



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

“ANÁLISIS DE LA REGENERACIÓN VEGETAL EN ZONAS DE ACTUACIÓN POSTICENDIO MEDIANTE IMÁGENES LANDSAT 8”

Autora:

Isabel García Torrijo

Director:

Fernando Pérez Cabello

Profesor Titular del Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio

Filosofía y Letras

Julio 2014

Resumen: El 5 de agosto de 2008 se produjo en los montes de Zuera (Zaragoza) un incendio forestal que recorrió en 5 horas, aproximadamente, 2.500 hectáreas. El incendio, el mayor en España en 2008, se originó bajo condiciones meteorológicas muy favorables para la ignición y propagación. A partir de ese año se han aplicado diferentes técnicas de tratamiento post-incendio con el fin de recuperar la vegetación. En este trabajo se analiza mediante imágenes del sensor OLI del satélite Landsat 8, que áreas de la zona quemada se han recuperado más favorablemente y cuáles son los factores que influyen en dichos resultados.

Abstract: On the 5th of August 2008 in the Zuera hill was produce a forest fire with 5 hours travel, approximately, 2500 hectare. The fire, the biggest in Spain in 2008. Originated under favorable weather conditions for the ignition and propagation. Since this year it has applied different treatment techniques post-fire with the purpose of recover the vegetation. By this study it is analyzed through the images of satellite Landsat 8's OLI sensor which areas of the burned zone have recovered more favorably and what factors influence these results are.

Palabras clave: Incendio, Landsat 8, OLI, técnicas post-incendio, NDVI, ANOVA.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN.....	5
1. Los incendios forestales y las actuaciones post-incendio.....	5
1.1. Ley de Monte.....	7
1.2. Actuaciones y tratamientos en zonas incendiadas.....	8
2. El papel de la teledetección espacial en la cartografía y seguimiento de las zonas quemadas.....	11
2.1. Técnicas para la detección de área quemada.....	11
2.2. Seguimiento de zonas quemadas.....	12
OBJETIVOS E HIPÓTESIS.....	13
MATERIALES Y MÉTODOS.....	14
1. Área de estudio. Aproximación geográfica al incendio de Zuera-Castejón de Valdejasa.....	14
2. Tratamiento aplicado a la zona del incendio de Zuera-Castejón de Valdejasa.....	16
3. Presentación de las imágenes OLI de la misión LANDSAT 8.....	17
4. Tratamiento de las imágenes y aplicación del NDVI.....	18
5. Cartografía de las distintas variables de estudio: altura, pendiente y orientación..	22
RESULTADOS.....	27
CONCLUSIONES.....	35
FUENTES DE INFORMACIÓN.....	36
1. Fuentes informáticas:.....	36
2. Fuentes bibliográficas:.....	37

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Evolución del número de incendios y superficie afectada en Aragón. Años 2008 a 2012.....	6
Figura 2: Clasificación de las medidas que deben tener en cuenta los planes de restauración post-incendio, así como las diferentes actuaciones que las componen.....	8
Figura 3: Medidas contra la erosión y regeneración Post- incendio.	
Figura 4: Pasos a seguir para una correcta actuación.	12
Figura 5: Protocolo de actuación para la restauración de áreas quemadas	13
Figura 6: Mapa de localización del incendio de Zuera, Zaragoza.....	15
Figura 7: Cartografía técnicas post-incendio aplicadas en el área de estudio del incendio de los montes de Zuera y Castejón de Valdejasa.	17

Figura 8. Bandas espectrales del satélite Landsat 8.....	18
Figura 9: Mapa de NDVI en el año 2009.....	20
Figura 10: Mapa de NDVI en el año 2013.....	21
Figura 11: Mapa de alturas del área de estudio.....	23
Figura 12: Mapa de pendientes del área de estudio.....	25
Figura 13: Mapa de orientación del área de estudio.....	26

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Gráfico de comparación de medias entre NDVI 2009 y NDVI 2013 según tratamiento con barras de error.....	29
Gráfico 2: Diagrama de dispersión según tratamiento.....	30
Gráfico 3: Media de las pendientes según tratamiento.....	31
Gráfico 4: Media de la altura según tratamiento con barras de error.....	32
Gráfico 5: Media de orientación según tratamiento con barras de error.....	33

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Estadísticos descriptivos de las variables.....	27
Tabla2: Tabla descriptiva mediante comparación de medias.....	28
Tabla 3: Comparación de polígonos según técnica y orientación.....	29
Tabla 4: Tabla prueba Post- Hoc, comparaciones múltiples.....	34

INTRODUCCIÓN

1. Los incendios forestales y las actuaciones post-incendio.

Se denomina incendio forestal al fenómeno que se presenta cuando varios materiales combustibles encontrados en áreas con vegetación son consumidos de forma incontrolable por el fuego (www.ambiente.gov.ar).

