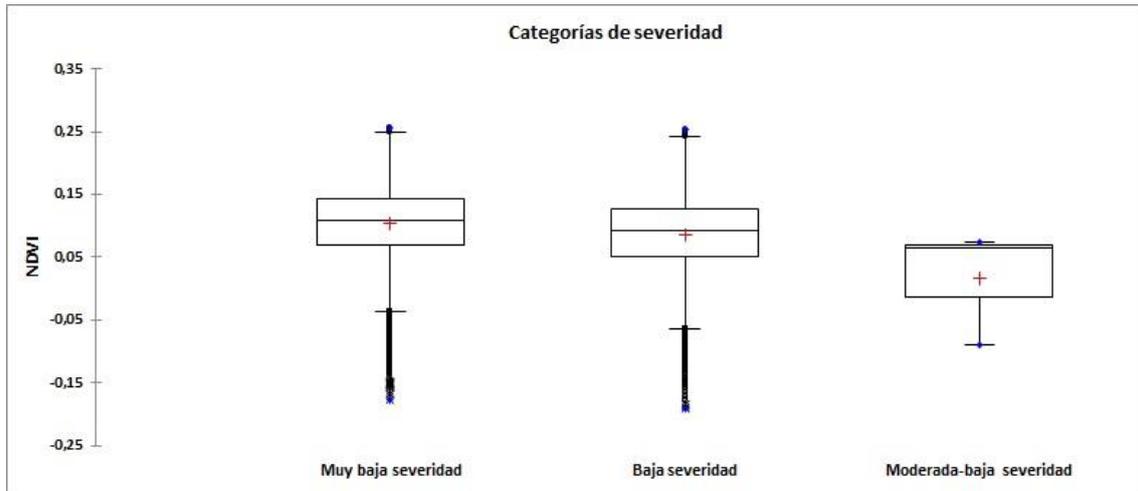


Figura 40: Distribución de los valores de la actividad fotosintética (NDVI) en relación con la severidad en el Gran Incendio Forestal de 2007. Fuente: Elaboración propia

Según lo expuesto en la Tabla 20, una vez realizado el análisis de las diferencias por pares, se han identificado dos grupos que presentan un comportamiento similar en relación con los niveles de actividad fotosintética registrados. Los valores más altos los encontramos en la categoría 1 (muy baja severidad), mientras que la categoría 2 y 3 (muy baja severidad y baja severidad) presentan un comportamiento similar, sin diferencias significativas.

Categoría	Media estimada	Error estándar	Groups
3	0,016	0,033	A
2	0,086	0,000	A
1	0,104	0,000	B

Tabla 20: Resumen del análisis de las diferencias por pares correspondiente al factor severidad con intervalos de confianza (95%) (GIF 2007). Fuente: Elaboración propia

6.3.2 Gran incendio forestal 2017

6.3.2.1 Pendiente topográfica

A partir de la Figura 41 podemos apreciar el patrón espacial de la distribución de las pendientes; las zonas escarpadas y de pendiente muy acentuada se encuentra ampliamente distribuida por toda el área de estudio, ocupando la mayor parte de la zona de estudio. Por su parte, las zonas con pendiente acentuada y moderada se concentran en el sector central

del ámbito, mientras que las zonas llanas y con pendiente suave son prácticamente inexistentes.

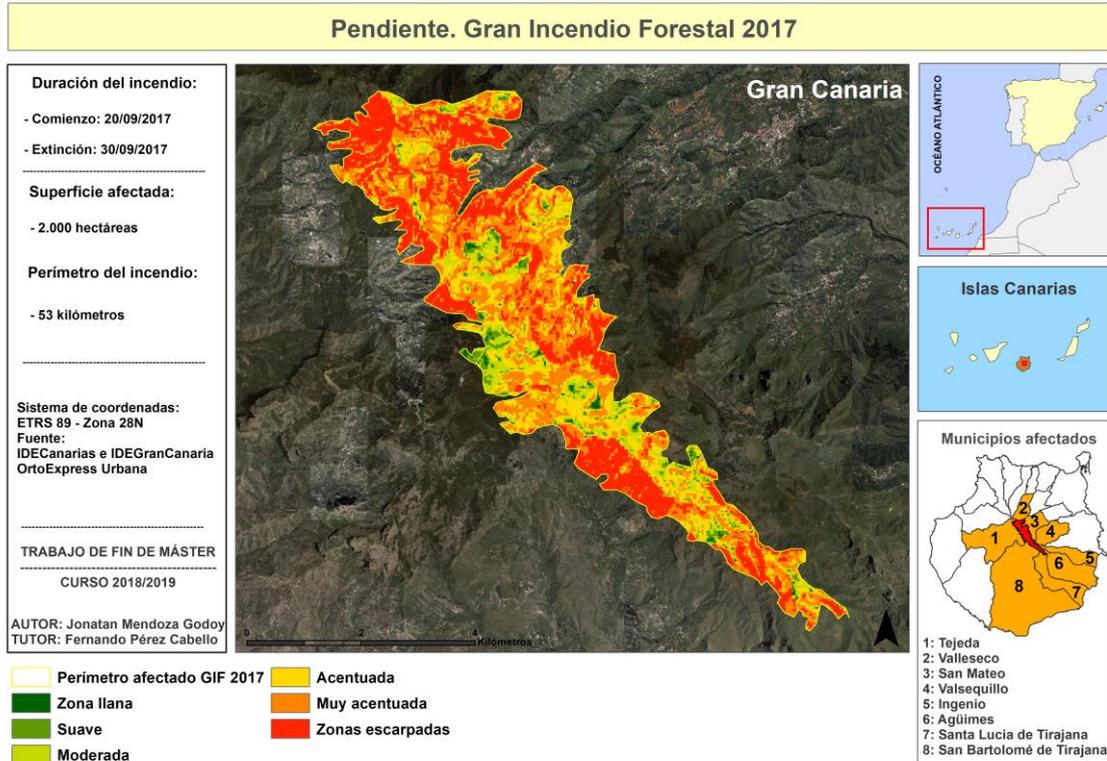


Figura 41: Distribución espacial de la pendiente topográfica en el área afectada por el Gran Incendio Forestal ocurrido en Gran Canaria en 2017. Fuente: IDEGranCanaria e IDECanarias (Elaboración propia).

Como se observa en la Figura 42, el 63% del área afectada por el GIF de 2017 se corresponde con zonas escarpadas ($> 27^\circ$) y con áreas con una pendiente muy acentuada, con pendientes comprendidas entre 19 y 27° . Por lo tanto, gran parte del área afectada presenta unos valores de fuerte pendiente. A su vez, las zonas con pendiente acentuada ($12-18^\circ$) también son numerosas, representando el 22%. Por su parte, el 6% se corresponde con zonas llanas ($< 3^\circ$) y con zonas con pendiente suave ($4-6^\circ$). Por lo tanto, estos datos nos demuestran la fuerte pendiente que presenta la zona afectada por el GIF de 2017.

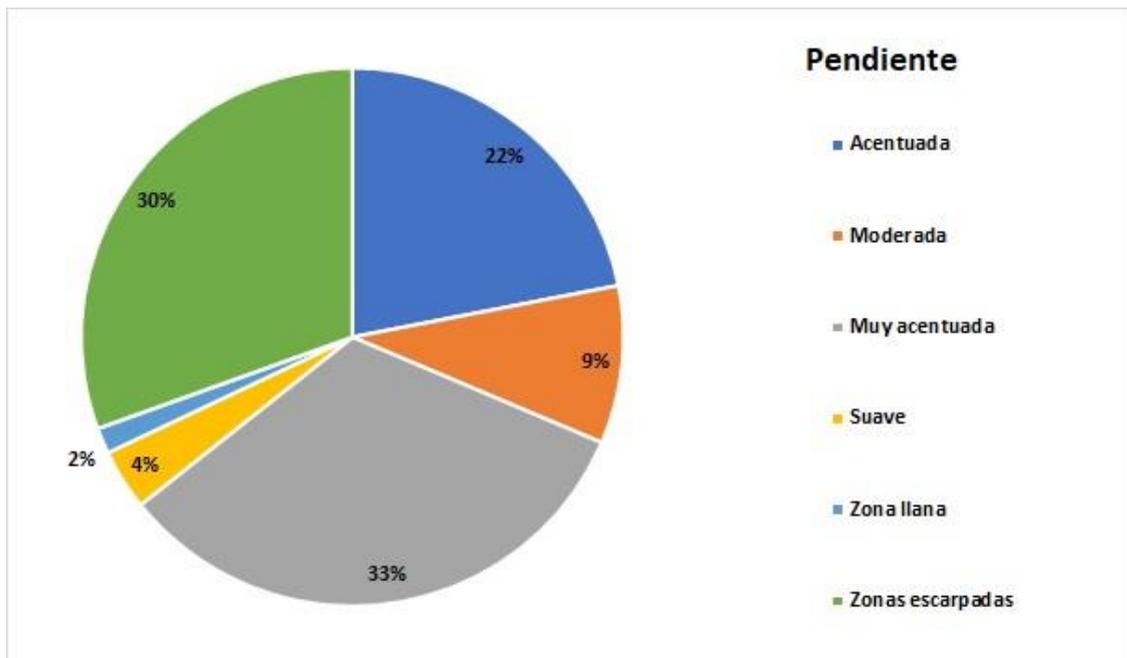


Figura 42: Distribución de la pendiente topográfica en el Gran Incendio Forestal de 2017. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 43 representa la distribución de los indicadores de centralidad y dispersión correspondientes a los valores de severidad ($\Delta INBR$) por categorías de pendiente. Como se puede apreciar, hay una gran variabilidad en las distintas categorías. La media en todas las categorías se sitúa entre 200 y 300, correspondiéndose con niveles de muy baja y baja severidad. Por su parte, los parámetros de dispersión también son muy variables; los rangos inter-cuartil presentan una gran variabilidad, siendo las zonas escarpadas donde se encuentran los valores máximos de severidad, y estando el mínimo en todas las categorías en -100.

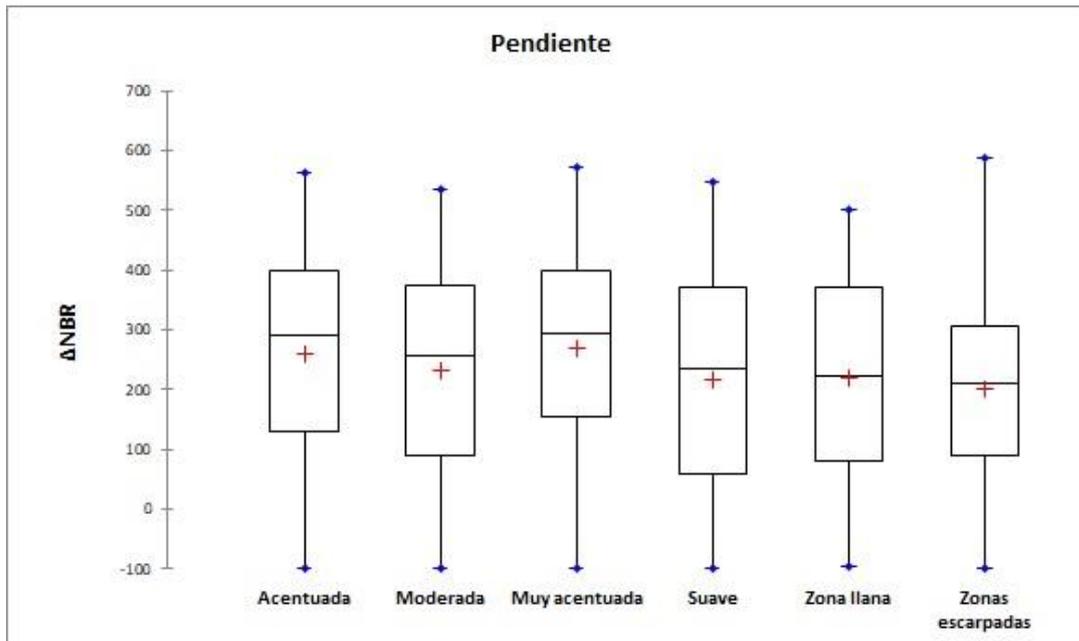


Figura 43: Distribución de los valores de severidad (ΔNBR) en relación con el factor pendiente topográfica en el Gran Incendio Forestal de 2017. Fuente: Elaboración propia

A partir del análisis ANOVA se han encontrado diferencias estadísticamente significativas entre la mayoría de los pares ($p\text{-value} < 0.05$). En la Tabla 21 se representa un resumen del análisis de las diferencias por pares, se establecen tres grupos diferenciados. Destacando el grupo A (Pendiente muy acentuada y acentuada) que es donde se han obtenido los valores más altos de severidad, localizándose lo más bajos en las zonas escarpadas (Grupo C). Por su parte las muy acentuadas y acentuadas presentan un comportamiento similar entre sí.

Por tanto, se puede concluir que esta variable topográfica ejerció un papel destacado en la distribución espacial de la severidad. En este sentido, los resultados abundan en la importancia que esta variable topo-morfológica presenta en los modelos de propagación del fuego (Blanco, *et al.*, 2008; Almagro, 2009) y en la importancia de su consideración a la hora de predecir la distribución de los niveles de severidad en incendios futuros.

Categoría	Media estimada	Error estándar	Grupos		
Muy acentuada	267,854	1,947	A		
Acentuada	259,810	2,383	A		
Moderada	233,049	3,623		B	
Zona llana	218,388	8,972		B	C
Suave	217,287	5,845		B	C
Zonas escarpadas	199,756	2,020			C

Tabla 21: Resumen del análisis de las diferencias por pares correspondiente al factor pendiente topográfica con intervalos de confianza (95%) (GIF 2017). Fuente: Elaboración propia

6.3.2.2 Comunidades vegetales

En la Figura 44 podemos apreciar el patrón espacial de la distribución de las diferentes comunidades vegetales; como se observa el Pinar monopoliza toda el área de estudio, siendo las demás comunidades vegetales prácticamente residuales, excepto en la zona noroeste donde predomina las comunidades de Monteverde.

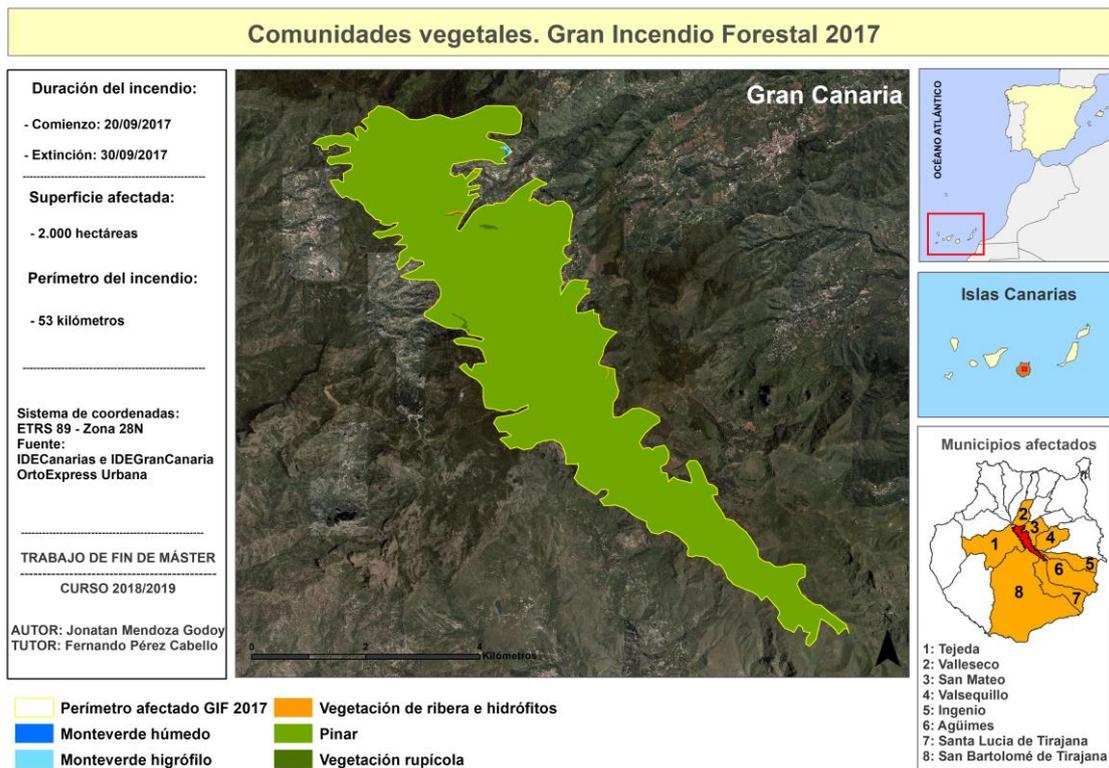


Figura 44: Distribución espacial de las comunidades vegetales en el área afectada por el Gran Incendio Forestal ocurrido en Gran Canaria en 2017. Fuente: IDEGranCanaria e IDECanarias (Elaboración propia).

Como se comentó anteriormente, prácticamente la totalidad del área afectada por el GIF de 2017 se corresponde con zonas en las que predomina el Pinar, en este caso Pinar de Norte. Estando escasamente representadas las demás comunidades.

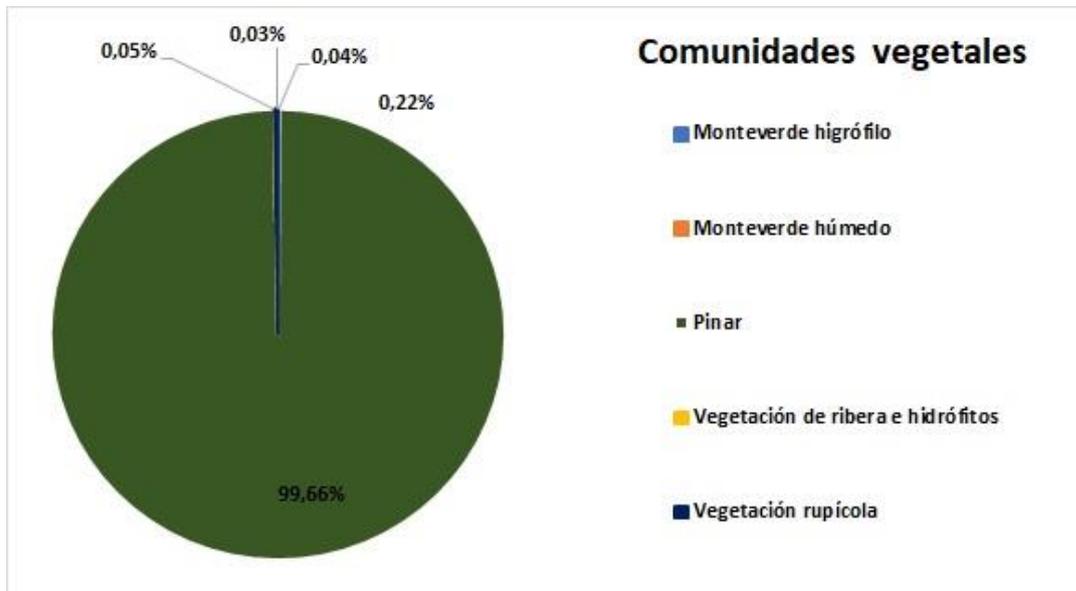


Figura 45: Distribución de las comunidades vegetales en el Gran Incendio Forestal de 2017. Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la Figura 23 hay una gran variabilidad de la severidad en las distintas categorías de comunidades vegetales. El pinar y la vegetación rupícola son los que presentan mayor variabilidad, ya que sus valores máximos y mínimos oscilan de -100 a 550 (muy baja severidad a moderada-alta severidad). La media en de las categorías oscila entre -50 a 250, correspondiéndose con niveles de muy baja y baja severidad. Además, los parámetros de dispersión también son muy diferentes entre categorías; los rangos inter-cuartil son muy variados entre sí, estando los niveles de severidad más concentrados en el Monteverde Higrófilo y más dispersos en la vegetación rupícola.

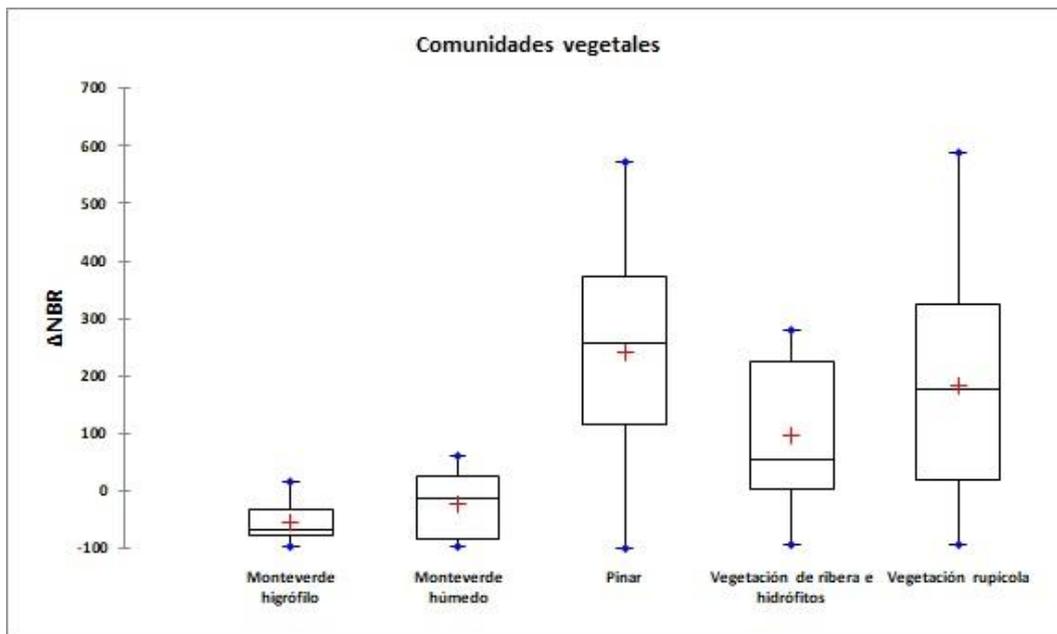


Figura 46: Distribución de los valores de severidad (ΔNBR) en relación con el factor comunidades vegetales en el Gran Incendio Forestal de 2017. Fuente: Elaboración propia

Después de llevar a cabo el análisis ANOVA, no se han encontrado diferencias estadísticamente significativas en la mayoría de los pares ($p\text{-value} < 0.05$), exceptuando los pares en los que intervienen el Pinar y la Vegetación Rupícola.

En la tabla 22 se representa un resumen del análisis de las diferencias por pares, se establecen dos grupos diferenciados, los cuales presentan un comportamiento de la severidad similar. Siendo el Pinar y la vegetación rupícola (Grupo A) los que presentaron los mayores niveles de severidad y el monteverde húmedo e higrófilo (Grupo B) los que menos. Por su parte, la vegetación de ribera e hidrófitos no se identifica con ninguno de los dos grupos.

Sin embargo, se puede concluir que esta variable biofísica ejerció un papel destacado en la distribución espacial de la severidad, siendo las áreas de Pinar las que tuvieron una severidad mayor, mientras que las comunidades vegetales más húmedas presentaron una severidad menor. Por lo tanto, se reafirma la importancia de su consideración a la hora de predecir la distribución de los niveles de severidad en incendios futuros.

Categoría	Media estimada	Error estándar	Grupos	
Pinar	239,769	1,136	A	
Vegetación rupícola	183,775	24,153	A	
Vegetación de ribera e hidrófitos	95,310	53,403	A	B
Monteverde húmedo	-22,034	56,643		B
Monteverde higrófilo	-52,966	65,405		B

Tabla 22: Resumen del análisis de las diferencias por pares correspondiente al factor comunidades vegetales con intervalos de confianza (95%) (GIF 2017). Fuente: Elaboración propia

6.3.2.3 Ocupación del suelo

Según lo expuesto en la Figura 47 podemos apreciar el patrón espacial de la distribución de la ocupación del suelo; el sector norte está ocupado por vegetación con porte subarbusitivo de cumbre, con pequeñas “islas” de pastizal y áreas de uso agrícola. Por su parte, el sector central está dominado por bosques y espacios repoblados, en su mayoría con Pino Canario (*Pinus canariensis*), así como matorral degradado y áreas de uso agrícola. Y, por último, el sector sur/sureste, por vegetación de Matorral Costero, en su mayoría la comunidad tabaibal dulce-cardonal intercalado con bosques y repoblaciones de Pino Canario.

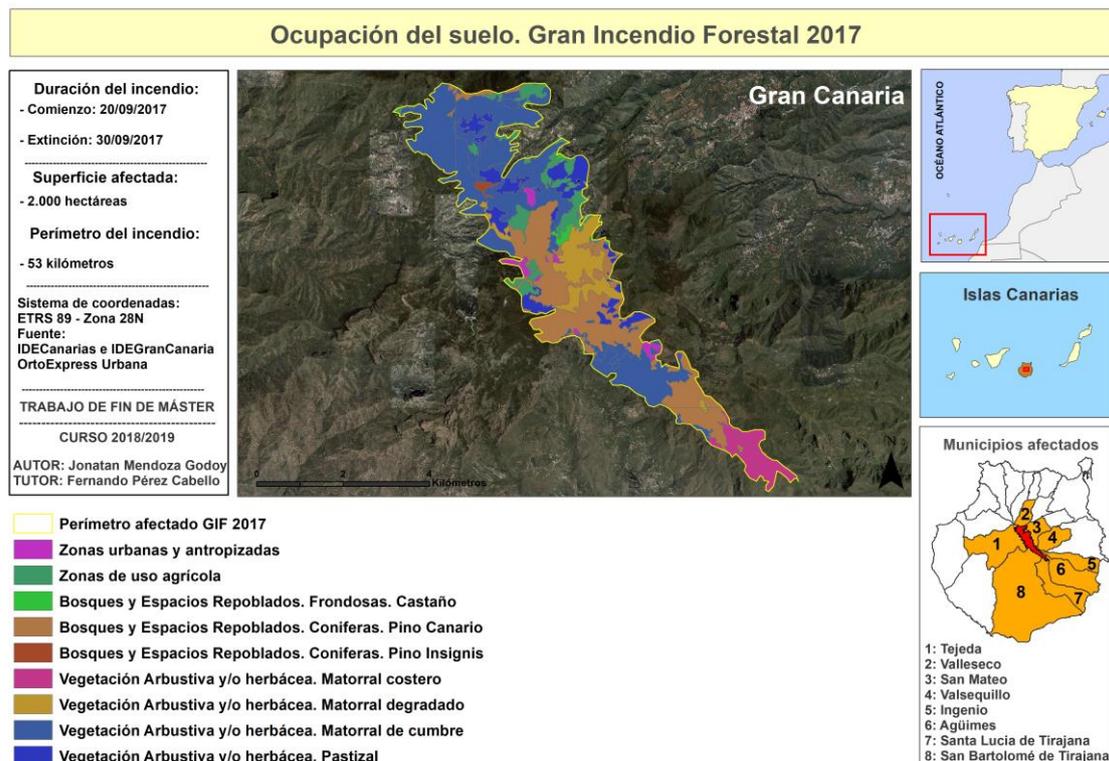


Figura 47: Distribución espacial de la ocupación del suelo en el área afectada por el Gran Incendio Forestal ocurrido en Gran Canaria en 2017. Fuente: IDEGranCanaria e IDECanarias (Elaboración propia).

Como se observa en la Figura 48, casi la mitad de la superficie del área afectada por el GIF de 2017 se corresponde con vegetación arbustiva y/o herbácea, matorral de cumbre, mientras que el 23,5% con bosques y espacios repoblados de Pino Canario, por lo tanto, el 66,4% de la superficie se corresponde con áreas de Pinar y matorral de cumbre. Por su parte, el resto de las categorías están distribuidas casi homogéneamente por toda el área, siendo el Matorral degradado y el pastizal las mayoritarias.

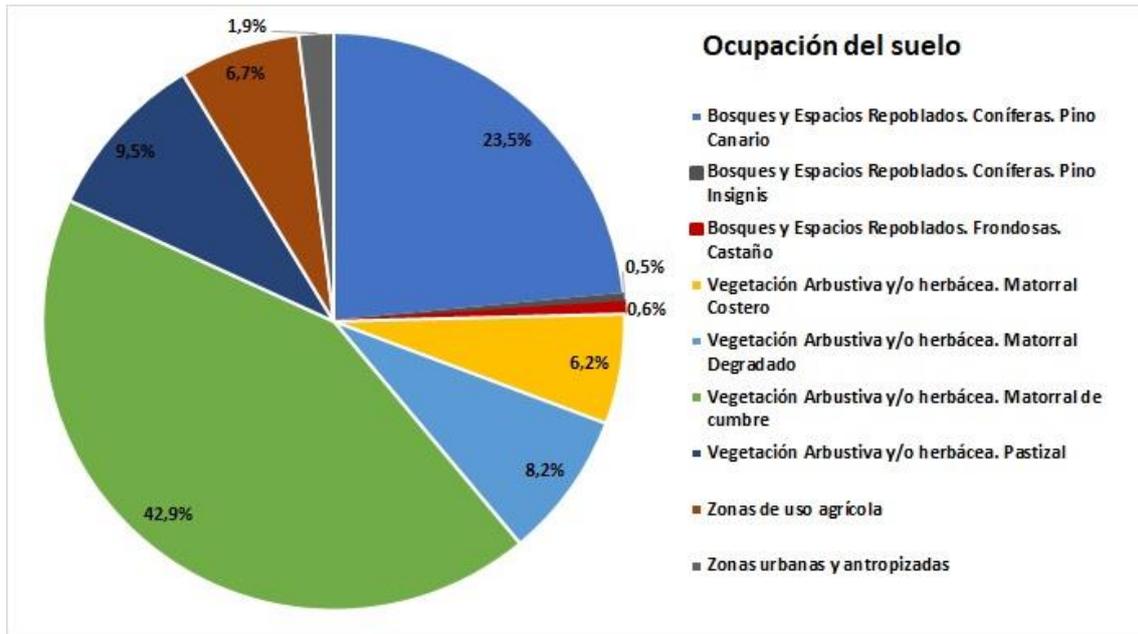


Figura 48: Distribución de la ocupación del suelo en el Gran Incendio Forestal de 2017. Fuente: Elaboración propia.

Como en se puede apreciar en la Figura 49, hay una gran variabilidad entre las distintas categorías. La media en todas las categorías se sitúa entre 200 y 300, correspondiéndose con niveles de muy baja y baja severidad. Por su parte, los parámetros de dispersión también son muy variables; los rangos inter-cuartil presentan una gran variabilidad, siendo los bosques y espacios repoblados de Pino Canario y en el Matorral de cumbre donde se encuentran los valores máximos de severidad, por su parte, los bosques y espacios repoblados de Pino Insignis es la categoría que menor variabilidad presenta.