Un incendio posee tres fases distintivas: una primera fase de iniciación en la cual se desarrolla el comienzo del fuego. La fase de propagación es donde se produce la extensión del fuego por la vegetación cercana. Esta segunda fase dependerá de las condiciones atmosféricas, de la topografía del lugar en el que se produzca, y de la vegetación presente en el mismo. Finalmente, la última fase corresponderá a la de extinción en la que se desarrolla la finalización del incendio por causas naturales o por la acción humana (www.prevenciondesastres.wordpress.com).

Los incendios forestales tienen diferentes efectos sobre el medio ambiente dependiendo de su tamaño y frecuencia, y pueden ser causados por origen natural y antrópico, siendo la negligencia la causa fundamental de los incendios. Es evidente el daño que provocan dichos incendios en el medio ambiente, aunque también tiene su parte positiva y es que los incendios tienen la capacidad de limpiar la materia muerta o en descomposición provocando una regeneración del área previamente quemada.

Los efectos negativos derivados de este tipo de fenómenos son cuantiosos en pérdidas de vidas humanas y bienes materiales, altos costes de evacuación y extinción, así como en daños para los ecosistemas. Sin embargo, estos datos no pueden ser interpretados sin tener en cuenta que el fuego también ejerce una influencia fundamental en la evolución de más de 53% de los ecosistemas terrestres, que dependen del mismo para su regeneración(Lázaro García, 2009).

Así pues, los incendios forestales son un proceso ecológico que influye significativamente sobre la mayoría de las formaciones vegetales presentes en la Península Ibérica, por lo que la comprensión de su respuesta resulta esencial para una correcta gestión del territorio. España es el país europeo que más sufre los efectos del fuego y es la falta de prevención lo que ha generado un peligroso aumento de los incendios forestales (www.greenpeace.org).

En cuanto a la Comunidad Autónoma de Aragón, los incendios forestales han experimentado un importante incremento en los dos últimos decenios, tanto en su número como en la superficie total afectada por los mismos. Así, un fenómeno que era natural en nuestros ecosistemas, ha derivado en un importante problema ecológico, social y económico, por la importancia de las pérdidas que ocasiona, por su grave repercusión en la protección del suelo contra la erosión y, en general, por su impacto negativo por el patrimonio natural de Aragón.

En este sentido, las administraciones públicas responsables de la defensa contra incendios forestales ponen toda la atención en la prevención, dirigiéndose tanto a las causas naturales como a las antrópicas. De este modo se pretende lograr una disminución del número de incendios, la reducción de la severidad de los mismos y la mejora en el combate y en la seguridad del personal que trabaja en las labores de extinción (Gobierno de Aragón, 2011).

La Dirección General de Gestión Forestal es actualmente competente dentro del Gobierno de Aragón en cuanto refiere a la defensa del patrimonio natural aragonés y, por lo tanto, a las actividades de control de los incendios forestales. Así, la gestión en esta materia abarca una superficie forestal total de 2,5 millones de hectáreas, lo que supone el 53% de la superficie de la Comunidad Autónoma de Aragón.

La cifra de los incendios en Aragón es sensiblemente inferior a la media nacional, pese a ello, la superficie quemada se ha triplicado desde el año 1994.