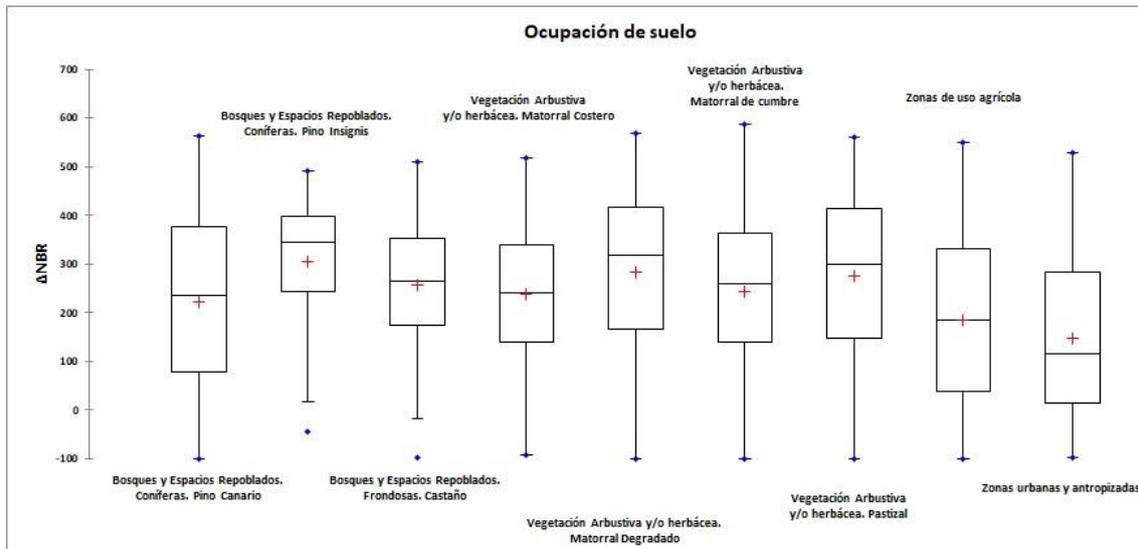


Figura 49: Distribución de los valores de severidad (Δ NBR) en relación con el factor ocupación del suelo en el Gran Incendio Forestal de 2017. Fuente: Elaboración propia

Según lo expuesto en la Tabla 20, una vez realizado el análisis ANOVA, se han generado cuatro grupos, encontrándose diferencias estadísticamente significativas entre la mayoría de los pares (p -value<0.05), presentando una gran variabilidad. El Pino Insignis, el Matorral Degradado y el Pastizal son los que presentan una severidad mayor, agrupándose en el grupo A. Por su parte, las zonas de uso agrícola y urbanas fueron las categorías en las que se registraron los niveles más bajos de severidad por lo que no se asemejan a ninguna del resto de las categorías.

Categoría	Media estimada	Error estándar	Grupos			
Bosques y Espacios Repoblados. Coníferas. Pino Insignis	304,612	16,674	A			
Vegetación Arbustiva y/o herbácea. Matorral Degradado	282,747	3,908	A			
Vegetación Arbustiva y/o herbácea. Pastizal	274,488	3,638	A			
Bosques y Espacios Repoblados. Frondosas. Castaño	256,597	13,927	A	B		
Vegetación Arbustiva y/o herbácea. Matorral de cumbre	244,375	1,709		B		
Vegetación Arbustiva y/o herbácea. Matorral Costero	237,537	4,510		B		
Bosques y Espacios Repoblados. Coníferas. Pino Canario	222,527	2,309		B		
Zonas de uso agrícola	185,981	4,316			C	
Zonas urbanas y antropizadas	148,740	8,041				D

Tabla 23: Resumen del análisis de las diferencias por pares correspondiente al factor ocupación del suelo con intervalos de confianza (95%) (GIF 2017). Fuente: Elaboración propia

6.3.2.4 Materia orgánica

En la Figura 50 podemos apreciar el patrón espacial que sigue la distribución de la materia orgánica en el área afectada por el GIF de 2017; la categoría moderada-baja abarca un sector amplio dentro del área de estudio, siendo mayoritaria en gran parte del ámbito, encontrándose ampliamente distribuida por toda el área de estudio. Por otro lado, los valores

más elevados de materia orgánica se localizan en el extremo este, mientras que la categoría moderada-baja en los dos extremos, tanto en el este como en el oeste. Por último, la materia orgánica con valores bajos se localiza mayoritariamente en el sector central.

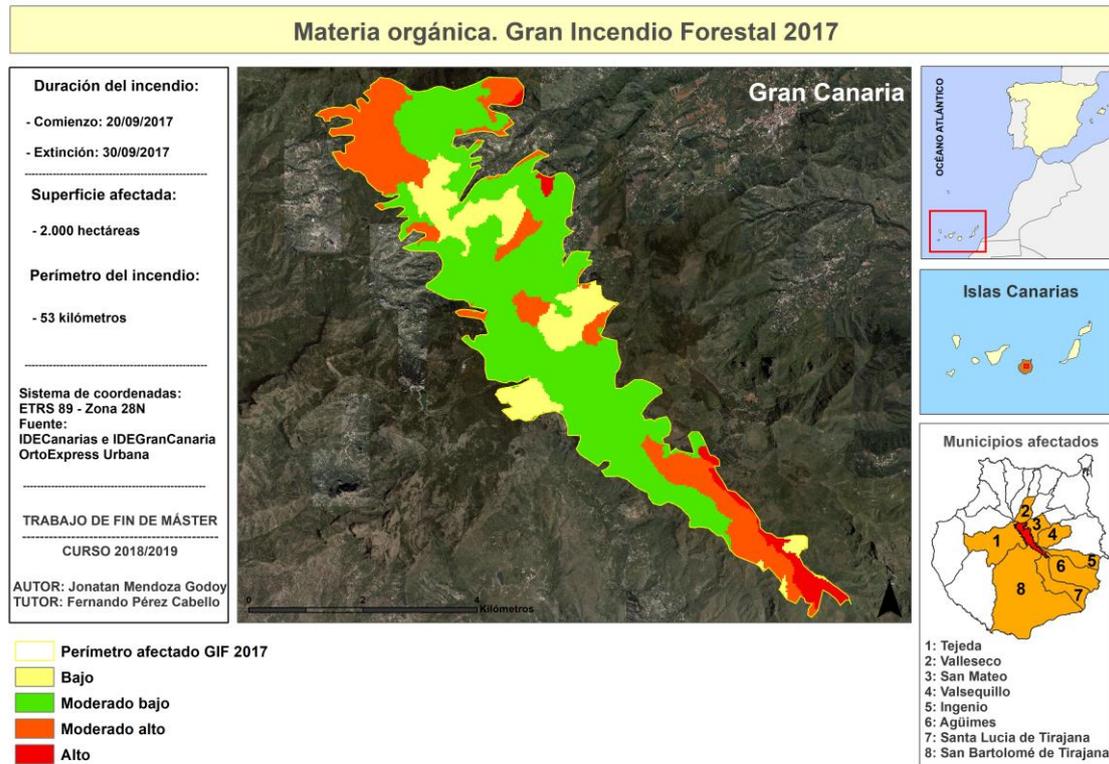


Figura 50: Distribución espacial de la materia orgánica en el área afectada por el Gran Incendio Forestal ocurrido en Gran Canaria en 2017. Fuente: IDEGranCanaria e IDECanarias (Elaboración propia).

Por su parte, la distribución de cada categoría de materia orgánica se expone en la Figura 51, y, como se observa, más de la mitad del área afectada por el GIF (57%) presenta valores moderados-bajos de materia orgánica, mientras que el 24% se corresponde con valores moderados-altos, por lo que el 81% de la superficie presenta unos valores moderados. Por su parte, el 19% restante se corresponde con un 15% con materia orgánica baja y un 4% alta.

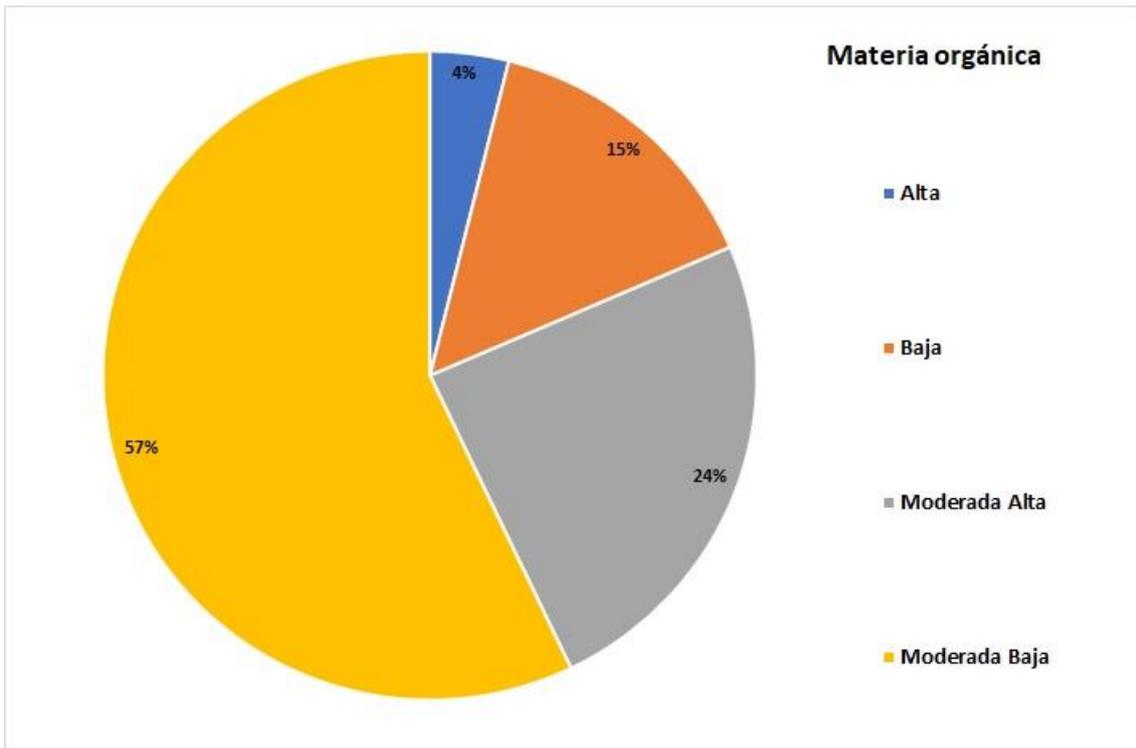


Figura 51: Distribución de la materia orgánica en el Gran Incendio Forestal de 2017. Fuente: Elaboración propia.

Según lo expuesto en la Figura 52, hay una cierta variabilidad de la severidad en las distintas categorías de materia orgánica. Las categorías moderada baja y baja son las que presentan los valores máximos de severidad, en torno a 550 (moderada-alta severidad), mientras que todas las categorías establecen sus valores más bajos en -100. Por otro lado, todas las categorías presentan una dispersión similar, estando la media situada entre 200 y 300, correspondiéndose con niveles de baja severidad y moderada-baja severidad.

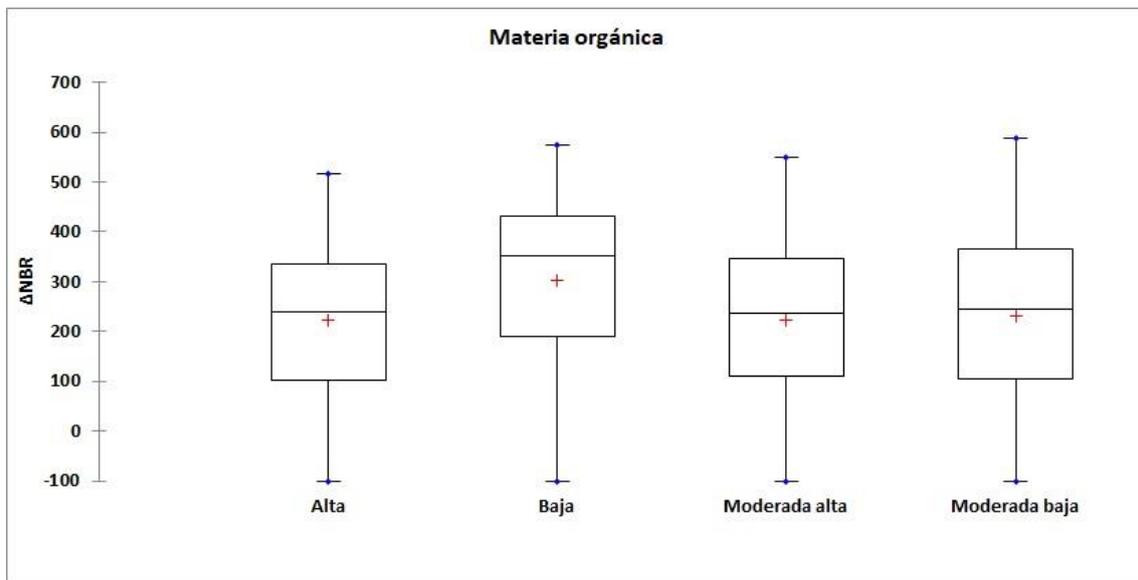


Figura 52: Distribución de los valores de severidad (Δ NBR) en relación con el factor materia orgánica en el Gran Incendio Forestal de 2017. Fuente: Elaboración propia

Se han identificado tres grupos que presentan un comportamiento similar en relación con los niveles de severidad registrados. Lo que demuestra cierta variabilidad de las distintas categorías de materia orgánica en relación con la severidad. Por lo tanto, se han encontrado diferencias estadísticamente significativas entre ellas (p -value<0.05). Por su parte, el grupo A es el que presenta la media de valores de severidad más alta, correspondiéndose sorprendentemente con la categoría baja. Por otra parte, los valores más bajos lo presentan las categorías alta y moderada-alta. Por consiguiente, se concluye que existe diferencias significativas entre las diferentes categorías.

Categoría	Media estimada	Error estándar	Grupos		
Baja	302,528	2,927	A		
Moderada baja	231,047	1,482		B	
Moderada alta	223,646	2,268			C
Alta	222,889	5,681			C

Tabla 24: Resumen del análisis de las diferencias por pares correspondiente al factor materia orgánica con intervalos de confianza (95%) (GIF 2017). Fuente: Elaboración propia

6.3.2.5 Espacios naturales protegidos

La Figura 53 muestra el patrón espacial que sigue la distribución espacial de los cuatro Espacios Naturales Protegidos afectados por el GIF de 2017. El paisaje Protegido de Las Cumbres es el que abarca la mayoría de la superficie, extendiéndose por el sector norte. El Parque Rural del Nublo presenta una disposición semejante, abarcando el sector sur/suroeste

del ámbito. Por último, la Reserva Natural Especial de Los Marteles y el Monumento Natural Riscos de Tirajana se encuadran en la parte sur/sureste del ámbito.

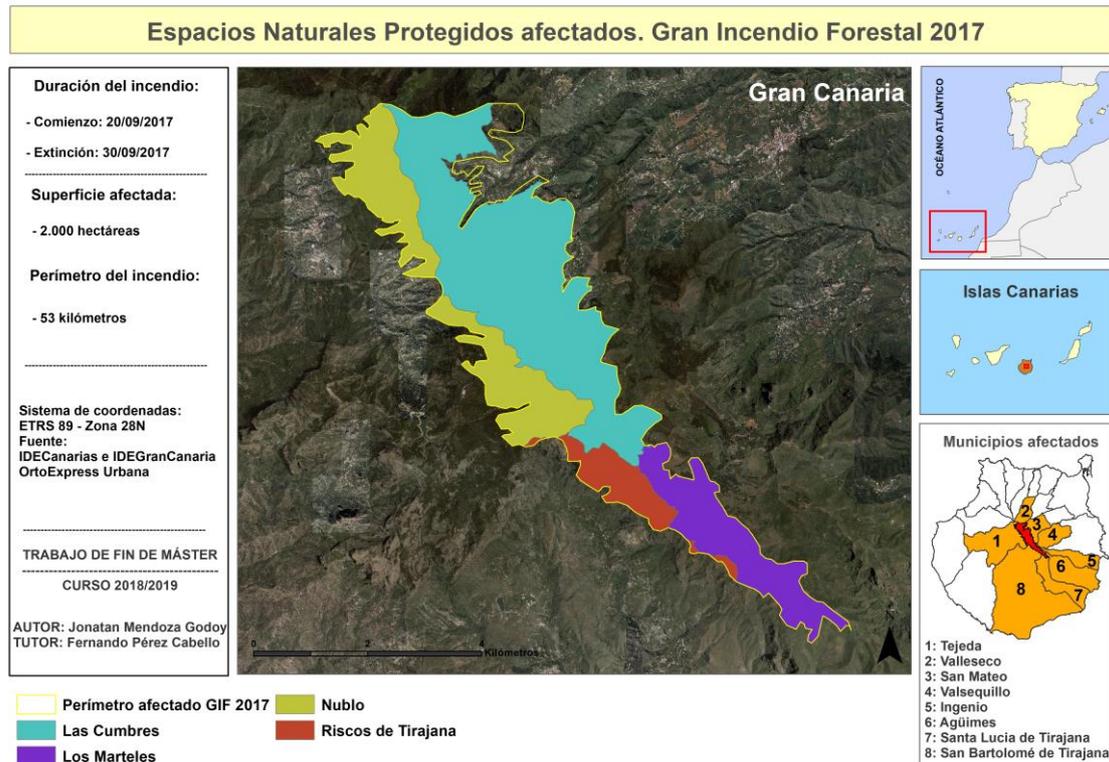


Figura 53: Distribución espacial de los Espacios Naturales Protegidos presentes en el área afectada por el Gran Incendio Forestal ocurrido en Gran Canaria en 2017. Fuente: IDEGranCanaria e IDECanarias (Elaboración propia).

La Figura 54 muestra la distribución de los diferentes Espacios Naturales Protegidos, y, como se observa, el Espacio Natural Protegido con una mayor presencia en el ámbito es el Paisaje Protegido de las Cumbres con 51% del total, seguido del Parque Rural del Nublo que representa el 22% del área. Por lo tanto, el 73% de la superficie del área afectada por el incendio estaría ocupada por estos dos Espacios Naturales Protegidos. Por otro lado, la Reserva Natural Especial de los Marteles también ocupa una parte importante del ámbito, localizándose en el 16% del área. Destacar que solamente el 3% de toda el área afectada no se encuentra bajo ninguna categoría de protección.

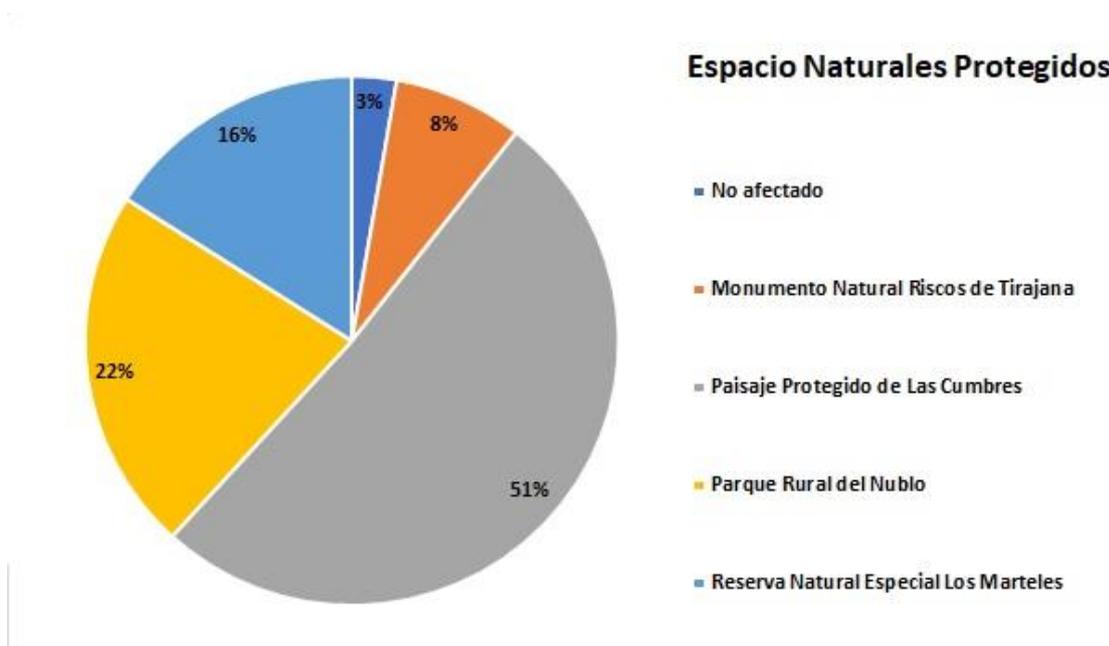


Figura 54: Distribución de los Espacios Naturales Protegidos en el Gran Incendio Forestal de 2017. Fuente: Elaboración propia.

A partir de lo expuesto en la Figura 55, existe una gran variabilidad de los valores de severidad en relación con los distintos Espacios Naturales Protegidos. Sobre todo, en el Paisaje Protegido de Las Cumbres, que presenta los valores más altos correspondiéndose con niveles de severidad moderados-altos. Por su parte, las medias oscilan entre 50 y 250 aproximadamente (muy baja y baja severidad),

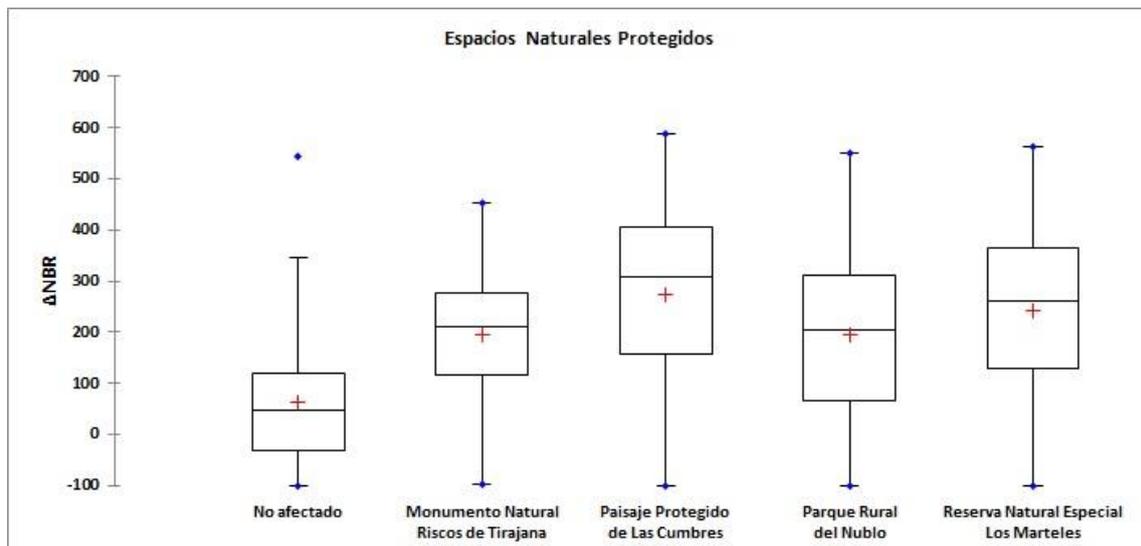


Figura 55: Distribución de los valores de severidad (ΔNBR) en relación con el factor Espacios Naturales Protegidos en el Gran Incendio Forestal de 2017. Fuente: Elaboración propia

En la tabla 25 se reconocen los cuatro grupos que presentan un comportamiento similar en relación con los niveles de severidad registrados. Por lo tanto, se han encontrado diferencias estadísticamente significativas entre la mayoría de las categorías ($p\text{-value}<0.05$), presentando una gran variabilidad. Las áreas que no están afectadas por Espacios Naturales Protegidos (-9999) son las que presentan los niveles de severidad más bajos, pudiendo estar relacionado con la menor concentración de materia orgánica y de vegetación de estas áreas, con respecto a los Espacios Naturales Protegidos.

Categoría	Media estimada	Error estándar	Grupos			
-9999	64,497	6,633	A			
Monumento Natural Riscos de Tirajana	194,674	3,883		B		
Parque Rural del Nublo	195,571	2,311		B		
Reserva Natural Especial Los Marteles	241,213	2,724			C	
Paisaje Protegido de Las Cumbres	273,960	1,523				D

Tabla 25: Resumen del análisis de las diferencias por pares correspondiente al factor Espacios Naturales Protegidos con intervalos de confianza (95%) (GIF 2017). Fuente: Elaboración propia

6.3.2.6 Precipitación

En la Figura 56 se aprecia el patrón espacial de la precipitación en el área afectada por el GIF de 2007; podemos observar la relación entre la altitud y la precipitación, aumentando ésta a medida que aumenta la altitud. En este sentido, la precipitación del ámbito se distribuye en dos categorías, (1) media-alta precipitación de 501 a 700 mm y (2) alta precipitación de 701 a 900 mm, presentando unos valores altos. Esta última categoría se distribuye sobre todo por el sector central del área, mientras que la media-alta precipitación se localiza principalmente en los extremos este y oeste del ámbito.

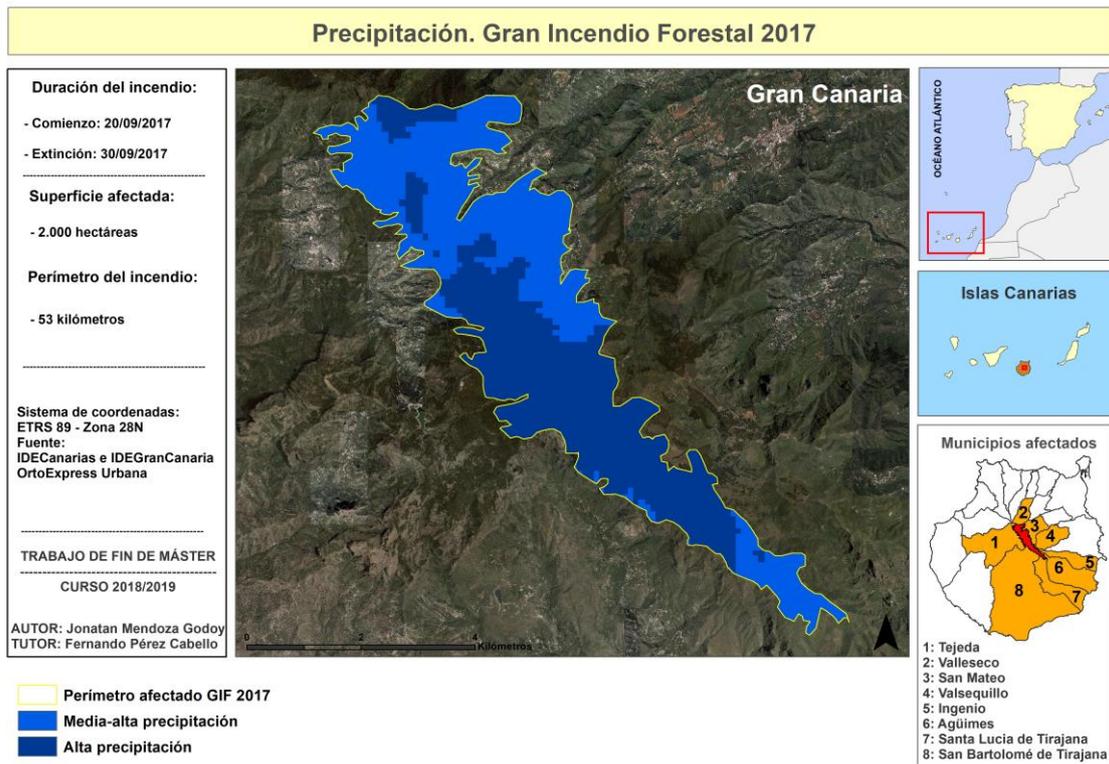


Figura 56: Distribución espacial de la precipitación presente en el área afectada por el Gran Incendio Forestal ocurrido en Gran Canaria en 2017. Fuente: IDEGranCanaria e IDECanarias (Elaboración propia).

Por su parte, las dos categorías se distribuyen de manera homogénea por el ámbito de afección del GIF de 2017, abarcando la mitad de la superficie cada una. Con el 51% a media-alta precipitación y el 49% la alta precipitación.

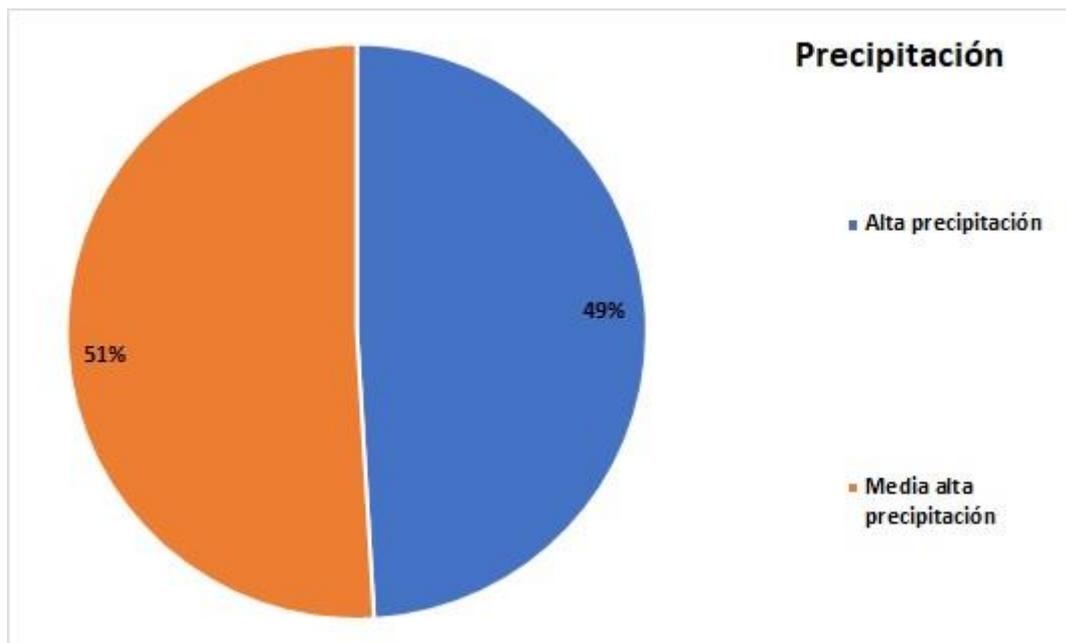


Figura 57: Distribución de la precipitación en el Gran Incendio Forestal de 2017. Fuente: Elaboración propia.

Según lo expuesto en la Figura 58, existe una gran homogeneidad de los valores de severidad en relación con las distintas categorías de precipitación, estando la media de las dos categorías sobre los 200 (baja severidad), y presentando una dispersión de los datos similar. Por su parte, los valores más altos se encuentran sobre los 550 (moderada-alta severidad) y lo más bajos en -100.

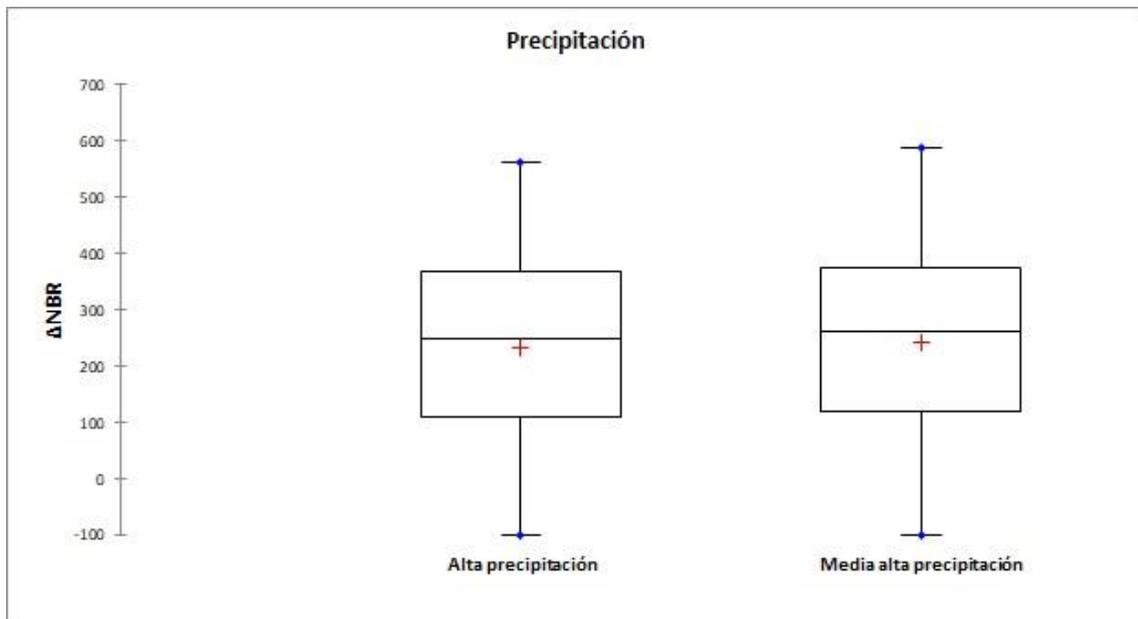


Figura 58: Distribución de los valores de severidad (ΔNBR) en relación con el factor Espacios Naturales Protegidos en el Gran Incendio Forestal de 2017. Fuente: Elaboración propia.