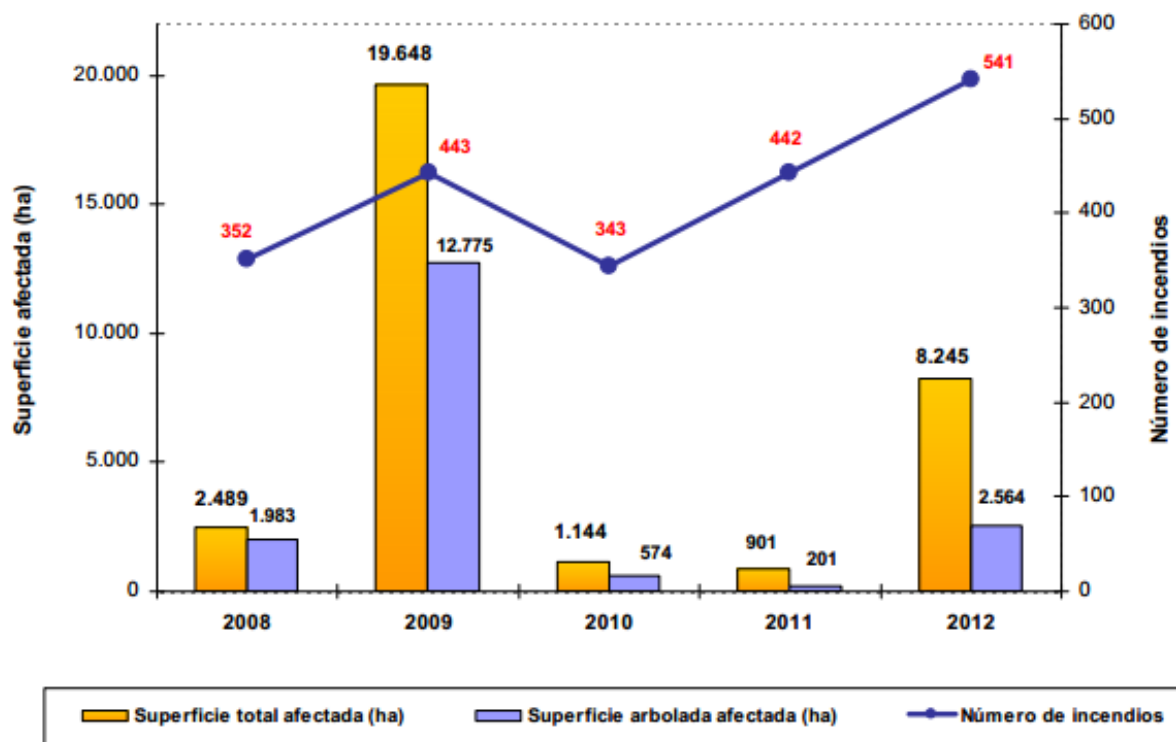


Figura 1: Evolución del número de incendios y superficie afectada en Aragón. Años 2008 a 2012.

Fuente: *Dirección General de Gestión Forestal (Gobierno de Aragón)*

Los incendios forestales provocan la eliminación de la cubierta vegetal y el mantillo, dejando el suelo desprotegido bajo la influente acción del viento y de la lluvia. Para que no se siga perdiendo el suelo, se procede en muchos casos a la aplicación de técnicas de rehabilitación del suelo tras el incendio. Entre las actuaciones post-incendio que pueden aplicar está el acolchado, con o sin semillado, que da una protección inmediata.

También es común proceder a la saca de madera quemada y para ello los árboles se tumban y se desraman y los trocos se trocean en dimensiones adecuadas para su extracción.

Cabe decir que la técnica de retirada de la madera no siempre genera un efecto positivo. En este sentido, numerosos estudios indican que puede tener un efecto contraproducente ya que puede aumentar la escorrentía y la erosión del suelo (Marañón-Jiménez, 2013).

1.1. Ley de Monte

El tratamiento de incendios y sus actuaciones no están recogidos en una ley específica, pero está desglosada en la Ley de Montes del 2006. La Ley 15/2006, de 28 de diciembre, de Montes de Aragón determina, en su Título VI, las competencias en materia de prevención y extinción de incendios forestales, sus medidas preventivas y las referentes a la restauración de zonas incendiadas. Además, consolida un modelo organizativo para su extinción basado en las competencias forestales autonómicas, que incluyen la dirección de extinción sobre un operativo que englobe medios pertenecientes a otras Administraciones, siempre y cuando los incendios afecten exclusivamente a bienes de naturaleza forestal.

Además aparece en el Artículo 104, referente a las Medidas para la restauración de zonas incendiadas, que las Administraciones públicas, y en particular la Administración de la Comunidad Autónoma, deberán garantizar las condiciones para la restauración de la vegetación de los terrenos forestales incendiados y que en las áreas afectadas por incendios forestales se realizará un seguimiento de la evolución natural de su cubierta vegetal y se adoptarán las medidas necesarias para facilitar su recuperación, incluyendo las referentes a la retirada de la madera quemada cuando sea necesario así como, en su caso, la regulación de los usos y aprovechamientos en esas superficies y, en particular, el aprovechamiento de pastos.