Una vez realizado el análisis de las diferencias por pares respecto al factor precipitación se han generado dos grupos, uno por cada categoría, que presentan un comportamiento similar en relación con los niveles de severidad registrados. Por lo tanto, se han encontrado diferencias estadísticamente significativas en las dos categorías ($p\text{-value} < 0.05$). Sin embargo, la media estimada de severidad de las dos categorías presenta prácticamente los mismos valores, encuadrándose las dos en niveles de baja severidad.

Categoría	Media estimada	Error estándar	Grupos
Media alta precipitación	244,178	1,590	A
Alta precipitación	234,413	1,620	B

Tabla 26: Resumen del análisis de las diferencias por pares correspondiente al factor precipitación con intervalos de confianza (95%) (GIF 2017). Fuente: Elaboración propia.

6.3.2.7 *Espesor de suelo*

En la Figura 59 podemos apreciar que el patrón espacial que sigue la distribución del espesor del suelo es bastante heterogéneo; siendo la categoría moderado-alto la más distribuida por toda el área. Por su parte, el espesor de suelo con valores altos se concentra en el sector sureste, a su vez, la categoría moderado-bajo también presenta una amplia distribución, concentrándose en el sector central. Por lo tanto, los valores moderados son los que predominan en el ámbito analizado.

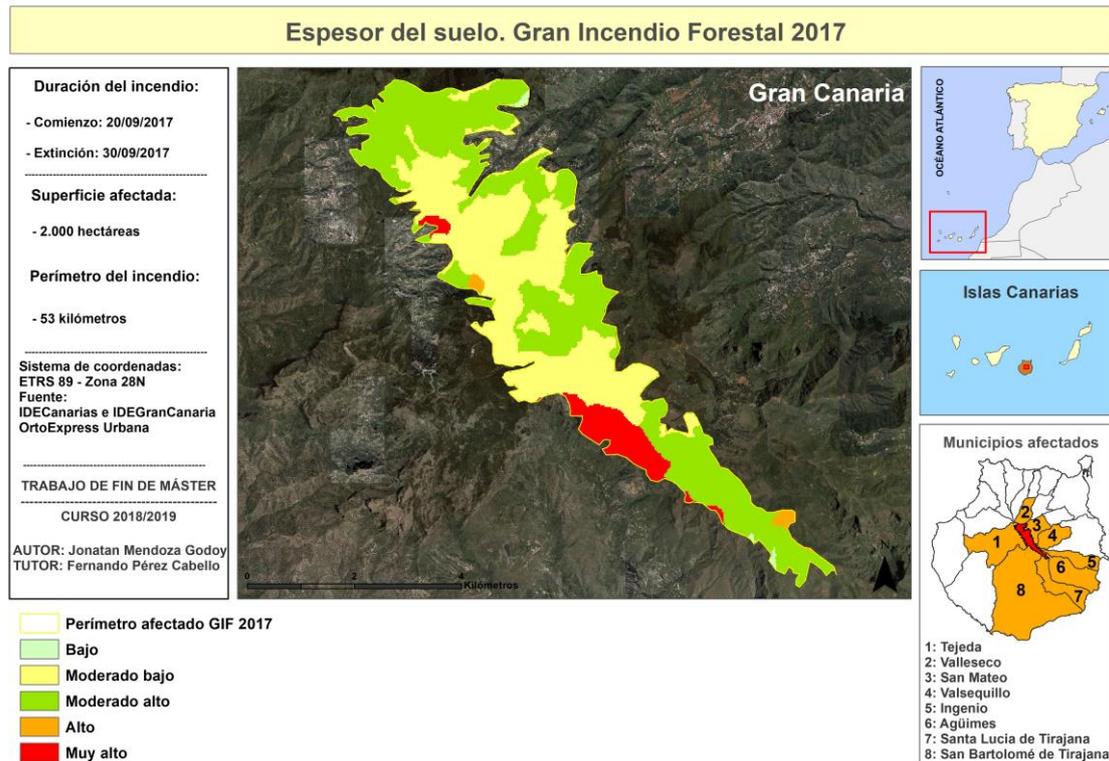


Figura 59: Distribución espacial del espesor de suelo presente en el área afectada por el Gran Incendio Forestal ocurrido en Gran Canaria en 2017. Fuente: IDEGranCanaria e IDECanarias (Elaboración propia).

La Figura 60 muestra la distribución de las diferentes categorías de espesor de suelo, como se observa, más de la mitad del área afectada por el GIF (50,62%) presenta valores moderados-altos, en este sentido el 39,78% del área presenta un espesor de suelo moderado-bajo. Por lo tanto, un 90% del ámbito afectado posee un espesor de suelo con valores moderados. Por el contrario, el 7,69 % se correspondería con la categoría muy alto (9,88%), presentando el resto de las categorías valores muy bajos.

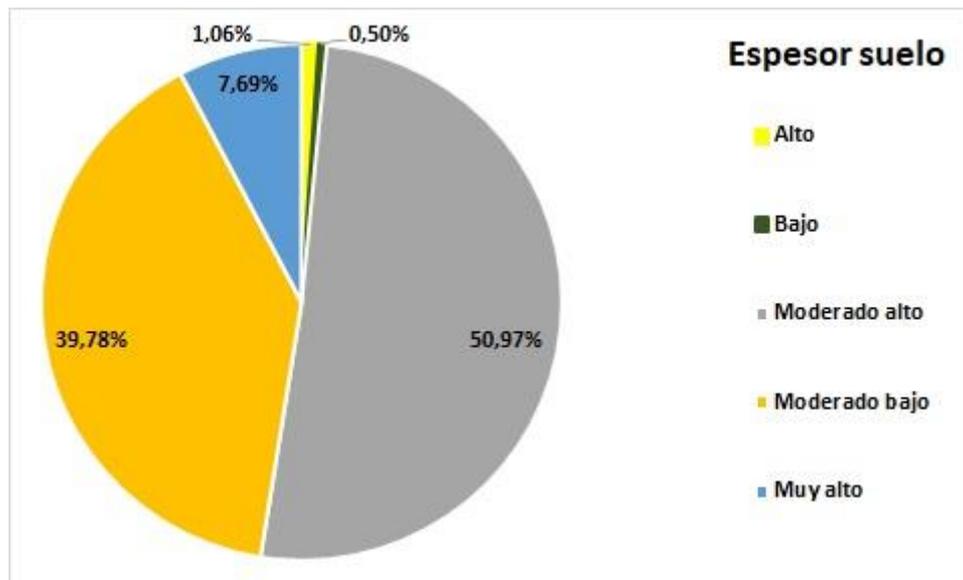


Figura 60: Distribución de la precipitación en el Gran Incendio Forestal de 2017. Fuente: Elaboración propia.

A partir de lo expuesto en la Figura 61, existe una gran variabilidad entre las distintas categorías de espesor de suelo. Presentando los valores máximos la categoría moderado-alto espesor de suelo, así como los registros más bajos. Por otro lado, la media en todas las categorías también presenta una gran variabilidad, concentrándose en torno a 70 y 250 (muy baja severidad a baja severidad). Por su parte, la categoría que presenta menor dispersión de los datos es “bajo” agrupándose el 50% de sus valores entre 50 y 100.

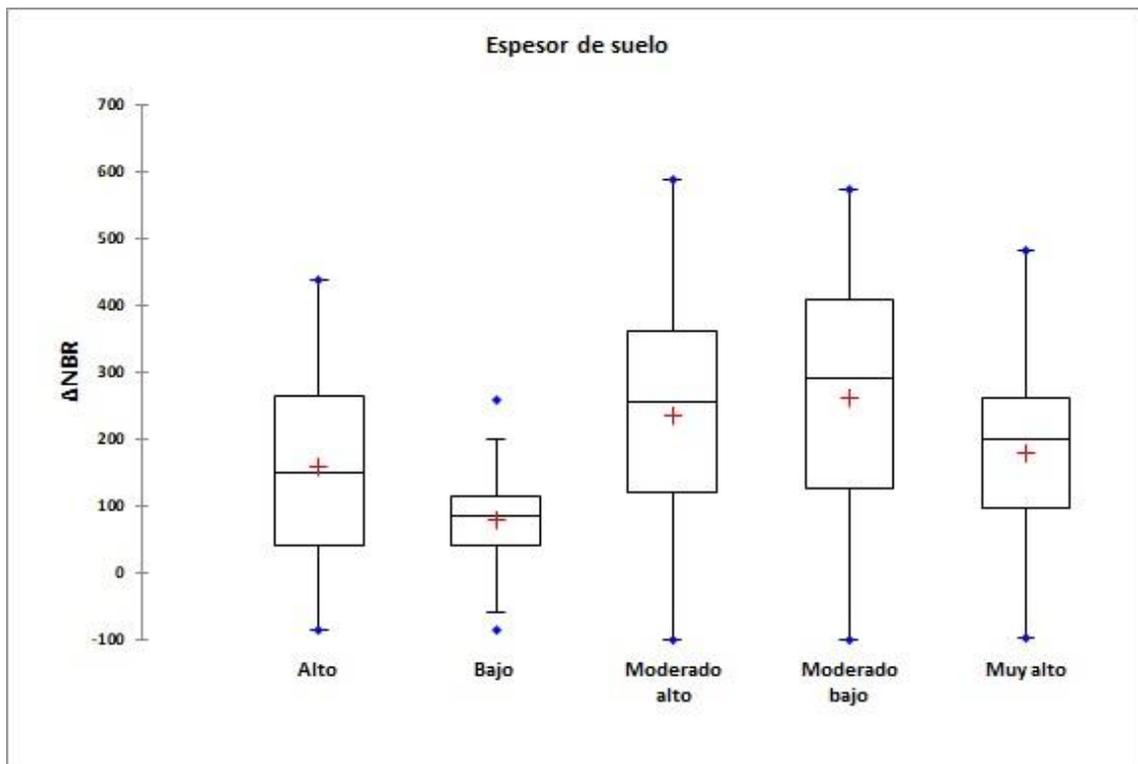


Figura 61: Distribución de los valores de severidad (Δ NBR) en relación con el espesor de suelo en el Gran Incendio Forestal de 2017. Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la Tabla 27, una vez realizado el análisis de las diferencias por pares respecto al factor espesor de suelo se han generado cuatro grupos que presentan un comportamiento similar en relación con los niveles de severidad registrados. Por lo tanto, se han encontrado diferencias estadísticamente significativas entre la gran mayoría de las categorías (p -value<0.05), presentando una gran variabilidad. Los valores más altos los encontramos en la categoría moderado-bajo, por su parte, la categoría bajo es la que presenta los niveles más bajos de severidad. Las categorías muy alto y alto no poseen diferencias significativas, adquiriendo un comportamiento similar.

Categoría	Media estimada	Error estándar	Grupos			
Moderado bajo	260,399	1,777	A			
Moderado alto	235,372	1,569		B		
Muy alto	179,064	4,040			C	
Alto	156,956	10,901			C	
Bajo	79,525	15,834				D

Tabla 27: Resumen del análisis de las diferencias por pares correspondiente al factor espesor suelo con intervalos de confianza (95%) (GIF 2017). Fuente: Elaboración propia

6.3.2.8 Actividad fotosintética/recubrimiento vegetal (NDVI) previo al incendio

Como se observa en la Figura 62, el patrón espacial que sigue la distribución del NDVI previo al incendio es bastante homogéneo, sobresaliendo la categoría muy alta (>0,6) y alta (0,4 a 0,6). Estas dos categorías se concentran principalmente por el sector central y este del ámbito. Por su parte, la categoría media alta (0,3 a 0,4) también se encuentra ampliamente distribuida por el área de estudio. Mientras que por los dos extremos prevalece los valores de actividad fotosintética medios (0,2 a 0,3) y bajos (0,1 a 0,2).

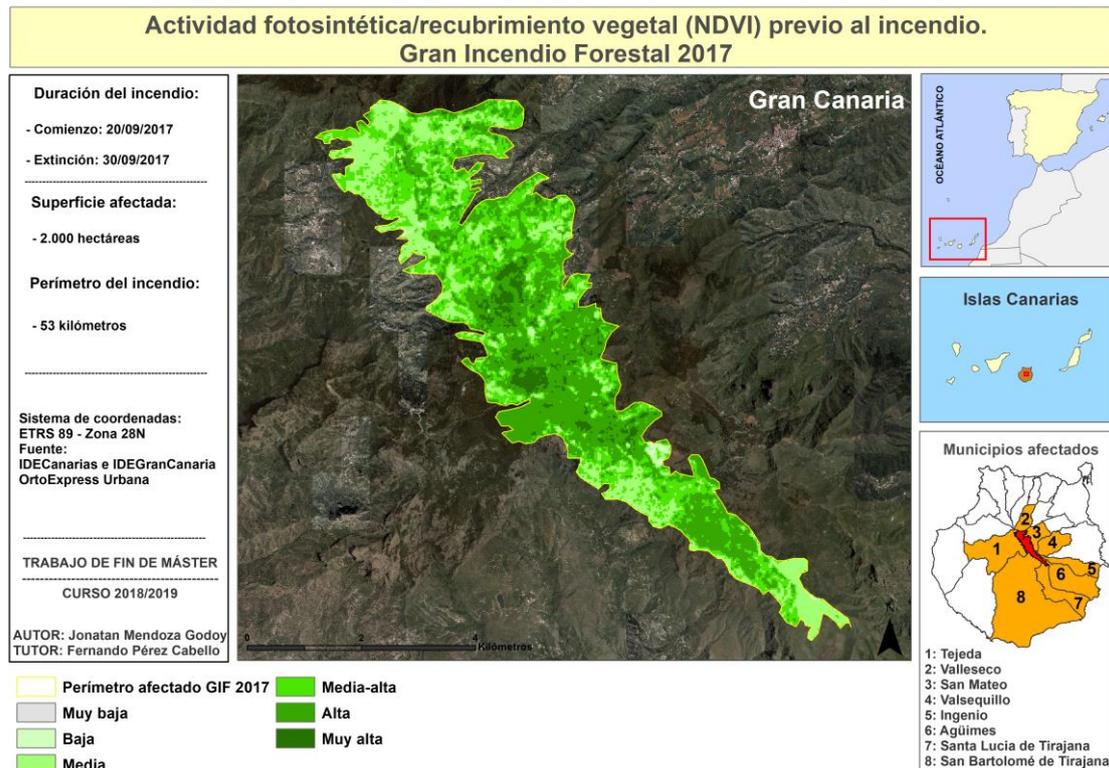


Figura 62: Distribución espacial del NDVI previo presente en el área afectada por el Gran Incendio Forestal ocurrido en Gran Canaria en 2017. Fuente: IDEGranCanaria e IDECanarias (Elaboración propia).

En este caso, como se observa en la Figura 63, la relación es a la inversa, ya que se categorizan los niveles de severidad, y se compara con los valores continuos del NDVI. En este sentido, hay una cierta variabilidad entre las distintas categorías de severidad, sobre todo si comparamos la categoría baja severidad (100 a 269) y muy baja severidad (-100 a 99). Presentando los valores máximos y mínimos la categoría muy baja severidad, oscilando entre 0,1 y 0,75. La media de todas las categorías se sitúa entre 0,3 y 0,4 aproximadamente.

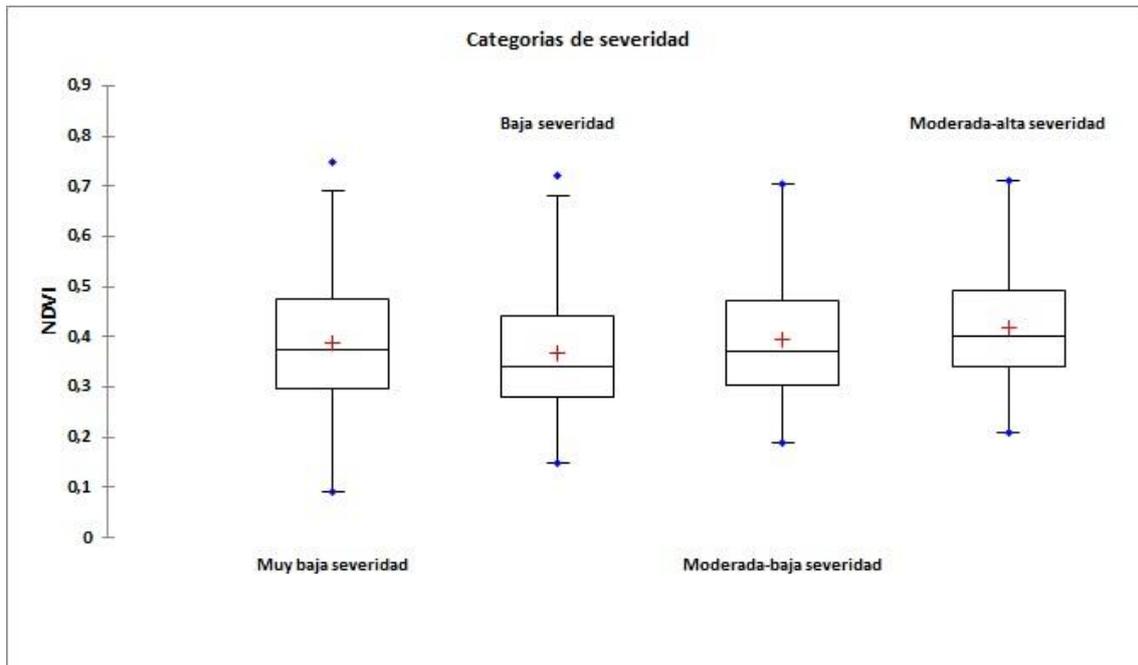


Figura 63: Distribución de los valores de la actividad fotosintética (NDVI) en relación con la severidad en el Gran Incendio Forestal de 2017 Fuente: Elaboración propia.

Según lo expuesto en la Tabla 28, una vez realizado el análisis de las diferencias por pares, se han generado cuatro grupos que presentan un comportamiento similar en relación con los niveles de actividad fotosintética registrados. Por lo tanto, se han encontrado diferencias estadísticamente significativas entre todas las categorías ($p\text{-value} < 0.05$), presentando una gran variabilidad. Los valores más altos los encontramos en la categoría 4 (moderada-alta severidad), mientras que la categoría 2 (baja severidad) los valores más bajos. Estos datos nos advierten de que a mejor estado de la vegetación pre-incendio, mayor severidad y viceversa.

Categoría	Media estimada	Error estándar	Grupos			
2	0,367	0,001	A			
1	0,386	0,002		B		
3	0,394	0,001			C	
4	0,419	0,002				D

Tabla 28: Resumen del análisis de las diferencias por pares correspondiente al factor severidad con intervalos de confianza (95%) (GIF 2017). Fuente: Elaboración propia

7 CONSIDERACIONES FINALES Y CONCLUSIONES

La Teledetección a través de imágenes satélite proporciona una información muy útil para la delimitación y evaluación de las áreas quemadas. En este sentido, este TFM ha servido para analizar las características, en términos de severidad, en dos de los últimos GIF ocurridos en Gran Canaria, y de conocer la manera en la que intervienen en su distribución factores estructurales tales como la vegetación afectada (analizada en términos fisionómicos y taxonómicos), el tipo de ocupación y protección del territorio, variables climáticas y relacionadas con suelo y con la morfología topográfica (espesor edáfico y materia orgánica; pendiente topográfica).

En términos generales, los dos GIF analizados presentan unos valores de severidad *moderada-baja* según la clasificación elaborada por Key y Benson (2006). A pesar de los escenarios de moderada severidad que se han recogido mediante la aplicación del ΔNBR utilizando las imágenes Landsat, se han podido identificar diferencias significativas entre categorías de la mayoría de las variables ambientales consideradas. En este sentido, dichas variables estructurales explican parcialmente la magnitud y distribución de la severidad. Todo ello, como se ha señalado anteriormente, a pesar del escaso rango de severidad encontrado en el GIF de 2017 y, especialmente, en el de 2007.

De lo anterior se deriva también que, la clasificación propuesta por Key y Benson (2006), no se ajusta de manera precisa a las características biogeográficas y a los tipos y modelos de distribución de las comunidades de vegetación del archipiélago. Por tanto, urgen nuevos enfoques o modelos de categorización del ΔNBR o de métricas similares, para los sistemas forestales subtropicales como los de las Islas Canarias.

Entre los factores considerados en este trabajo, hay que destacar por el mayor control que ejercen sus categorías sobre la severidad, la mayor parte de las variables relacionadas con la cantidad y el tipo de combustible afectado, es decir, la ocupación del territorio y el tipo de vegetación. Por el otro lado, la actividad fotosintética de la vegetación previa analizada con el NDVI, el espesor edáfico o la precipitación no han jugado un papel relevante tal y como se desprende de la menor entidad de las diferencias entre las categorías de estos factores.

En lo que respecta a la componente aplicada de este TFM, como se ha podido comprobar, la Teledetección y los SIG constituyen una herramienta eficaz a la hora de analizar y cartografiar la severidad en los incendios forestales, proporcionando alternativas de gestión sobre las áreas quemadas. Por lo tanto, se recomienda su uso a la hora de diseñar

las directrices de gestión forestal; en este sentido, la Administración competente encargada de la gestión de los espacios forestales tienen al alcance de su mano una herramienta muy potente para emitir diagnósticos, en contexto de urgencia, sobre los efectos del fuego en términos de severidad.

En las Islas Canarias y, en particular en Gran Canaria, son escasos los trabajos relacionados con el análisis de la severidad de los incendios forestales a través de imágenes de satélite, en combinación con los factores estructurales que la explican, y de las medidas de restauración hidrológico-forestal post-incendio que podría aplicarse. En parte esto puede explicarse porque la normativa Canaria de Incendios Forestales centra su atención en la prevención, extinción, protección y defensa contra los incendios, y no tanto en el tipo de restauración forestal que debería aplicarse para minimizar los efectos negativos del fuego. En consecuencia, estudios como este Trabajo Fin de Máster favorecen el desarrollo de criterios para la aplicación de medidas de control y restauración hidrológico-forestal.

La metodología llevada a cabo proporcionó resultados fiables y de gran utilidad para los objetivos marcados para este Trabajo Fin de Máster; (1) delimitación del perímetro afectado, (2) cartografía de la severidad e (3) identificación de los factores de carácter estructural que explican los diferentes niveles de severidad. En resumen, las principales conclusiones obtenidas durante el desarrollo del presente trabajo, se puede resumir en los siguientes puntos:

1. La metodología desarrollada basada en el tratamiento digital de imágenes de satélite ha permitido la delimitación y el análisis de la distribución espacial de la severidad en los Grandes Incendios Forestales de Gran Canaria ocurridos entre 2007 y 2017. No obstante, se han detectado problemas en la delimitación del perímetro en zonas de baja severidad debido a su respuesta espectral y a las propiedades ópticas de las comunidades vegetales de las zonas no afectadas. Así mismo, la disponibilidad de imágenes cercanas en el tiempo al momento del fuego constituye un elemento a tener en cuenta a la hora de aplicar índices espectrales de severidad.
2. En líneas generales, y según las categorías recogidas en Key y Benson (2006), los GIF analizados presentan niveles de severidad entre las categorías Baja y Moderada, aunque en el GIF-2017 se identifican registros que alcanzan la categoría Moderada-Alta.

3. Los factores estructurales con mayor influencia en la distribución espacial de la severidad fueron la Ocupación del suelo y la Pendiente topográfica para el GIF-2007 y las Comunidades Vegetales, los Espacios Naturales Protegidos, el Espesor de Suelo y la Ocupación de suelo en el caso del GIF-2017.
4. La cartografía de severidad ofrece la posibilidad de planificar con mayor rigor y precisión espacial qué áreas y con qué intensidad podrían aplicarse medidas para reducir los efectos negativos del fuego.

8 ANEXOS

Contraste	Diferencia	Significativo
Muy acentuada vs Zona llana	22,054	Si
Muy acentuada vs Suave	20,587	Si
Muy acentuada vs Moderada	9,992	Si
Muy acentuada vs Zonas escarpadas	9,419	Si
Muy acentuada vs Acentuada	1,883	Si
Acentuada vs Zona llana	20,170	Si
Acentuada vs Suave	18,703	Si
Acentuada vs Moderada	8,109	Si
Acentuada vs Zonas escarpadas	7,536	Si
Zonas escarpadas vs Zona llana	12,634	Si
Zonas escarpadas vs Suave	11,168	Si
Zonas escarpadas vs Moderada	0,573	No
Moderada vs Zona llana	12,061	Si
Moderada vs Suave	10,594	Si
Suave vs Zona llana	1,467	No

Análisis de las diferencias por pares correspondientes al factor pendiente topográfica con intervalos de confianza (95%) (GIF 2007). Fuente: Elaboración propia

Contraste	Diferencia	Significativo
Pinar vs Complejo de vegetación de ramblas secas del desierto. Gran Canaria	19,851	Si
Pinar vs Tabaibal dulce	17,897	Si
Pinar vs Cardonal	12,441	Si
Pinar vs Palmeral Canario	10,381	Si
Pinar vs Vegetación rupícola	9,217	Si
Pinar vs Sabinar	8,784	Si
Pinar vs Vegetación de ribera e hidrófitos	5,799	No
Vegetación de ribera e hidrófitos vs Complejo de vegetación de ramblas secas del desierto. Gran Canaria	14,052	Si
Vegetación de ribera e hidrófitos vs Tabaibal dulce	12,098	Si
Vegetación de ribera e hidrófitos vs Cardonal	6,642	Si
Vegetación de ribera e hidrófitos vs Palmeral Canario	4,582	No
Vegetación de ribera e hidrófitos vs Vegetación rupícola	3,418	No
Vegetación de ribera e hidrófitos vs Sabinar	2,985	No
Sabinar vs Complejo de vegetación de ramblas secas del desierto. Gran Canaria	11,067	No
Sabinar vs Tabaibal dulce	9,113	Si
Sabinar vs Cardonal	3,657	Si
Sabinar vs Palmeral Canario	1,597	No
Sabinar vs Vegetación rupícola	0,433	No
Vegetación rupícola vs Complejo de vegetación de ramblas secas del desierto. Gran Canaria	10,634	No
Vegetación rupícola vs Tabaibal dulce	8,680	Si
Vegetación rupícola vs Cardonal	3,224	No
Vegetación rupícola vs Palmeral Canario	1,164	No
Palmeral Canario vs Complejo de vegetación de ramblas secas del desierto. Gran Canaria	9,470	No
Palmeral Canario vs Tabaibal dulce	7,516	Si
Palmeral Canario vs Cardonal	2,060	No
Cardonal vs Complejo de vegetación de ramblas secas del desierto. Gran Canaria	7,410	No
Cardonal vs Tabaibal dulce	5,456	Si
Tabaibal dulce vs Complejo de vegetación de ramblas secas del desierto. Gran Canaria	1,954	No

Análisis de las diferencias por pares correspondientes al factor comunidades vegetales con intervalos de confianza (95%) (GIF 2007). Fuente: Elaboración propia

Contraste	Diferencia	Significativo
Bosques y Espacios Repoblados. Bosques termófilos vs Vegetación Arbustiva y/o herbácea. Pastizal	85,195	Si
Bosques y Espacios Repoblados. Bosques termófilos vs Zonas urbanas y antropizadas	70,518	Si
Bosques y Espacios Repoblados. Bosques termófilos vs Zonas de uso agrícola	39,355	Si
Bosques y Espacios Repoblados. Bosques termófilos vs Vegetación Arbustiva y/o herbácea. Matorral Costero	33,361	Si
Bosques y Espacios Repoblados. Bosques termófilos vs Vegetación Arbustiva y/o herbácea. Matorral degradado	30,885	Si
Bosques y Espacios Repoblados. Bosques termófilos vs Vegetación Arbustiva y/o herbácea. Matorral de cumbre	30,086	Si
Bosques y Espacios Repoblados. Bosques termófilos vs Agrícola. Cultivos abandonados	21,354	Si
Bosques y Espacios Repoblados. Bosques termófilos vs Bosques y Espacios Repoblados. Coníferas. Pino Canario	10,884	No
Bosques y Espacios Repoblados. Bosques termófilos vs Bosques y Espacios Repoblados. Frondosas	9,156	No
Bosques y Espacios Repoblados. Frondosas vs Vegetación Arbustiva y/o herbácea. Pastizal	76,038	Si
Bosques y Espacios Repoblados. Frondosas vs Zonas urbanas y antropizadas	61,362	Si
Bosques y Espacios Repoblados. Frondosas vs Zonas de uso agrícola	30,199	Si
Bosques y Espacios Repoblados. Frondosas vs Vegetación Arbustiva y/o herbácea. Matorral Costero	24,205	Si
Bosques y Espacios Repoblados. Frondosas vs Vegetación Arbustiva y/o herbácea. Matorral degradado	21,729	Si
Bosques y Espacios Repoblados. Frondosas vs Vegetación Arbustiva y/o herbácea. Matorral de cumbre	20,930	Si
Bosques y Espacios Repoblados. Frondosas vs Agrícola. Cultivos abandonados	12,198	Si
Bosques y Espacios Repoblados. Frondosas vs Bosques y Espacios Repoblados. Coníferas. Pino Canario	1,728	No
Bosques y Espacios Repoblados. Coníferas. Pino Canario vs Vegetación Arbustiva y/o herbácea. Pastizal	74,311	Si
Bosques y Espacios Repoblados. Coníferas. Pino Canario vs Zonas urbanas y antropizadas	59,634	Si
Bosques y Espacios Repoblados. Coníferas. Pino Canario vs Zonas de uso agrícola	28,471	Si
Bosques y Espacios Repoblados. Coníferas. Pino Canario vs Vegetación Arbustiva y/o herbácea. Matorral Costero	22,478	Si
Bosques y Espacios Repoblados. Coníferas. Pino Canario vs Vegetación Arbustiva y/o herbácea. Matorral degradado	20,001	Si
Bosques y Espacios Repoblados. Coníferas. Pino Canario vs Vegetación Arbustiva y/o herbácea. Matorral de cumbre	19,202	Si
Bosques y Espacios Repoblados. Coníferas. Pino Canario vs Agrícola. Cultivos abandonados	10,470	Si
Agrícola. Cultivos abandonados vs Vegetación Arbustiva y/o herbácea. Pastizal	63,841	Si
Agrícola. Cultivos abandonados vs Zonas urbanas y antropizadas	49,164	Si
Agrícola. Cultivos abandonados vs Zonas de uso agrícola	18,001	Si
Agrícola. Cultivos abandonados vs Vegetación Arbustiva y/o herbácea. Matorral Costero	12,008	Si
Agrícola. Cultivos abandonados vs Vegetación Arbustiva y/o herbácea. Matorral degradado	9,531	Si
Agrícola. Cultivos abandonados vs Vegetación Arbustiva y/o herbácea. Matorral de cumbre	8,732	Si
Vegetación Arbustiva y/o herbácea. Matorral de cumbre vs Vegetación Arbustiva y/o herbácea. Pastizal	55,109	Si
Vegetación Arbustiva y/o herbácea. Matorral de cumbre vs Zonas urbanas y antropizadas	40,432	Si
Vegetación Arbustiva y/o herbácea. Matorral de cumbre vs Zonas de uso agrícola	9,269	Si
Vegetación Arbustiva y/o herbácea. Matorral de cumbre vs Vegetación Arbustiva y/o herbácea. Matorral Costero	3,275	Si
Vegetación Arbustiva y/o herbácea. Matorral de cumbre vs Vegetación Arbustiva y/o herbácea. Matorral degradado	0,799	No
Vegetación Arbustiva y/o herbácea. Matorral degradado vs Vegetación Arbustiva y/o herbácea. Pastizal	54,310	Si
Vegetación Arbustiva y/o herbácea. Matorral degradado vs Zonas urbanas y antropizadas	39,633	Si
Vegetación Arbustiva y/o herbácea. Matorral degradado vs Zonas de uso agrícola	8,470	Si
Vegetación Arbustiva y/o herbácea. Matorral degradado vs Vegetación Arbustiva y/o herbácea. Matorral Costero	2,476	Si
Vegetación Arbustiva y/o herbácea. Matorral Costero vs Vegetación Arbustiva y/o herbácea. Pastizal	51,833	Si
Vegetación Arbustiva y/o herbácea. Matorral Costero vs Zonas urbanas y antropizadas	37,156	Si
Vegetación Arbustiva y/o herbácea. Matorral Costero vs Zonas de uso agrícola	5,994	Si
Zonas de uso agrícola vs Vegetación Arbustiva y/o herbácea. Pastizal	45,839	Si
Zonas de uso agrícola vs Zonas urbanas y antropizadas	31,162	Si
Zonas urbanas y antropizadas vs Vegetación Arbustiva y/o herbácea. Pastizal	14,677	No