Por su carácter básico, debe mencionarse también la estatal Ley 43/2003, de 21 de noviembre, de Montes (art. 43 a 50) y el Reglamento dictado en aplicación de la derogada Ley de Incendios de 1968 (Decreto 3769/1972), que se mantiene vigente en todo lo que no se oponga a aquella.

A nivel autonómico existe un marco legal específico que regula la actuación coordinada de los medios de las diferentes instituciones ante una emergencia por incendio forestal, que se recoge en el Decreto 118/2011, de 31 de mayo, del Gobierno de Aragón, por el que se aprueba el Plan Especial de Protección Civil de Emergencias por Incendios Forestales (Procinfo).

En el aspecto propiamente preventivo, anualmente el Departamento aprueba la Orden de prevención y lucha contra incendios, en la que se detallan aspectos concretos de aplicación para toda la Comunidad Autónoma de Aragón.

El Plan Forestal de Aragón, atendiendo a lo dispuesto en el artículo 56 de la Ley 15/2006, de 28 de diciembre, de montes de Aragón (LMA), se constituye como el plan director de la política forestal de la Comunidad Autónoma de Aragón, y se desarrollará mediante los Planes de ordenación de los recursos forestales y de los instrumentos de gestión forestal, entendidos como tales los proyectos de ordenación de montes, y los planes dasocráticos o planes técnicos de gestión.

La importancia de este Plan radica en su carácter director de la política forestal de la Comunidad Autónoma, y por ello es básico para el desarrollo de los Planes de ordenación de los recursos forestales y de los instrumentos de gestión forestal.

1.2. Actuaciones y tratamientos en zonas incendiadas

Los planes de restauración de zonas incendiadas deben tener como propósito primordial devolver a los bosques arrasados por el fuego la estructura y el funcionamiento que tenían antes de su degradación, tratando además de hacerlos más resistentes a posibles futuras perturbaciones. En la Figura 2 podemos observar una tabla donde se esquematiza las distintas medidas que se pueden aplicar.

Medidas	Objetivo	Actuaciones
Disuasorias	Evitar daños adicionales a los causados por el fuego	Prohibición, según la Ley de Montes, de cambio de uso de suelo
	Evitar enriquecimientos ilícitos como consecuencia del incendio	Acotamiento de la zona al ganado
		Limitaciones a la enajenación de los productos procedentes de la zona incendiada
Emergencia	Reducir el riesgo de procesos erosivos	Extracción de la madera quemada
	Minimizar el riesgo de aparición de plagas por insectos perforadores	Construcción de fajinas y/o albarradas
		Aplicación de <i>mulch</i> o distribución de restos
	Evitar daños inmediatos a la fauna, doméstica y silvestre, a personas y a infraestructuras	Tratamientos selvícolas (podas, desbroces, eliminación de restos, etc.)
		Escarificación de costras hidrofóbicas
		Siembras de especies herbáceas y/o arbustivas
Recuperación ecológica	Favorecer la regeneración natural, tanto de la flora como de la fauna	Tratamientos selvícolas
		Repoblaciones
	Recuperar las masas forestales afectadas	Siembras de especies herbáceas, arbustivas y arbóreas

Figura 2. Clasificación de las medidas que deben tener en cuenta los planes de restauración post-incendio, así como las diferentes actuaciones que las componen. Fuente: Manuales de Desarrollo Sostenible. Fundación Banco Santander (2008).

Este Trabajo Fin de Grado (TFG) se centra en el análisis de las consecuencias en los niveles de regeneración vegetal de las medidas de emergencia que consisten en evitar o minimizar a corto plazo el riesgo de procesos erosivos, plagas y daños a infraestructuras y personas. El principal recurso a conservar a través de las medidas de emergencia debe ser el suelo, ya que junto con la fauna silvestre y doméstica, es lo único que puede ser dañado irreversiblemente tras un incendio. Se determina que son medidas de emergencia por la necesidad de rápida actuación contra la erosión y por aplicar una forma muy particular de contratación del sector público (Hernández Jiménez, 2014).

Una vez ejecutadas las medidas de emergencia y tras observar la capacidad de regeneración natural de la zona afectada se establecen acciones con el propósito de recuperar la masa forestal y la funcionalidad del ecosistema.