Análisis de las diferencias por pares correspondientes al factor ocupación del suelo con intervalos de confianza (95%) (GIF 2007). Fuente: Elaboración propia

Contraste	Diferencia	Diferencia estandarizada	Valor crítico	Pr > Dif	Significativo
Moderado Bajo vs Bajo	29,172	35,019	2,807	< 0,0001	Si
Moderado Bajo vs Muy bajo	27,346	22,911	2,807	< 0,0001	Si
Moderado Bajo vs Alto	9,217	26,453	2,807	< 0,0001	Si
Moderado Bajo vs Moderado Alto	2,964	10,079	2,807	< 0,0001	Si
Moderado Alto vs Bajo	26,208	32,869	2,807	< 0,0001	Si
Moderado Alto vs Muy bajo	24,382	20,858	2,807	< 0,0001	Si
Moderado Alto vs Alto	6,253	24,870	2,807	< 0,0001	Si
Alto vs Bajo	19,955	24,367	2,807	< 0,0001	Si
Alto vs Muy bajo	18,129	15,315	2,807	< 0,0001	Si
Muy bajo vs Bajo	1,826	1,300	2,807	0,194	No

Análisis de las diferencias por pares correspondientes al factor materia orgánica con intervalos de confianza (95%) (GIF 2007). Fuente: Elaboración propia

Contrast	Difference	Standardized difference	Critical value	Pr > Diff	Significant
Monumento Natural Riscos de Tirajana vs Parque Natural de Pilancones	-45,509	-3,964	3,038	< 0.0001	Yes
Monumento Natural Riscos de Tirajana vs Reserva Natural Integral de Inagua	-40,464	-3,525	3,038	0,000	Yes
Monumento Natural Riscos de Tirajana vs Paisaje Protegido Fataga	-35,873	-3,124	3,038	0,002	Yes
Monumento Natural Riscos de Tirajana vs Parque Rural del Nublo	-32,937	-2,869	3,038	0,004	No
Monumento Natural Riscos de Tirajana vs Monumento Natural de Tauro	-26,699	-2,325	3,038	0,020	No
Monumento Natural Riscos de Tirajana vs -9999	-24,744	-2,155	3,038	0,031	No
-9999 vs Parque Natural de Pilancones	-20,765	-62,546	3,038	< 0.0001	Yes
-9999 vs Reserva Natural Integral de Inagua	-15,721	-45,663	3,038	< 0.0001	Yes
-9999 vs Paisaje Protegido Fataga	-11,129	-23,055	3,038	< 0.0001	Yes
-9999 vs Parque Rural del Nublo	-8,194	-25,519	3,038	< 0.0001	Yes
-9999 vs Monumento Natural de Tauro	-1,955	-4,087	3,038	< 0.0001	Yes
Monumento Natural de Tauro vs Parque Natural de Pilancones	-18,810	-42,872	3,038	< 0.0001	Yes
Monumento Natural de Tauro vs Reserva Natural Integral de Inagua	-13,766	-30,719	3,038	< 0.0001	Yes
Monumento Natural de Tauro vs Paisaje Protegido Fataga	-9,175	-16,338	3,038	< 0.0001	Yes
Monumento Natural de Tauro vs Parque Rural del Nublo	-6,239	-14,490	3,038	< 0.0001	Yes
Parque Rural del Nublo vs Parque Natural de Pilancones	-12,571	-48,655	3,038	< 0.0001	Yes
Parque Rural del Nublo vs Reserva Natural Integral de Inagua	-7,527	-27,473	3,038	< 0.0001	Yes
Parque Rural del Nublo vs Paisaje Protegido Fataga	-2,936	-6,743	3,038	< 0.0001	Yes
Paisaje Protegido Fataga vs Parque Natural de Pilancones	-9,636	-21,726	3,038	< 0.0001	Yes
Paisaje Protegido Fataga vs Reserva Natural Integral de Inagua	-4,591	-10,140	3,038	< 0.0001	Yes
Reserva Natural Integral de Inagua vs Parque Natural de Pilancones	-5,045	-17,596	3,038	< 0.0001	Yes

Análisis de las diferencias por pares correspondientes al factor Espacios Naturales Protegidos con intervalos de confianza (95%) (GIF 2007). Fuente: Elaboración propia

Contraste	Diferencia	Diferencia estandarizada	Valor crítico	Pr > Dif	Significativo
Media-alta precipitación vs Alta precipitación	37,462	3,361	2,638	0,001	Si
Media-alta precipitación vs Baja precipitación	17,091	46,775	2,638	< 0,0001	Si
Media-alta precipitación vs Media-baja precipitación	7,472	35,619	2,638	< 0,0001	Si
Media-baja precipitación vs Alta precipitación	29,990	2,691	2,638	0,007	Si
Media-baja precipitación vs Baja precipitación	9,619	27,572	2,638	< 0,0001	Si
Baja precipitación vs Alta precipitación	20,372	1,827	2,638	0,068	No

Análisis de las diferencias por pares correspondientes al factor precipitación con intervalos de confianza (95%) (GIF 2007). Fuente: Elaboración propia

Contraste	Diferencia	Diferencia estandarizada	Valor crítico	Pr > Dif	Significativo
Moderado Alto vs Bajo	29,344	17,112	2,935	< 0,0001	Si
Moderado Alto vs Muy bajo	28,524	24,356	2,935	< 0,0001	Si
Moderado Alto vs Muy Alto	14,914	43,360	2,935	< 0,0001	Si
Moderado Alto vs Alto	7,389	35,796	2,935	< 0,0001	Si
Moderado Alto vs Moderado Bajo	3,012	1,353	2,935	0,176	No
Moderado Bajo vs Bajo	26,332	9,401	2,935	< 0,0001	Si
Moderado Bajo vs Muy bajo	25,512	10,183	2,935	< 0,0001	Si
Moderado Bajo vs Muy Alto	11,902	5,310	2,935	< 0,0001	Si
Moderado Bajo vs Alto	4,377	1,968	2,935	0,049	No
Alto vs Bajo	21,955	12,816	2,935	< 0,0001	Si
Alto vs Muy bajo	21,134	18,086	2,935	< 0,0001	Si
Alto vs Muy Alto	7,524	22,443	2,935	< 0,0001	Si
Muy Alto vs Bajo	14,431	8,317	2,935	< 0,0001	Si
Muy Alto vs Muy bajo	13,610	11,337	2,935	< 0,0001	Si
Muy bajo vs Bajo	0,821	0,397	2,935	0,691	No

Análisis de las diferencias por pares correspondientes al factor espesor de suelo con intervalos de confianza (95%) (GIF 2007). Fuente: Elaboración propia

Contrast	Difference	Standardized difference	Critical value	Pr > Dif	Significant
3 vs 1	-0,088	-2,687	2,394	0,007	Yes
3 vs 2	-0,070	-2,134	2,394	0,033	No
2 vs 1	-0,018	-54,072	2,394	< 0.0001	Yes

Análisis de las diferencias por pares correspondientes al factor severidad con intervalos de confianza (95%) (GIF 2007). Fuente: Elaboración propia

Contraste	Diferencia	Diferencia estandarizada	Valor crítico	Pr > Dif	Significativo
Muy acentuada vs Zonas escarpadas	68,098	24,275	2,936	< 0,0001	Si
Muy acentuada vs Suave	50,568	8,208	2,936	< 0,0001	Si
Muy acentuada vs Zona llana	49,466	5,388	2,936	< 0,0001	Si
Muy acentuada vs Moderada	34,805	8,463	2,936	< 0,0001	Si
Muy acentuada vs Acentuada	8,044	2,614	2,936	0,009	No
Acentuada vs Zonas escarpadas	60,054	19,224	2,936	< 0,0001	Si
Acentuada vs Suave	42,523	6,737	2,936	< 0,0001	Si
Acentuada vs Zona llana	41,422	4,462	2,936	< 0,0001	Si
Acentuada vs Moderada	26,761	6,171	2,936	< 0,0001	Si
Moderada vs Zonas escarpadas	33,293	8,027	2,936	< 0,0001	Si
Moderada vs Suave	15,763	2,292	2,936	0,022	No
Moderada vs Zona llana	14,661	1,515	2,936	0,130	No
Zona llana vs Zonas escarpadas	18,632	2,026	2,936	0,043	No
Zona llana vs Suave	1,101	0,103	2,936	0,918	No
Suave vs Zonas escarpadas	17,530	2,835	2,936	0,005	No

Análisis de las diferencias por pares correspondientes al factor pendiente topográfica con intervalos de confianza (95%) (GIF 2017). Fuente: Elaboración propia

Contraste	Diferencia	Diferencia estandarizada	Valor crítico	Pr > Dif	Significativo
Pinar vs Monteverde higrófilo	292,735	4,475	2,807	< 0,0001	Si
Pinar vs Monteverde húmedo	261,804	4,621	2,807	< 0,0001	Si
Pinar vs Vegetación de ribera e hidrófitos	144,459	2,704	2,807	0,007	No
Pinar vs Vegetación rupícola	55,994	2,316	2,807	0,021	No
Vegetación rupícola vs Monteverde higrófilo	236,741	3,395	2,807	0,001	Si
Vegetación rupícola vs Monteverde húmedo	205,809	3,342	2,807	0,001	Si
Vegetación rupícola vs Vegetación de ribera e hid	88,465	1,509	2,807	0,131	No
Vegetación de ribera e hidrófitos vs Monteverde	148,276	1,756	2,807	0,079	No
Vegetación de ribera e hidrófitos vs Monteverde	117,344	1,507	2,807	0,132	No
Monteverde húmedo vs Monteverde higrófilo	30,931	0,357	2,807	0,721	No

Análisis de las diferencias por pares correspondientes al factor comunidades vegetales con intervalos de confianza (95%) (GIF 2017). Fuente: Elaboración propia

Contraste	Diferencia	Diferencia estandarizada	Valor crítico	Pr > Dif	Significativo
Bosques y Espacios Repoblados. Coníferas. Pino Insignis vs Zonas urbanas y antropizadas	155,872	8,420	3,197	< 0,0001	Si
Bosques y Espacios Repoblados. Coníferas. Pino Insignis vs Zonas de uso agrícola	118,631	6,888	3,197	< 0,0001	Si
Bosques y Espacios Repoblados. Coníferas. Pino Insignis vs Bosques y Espacios Repoblados. Coníferas. Pino Canario	82,085	4,877	3,197	< 0,0001	Si
Bosques y Espacios Repoblados. Coníferas. Pino Insignis vs Vegetación Arbustiva y/o herbácea. Matorral Costero	67,075	3,883	3,197	0,000	Si
Bosques y Espacios Repoblados. Coníferas. Pino Insignis vs Vegetación Arbustiva y/o herbácea. Matorral de cumbre	60,237	3,594	3,197	0,000	Si
Bosques y Espacios Repoblados. Coníferas. Pino Insignis vs Bosques y Espacios Repoblados. Frondosas. Castaño	48,015	2,210	3,197	0,027	No
Bosques y Espacios Repoblados. Coníferas. Pino Insignis vs Vegetación Arbustiva y/o herbácea. Pastizal	30,124	1,765	3,197	0,078	No
Bosques y Espacios Repoblados. Coníferas. Pino Insignis vs Vegetación Arbustiva y/o herbácea. Matorral Degradado	21,865	1,277	3,197	0,202	No
Vegetación Arbustiva y/o herbácea. Matorral Degradado vs Zonas urbanas y antropizadas	134,007	14,989	3,197	< 0,0001	Si
Vegetación Arbustiva y/o herbácea. Matorral Degradado vs Zonas de uso agrícola	96,765	16,618	3,197	< 0,0001	Si
Vegetación Arbustiva y/o herbácea. Matorral Degradado vs Bosques y Espacios Repoblados. Coníferas. Pino Canario	60,220	13,266	3,197	< 0,0001	Si
Vegetación Arbustiva y/o herbácea. Matorral Degradado vs Vegetación Arbustiva y/o herbácea. Matorral Costero	45,209	7,575	3,197	< 0,0001	Si
Vegetación Arbustiva y/o herbácea. Matorral Degradado vs Vegetación Arbustiva y/o herbácea. Matorral de cumbre	38,371	8,996	3,197	< 0,0001	Si
Vegetación Arbustiva y/o herbácea. Matorral Degradado vs Bosques y Espacios Repoblados. Frondosas. Castaño	26,150	1,808	3,197	0,071	No
Vegetación Arbustiva y/o herbácea. Matorral Degradado vs Vegetación Arbustiva y/o herbácea. Pastizal	8,259	1,547	3,197	0,122	No
Vegetación Arbustiva y/o herbácea. Pastizal vs Zonas urbanas y antropizadas	125,748	14,248	3,197	< 0,0001	Si
Vegetación Arbustiva y/o herbácea. Pastizal vs Zonas de uso agrícola	88,506	15,678	3,197	< 0,0001	Si
Vegetación Arbustiva y/o herbácea. Pastizal vs Bosques y Espacios Repoblados. Coníferas. Pino Canario	51,961	12,058	3,197	< 0,0001	Si
Vegetación Arbustiva y/o herbácea. Pastizal vs Vegetación Arbustiva y/o herbácea. Matorral Costero	36,950	6,376	3,197	< 0,0001	Si
Vegetación Arbustiva y/o herbácea. Pastizal vs Vegetación Arbustiva y/o herbácea. Matorral de cumbre	30,112	7,491	3,197	< 0,0001	Si
Vegetación Arbustiva y/o herbácea. Pastizal vs Bosques y Espacios Repoblados. Frondosas. Castaño	17,890	1,243	3,197	0,214	No
Bosques y Espacios Repoblados. Frondosas. Castaño vs Zonas urbanas y antropizadas	107,857	6,707	3,197	< 0,0001	Si
Bosques y Espacios Repoblados. Frondosas. Castaño vs Zonas de uso agrícola	70,616	4,843	3,197	< 0,0001	Si
Bosques y Espacios Repoblados. Frondosas. Castaño vs Bosques y Espacios Repoblados. Coníferas. Pino Canario	34,071	2,413	3,197	0,016	No
Bosques y Espacios Repoblados. Frondosas. Castaño vs Vegetación Arbustiva y/o herbácea. Matorral Costero	19,060	1,302	3,197	0,193	No
Bosques y Espacios Repoblados. Frondosas. Castaño vs Vegetación Arbustiva y/o herbácea. Matorral de cumbre	12,222	0,871	3,197	0,384	No
Vegetación Arbustiva y/o herbácea. Matorral de cumbre vs Zonas urbanas y antropizadas	95,635	11,634	3,197	< 0,0001	Si
Vegetación Arbustiva y/o herbácea. Matorral de cumbre vs Zonas de uso agrícola	58,394	12,579	3,197	< 0,0001	Si
Vegetación Arbustiva y/o herbácea. Matorral de cumbre vs Bosques y Espacios Repoblados. Coníferas. Pino Canario	21,849	7,606	3,197	< 0,0001	Si
Vegetación Arbustiva y/o herbácea. Matorral de cumbre vs Vegetación Arbustiva y/o herbácea. Matorral Costero	6,838	1,418	3,197	0,156	No
Vegetación Arbustiva y/o herbácea. Matorral Costero vs Zonas urbanas y antropizadas	88,797	9,632	3,197	< 0,0001	Si
Vegetación Arbustiva y/o herbácea. Matorral Costero vs Zonas de uso agrícola	51,556	8,258	3,197	< 0,0001	Si
Vegetación Arbustiva y/o herbácea. Matorral Costero vs Bosques y Espacios Repoblados. Coníferas. Pino Canario	15,011	2,962	3,197	0,003	No
Bosques y Espacios Repoblados. Coníferas. Pino Canario vs Zonas urbanas y antropizadas	73,787	8,820	3,197	< 0,0001	Si
Bosques y Espacios Repoblados. Coníferas. Pino Canario vs Zonas de uso agrícola	36,545	7,465	3,197	< 0,0001	Si
Zonas de uso agrícola vs Zonas urbanas y antropizadas	37,241	4,081	3,197	< 0,0001	Si

Análisis de las diferencias por pares correspondientes al factor ocupación del suelo con intervalos de confianza (95%) (GIF 2017). Fuente: Elaboración propia

Contraste	Diferencia	Diferencia estandarizada	Valor crítico	Pr > Dif	Significativo
Baja vs Alta	79,639	12,462	2,639	< 0,0001	Si
Baja vs Moderada alta	78,882	21,304	2,639	< 0,0001	Si
Baja vs Moderada baja	71,481	21,788	2,639	< 0,0001	Si
Moderada baja vs Alta	8,157	1,389	2,639	0,165	No
Moderada baja vs Moderada alta	7,400	2,732	2,639	0,006	Si
Moderada alta vs Alta	0,757	0,124	2,639	0,902	No

Análisis de las diferencias por pares correspondientes al factor materia orgánica con intervalos de confianza (95%) (GIF 2017). Fuente: Elaboración propia

Contrast	Difference	Standardized difference	Critical value	Pr > Diff	Significant
-9999 vs Paisaje Protegido de Las Cumbres	-209,463	-30,778	2,807	< 0,0001	Yes
-9999 vs Reserva Natural Especial Los Marteles	-176,716	-24,645	2,807	< 0,0001	Yes
-9999 vs Parque Rural del Nublo	-131,074	-18,661	2,807	< 0,0001	Yes
-9999 vs Monumento Natural Riscos de Tirajana	-130,178	-16,937	2,807	< 0,0001	Yes
Monumento Natural Riscos de Tirajana vs Paisaje Protegido de Las Cumbres	-79,285	-19,010	2,807	< 0,0001	Yes
Monumento Natural Riscos de Tirajana vs Reserva Natural Especial Los Marteles	-46,538	-9,812	2,807	< 0,0001	Yes
Monumento Natural Riscos de Tirajana vs Parque Rural del Nublo	-0,897	-0,198	2,807	0,843	No
Parque Rural del Nublo vs Paisaje Protegido de Las Cumbres	-78,389	-28,323	2,807	< 0,0001	Yes
Parque Rural del Nublo vs Reserva Natural Especial Los Marteles	-45,642	-12,777	2,807	< 0,0001	Yes
Reserva Natural Especial Los Marteles vs Paisaje Protegido de Las Cumbres	-32,747	-10,493	2,807	< 0,0001	Yes

Análisis de las diferencias por pares correspondientes al factor Espacios Naturales Protegidos con intervalos de confianza (95%) (GIF 2017). Fuente: Elaboración propia

Contraste	Diferencia	Diferencia estandarizada	Valor crítico	Pr > Dif	Significativo
Media alta precipitación vs Alta precipitación	9,765	4,302	1,960	< 0,0001	Si

Análisis de las diferencias por pares correspondientes al factor precipitación con intervalos de confianza (95%) (GIF 2017). Fuente: Elaboración propia

Contraste	Diferencia	Diferencia estandarizada	Valor crítico	Pr > Dif	Significativo
Moderado bajo vs Bajo	180,874	11,352	2,807	< 0,0001	Si
Moderado bajo vs Alto	103,443	9,366	2,807	< 0,0001	Si
Moderado bajo vs Muy alto	81,335	18,428	2,807	< 0,0001	Si
Moderado bajo vs Moderado alto	25,027	10,558	2,807	< 0,0001	Si
Moderado alto vs Bajo	155,847	9,794	2,807	< 0,0001	Si
Moderado alto vs Alto	78,416	7,120	2,807	< 0,0001	Si
Moderado alto vs Muy alto	56,308	12,991	2,807	< 0,0001	Si
Muy alto vs Bajo	99,539	6,091	2,807	< 0,0001	Si
Muy alto vs Alto	22,108	1,902	2,807	0,057	No
Alto vs Bajo	77,431	4,028	2,807	< 0,0001	Si

Análisis de las diferencias por pares correspondientes al factor espesor de suelo con intervalos de confianza (95%) (GIF 2017). Fuente: Elaboración propia

Contrast	Difference	Standardized difference	Critical value	Pr > Diff	Significant
2 vs 4	-0,051	-18,144	2,639	< 0.0001	Yes
2 vs 3	-0,027	-14,030	2,639	< 0.0001	Yes
2 vs 1	-0,019	-8,710	2,639	< 0.0001	Yes
1 vs 4	-0,032	-11,007	2,639	< 0.0001	Yes
1 vs 3	-0,008	-3,874	2,639	0,000	Yes
3 vs 4	-0,024	-8,787	2,639	< 0.0001	Yes

Análisis de las diferencias por pares correspondientes al factor severidad con intervalos de confianza (95%) (GIF 2017). Fuente: Elaboración propia

9 BIBLIOGRAFÍA

- Almagro, C. (2009). El futuro en llamas: Cambio climático y evolución de los incendios forestales en España. *Rapport Greenpeace Espagne*. 44p.
- Arellano, S., Vega, J.A., Rodríguez y Silva, F., Fernández, C., Vega-Nieva, D., Álvarez-González, J.G, & Ruiz-González, A.D. (2017). Validación de los índices de teledetección Δ NBR y R Δ NBR para determinar la severidad del fuego en el incendio forestal de Oia-O Rosal (Pontevedra) en 2013. *Revista de Teledetección*, (49), 49-61.
- Armas, N., (2018) Aproximación mediante TIG, a la caracterización del incendio forestal de la cumbre de Gran Canaria de 2017. Trabajo Fin de Grado. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.
- Blanco, J., García, D., Castellnou, M., Molina, D., Grillo, F., & Pous, E. (2008). Curso básico de incendios forestales. *Recuperado de <https://www.scribd.com/doc/219159208/Curso-Basico-de-Incendios-Forestales>*.
- Botella-Martínez, M.A., & Fernández-Manso, A. (2017). Estudio de la severidad post-incendio en la Comunidad Valenciana comparando los índices Δ NBR, R Δ NBR y RBR a partir de imágenes Landsat 8. *Revista de Teledetección*, (49), 33-47.
- Cabello, F. P., Echeverría, M., de la Riva Fernández, J.R., & Benlloch, P.I. (2011). Apuntes sobre los efectos de los incendios forestales y restauración ambiental de áreas quemadas. Estado de la cuestión y principios generales. *Geographica*, (59), 295-308.
- Castillo, M., Pedernera, P., & Peña, E. (2003). Incendios forestales y medio ambiente: una síntesis global. *Revista Ambiente y Desarrollo*, 19 (3), 44-53.
- Chuvieco Salinero, E. (2006). *Teledetección ambiental: la observación de la Tierra desde el espacio*. Ariel.
- Dagnino, J. (2014). Análisis de varianza. *Rev. Chil. Antes*, 43(4), 306-310
- Díaz-Delgado, R., & Pons, X. (1999). Seguimiento de la regeneración vegetal post-incendio mediante el empleo del NDVI. *Revista de teledetección*, 12, 73-77.
- Fernández, I.I., (2018). Valoración geográfica de los incendios forestales en la isla de Gran Canaria. Trabajo Fin de Grado. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.

Fernández, O., (2016). Estimación de modelos de combustible basada en datos de sensores remotos. Trabajo Fin de Máster. Universidad de Oviedo.

Fernández-Palacios, J.M., Arévalo, J.R., Delgado, J.D., Otto, R., Morales, G & Méndez, J. (2007). Incendios forestales y humanos en Canarias.

García, D., Blanco, J., & Molina, D. M., (2007). El Gran Incendio de Gran Canaria 2007: Análisis del Incendio, Estrategias y Tácticas de Ataque Empleados.

González, A., (2016). Estimación de la severidad y delimitación del perímetro afectado por el incendio forestal acontecido en La Palma en agosto de 2016 mediante la utilización de imágenes de satélite. Trabajo Fin de Máster. Universidad de Zaragoza.

Key, C. H. & Benson, N. C. (2006). Landscape Assessment (LA). IN: Lutes, D.C., Keane, R.E., Caratti, J. F., Key, C. H., Benson, N.C., Sutherland, S. & Hangi, L.J (eds.) *FIREMON: Fire effects monitoring and inventory system. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-164-CD*. Fort Collins: Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station.

Llovería, R.M., Cabello, F.p., Martín, A.G., & de la Riva Fernández, J.R. (2007). Estudios de los procesos de regeneración vegetal postincendio en parcelas experimentales mediante radiometría de campo. *Cuadernos de investigación geográfica/ Geographical Research Letters*, (33), 59-84.

López, A., & López, M. (2019). Los incendios forestales en España. Decenio 2006-2015. *Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación*.

López, M. J. & Caselles, V. (1991). Mapping burns and natural reforestation using thematic Mapper data. *Geocarto International*, 6: 31-37.

Masot, A. N., Arenas, G. N., & Marcos, G. M. (2016). Análisis de incendios forestales mediante sistemas de información geográfica y Teledetección. Estudio de caso en sierra de Gata (2015). In *Tecnologías de la Información Geográfica en el Análisis Espacial. Aplicaciones en los Sectores Público, Empresarial y Universitario* (pp. 247-268). Grupo de Investigación en Desarrollo Sostenible y Planificación Territorial.

Montorio, R., Pérez, F., García, A., Vlassova, L., & de la Riva, J. (2014). La severidad del fuego: Revisión de conceptos, métodos y efectos ambientales. *Geoecología, cambio ambiental y paisaje: Homenaje al profesor José María García-Ruíz*, 427-400.

Peralta, J. C. M. (2010). Evaluación del riesgo ante incendios forestales en la cuenca del Río Tempisque, Costa Rica. *Revista Geográfica de América Central*, 2(45), 33-64.

Pous Andrés, E., & DomÃ, C. (2009, june). La planificación de riesgos laborales en la utilización del fuego como herramienta: estudio en la isla de Gran Canaria 2005-2008. In *Congresos Forestales*.

Riera, P., & Amorós, J.M. (2003). Valoración del riesgo de incendios forestales en España. *Ciudad y territorio: Estudios territoriales*, (135), 119-126.

Rodríguez, D., Marcelo, J., & Guedes, J.A (2019). Estimación de daños causados por el incendio del 20 de septiembre de 2017 en Gran Canaria, y análisis de la recuperación de la cubierta vegetal mediante el procesado de imágenes de satélite de alta resolución. *Teledetección: hacia una vision global del cambio climático*

Rouse, J. W., R. H., Schell, J.A & Deering, D.W. (1973). Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation. Progress Report RSC 1978-2. Remote Sensing Center, Texas A&M Univ., College Station.

Sánchez, J., Ríos, C., Pérez-Chacón, E., & Suárez, C. (1995). Cartografía del potencial del medio natural de Gran Canaria. *Cabildo Insular de Gran Canaria. Universitat de València (Estudios generales)*, Universidad de las Palmas de Gran Canaria, (pp. 167-170). Libro de Actas del XVIII Congreso de la Asociación Española de Teledetección.

Suárez Molina, D., Fernández Monistrol, J.A., & Uriel, A. (2018). Catálogo-guía de fenómenos meteorológicos adversos que afectan a la isla de Gran Canaria.

Viedma, O., & Chuvieco, E. (1994). Cartografía y evaluación de daños causados por incendios forestales mediante técnicas de teledetección. *ATTIM Boletín de Información Técnica*, 167, 60-66.

Vila, A., Sedano, M., López, A., & Juan, A. (2004). Correlación lineal y análisis de regresión. *Universitat Oberta Catalunya, Barcelona*.

Normativa

Decreto 146/2001, de 9 de julio, por el que se regula la prevención y extinción de incendios forestales.

Decreto 111/2002, de 9 de agosto, de traspaso de funciones de la Administración Pública de la Comunidad Autónoma de Canarias a los Cabildos Insulares en materia de servicios forestales, vías pecuarias y pastos; protección del medio ambiente y gestión y conservación de espacios naturales protegidos.

Decreto 60/2014, de 29 de mayo, por el que se aprueba el Plan Especial de Protección Civil y Atención de Emergencias por Incendios Forestales de la Comunidad Autónoma de Canarias (INFOCA).

Decreto 66/2015, de 30 de abril, por el que se regula el contenido y procedimiento de elaboración y aprobación de los planes de defensa de las zonas de alto riesgo de incendios forestales en la Comunidad Autónoma de Canarias.

Gobierno de Canarias. Plan Forestal de Canarias. Consejería de Política Territorial y Medio Ambiente. *Gobierno de Canarias* (1999). Disponible en: <http://www.gobiernodecanarias.org/cmsgobcan/export/sites/cptss/sostenibilidad/descargas/Biodiversidad/Forestal/planforestal.pdf>

Ley 43/2003, de 21 de noviembre, de montes. *BOE*, 208(4), 1422-4.

Ley 4/2017, de 13 de julio, del Suelo y de los Espacios Naturales Protegidos de Canarias.

Memoria Informativa del Plan Insular de Ordenación de Gran Canaria (2003). Cabildo Insular de Gran Canaria

Consultas Web

Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medioambiente. Gobierno de España. <http://www.aemet.es/> (Fecha de consulta: 22/06/2019).

IDECanarias (Infraestructura de Datos Espaciales de Canarias). Gobierno de Canarias. <https://www.idecanarias.es/> (Fecha de consulta: 05/05/2019).

IDEGranCanaria (Infraestructura de Datos Espaciales de Gran Canaria). Cabildo Insular de Gran Canaria. <https://www.idegrancanaria.es/> (Fecha de consulta: 06/05/2019).

Instituto Geográfico Nacional. Centro de Descargas (CNIG). Disponible en <https://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp> (Fecha de consulta: 23/05/2019).

Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPAMA). Estadísticas de Incendios Forestales. Disponible en https://mapa.gob.es/es/desarrollo-rural/estadisticas/Incendios_default.aspx (Fecha de consulta: 8/06/2019).

Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) <https://www.usgs.gov/>. (Fecha de consulta: 15/05/2019).

Fdo.- Jonatan Mendoza Godoy