A continuación se citan algunas de las conclusiones más significativas de las experiencias en Aragón sobre actuaciones post-incendio, basándonos en los materiales aportados por Álvaro Hernández Jiménez (Dirección General de Gestión Forestal del Gobierno de Aragón) a la IV Jornada sobre Conservación y Rehabilitación de Suelos: Ecosistemas afectados por incendios forestales, que tuvo lugar el 11 de marzo de 2014 en la Escuela Politécnica Superior de Huesca (Universidad de Zaragoza).

En Aragón se prioriza las zonas de actuación que están más expuestas a la erosión como son las zonas de solanas y umbrías con altas pendientes y las zonas que tienen dificultad de regeneración.

La actuación de retirada de la madera quemada es uno de los tratamientos post- incendio más aplicados en Aragón, tiene el objetivo de obtener restos para la construcción de estructuras de defensa del fuego, mejorar las condiciones para posteriores actuaciones y aprovechar los productos de valor. En la siguiente tabla (Figura 3) se puede observar la clasificación de distintos tratamientos y sus conclusiones favorables y desfavorables (Hernández Jiménez, 2014).

	Medida o Característica	Fichas	Condiciones/Conclusiones favorables	Condiciones/Conclusiones desfavorables
TRATAMIENTOS	Biorrollos/Fajinas orgánicas/mantas orgánicas	24,25A, 25B,50	<ul style="list-style-type: none"> - Puede dar salida a fibras forestales. - Apta en zonas de déficit de materia vegetal. - Usados desde hace 10 años en EEUU. - Coste asequible y abarata la conservación. - Pendientes elevadas o muy erosionadas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Peligro de acarcavamiento de las zonas de curvatura y embocaduras.
	Corta	11,14,17, 18,19A, 19B,21, 29,34, 35A,35B, 35C, 37D, 47	<ul style="list-style-type: none"> - A los 30 meses de la corta esta no ha afectado significativamente al crecimiento o mortalidad. - No es perjudicial si la densidad inicial de plántulas es elevada. - Respetando el mantillo, ramillos y hojas no se condiciona la estabilidad del sistema. - Los restos leñosos actúan como obstáculo en suelos desprotegidos. - Beneficiosa afección por sofamado total de copa. - El ramaje y troncos abandonados actúan como protectores y no crea competencia por los nutrientes. - Los restos de la corta mejoran las condiciones microclimáticas protegiendo de las heladas. - El riesgo por caída de troncos quemados es reducido al ser zonas de poco tránsito. - La madera quemada puede ser una importante reserva de nutrientes. - Aclareo en zonas de muy alta densidad o desbroce selectivo de matorral. 	<ul style="list-style-type: none"> - Reduce la densidad inicial de plántulas. - La retirada produjo la muerte del 30% de las plántulas. - La corta y arrastre de los troncos incrementa la mortalidad del verano siguiente. - La compactación por maquinaria puede aumentar la escorrentía. - Aumenta la escorrentía. - Infiuye negativamente afección por fuego de copas. - En corta diferida reduce la supervivencia en un 65%. - Respecto a parámetros edáficos la corta a hecho no aporta ningún beneficio. - La saca no favorece la regeneración natural. - Puede ser un factor limitante en fuegos intensos, pendientes fuertes, suelos someros y diseminación escasa. - Influencia del mercado de la madera. - Presión social. - Problemas fitosanitarios. - Dependencia de la red viaria.
	Trituración	11,12,46	<ul style="list-style-type: none"> - Favorece la liberación de semillas. - Menor reducción de la densidad de plántulas. 	

Figura 3: Medidas contra la erosión y regeneración Post- incendio. Fuente: Esquiroz Cativela, (2013).

La retirada de madera en pie puede contribuir a la defensa contra la erosión, favorece la aparición y el desarrollo de regeneración y contribuye a la mejora del suelo mediante liberación de nutrientes. Este método también puede favorecer los impactos negativos con la eliminación de legados biológicos, de fauna saproxílica y puede aumentar la erosión como consecuencia de malas prácticas. Para que no se den estas situaciones es necesario una adecuada planificación y ejecución de la actuación y dejar siempre rodales sin aplicar ningún tratamiento (Hernández Jiménez, 2014).

En la retirada de madera quemada se proceden a distintos tratamientos según el grado del impacto, de este modo, en un incendio de alto impacto se procede al apeo y saca de madera arrastrada o semisuspendida; en el caso de un incendio de medio impacto, se procede al apeo y a la saca con un autocargador o *skkidder* con la madera suspendida bien mediante el astillado en pie. En los incendios de mínimo impacto se procede a un apeo manual y construcción de fajinas.

Las fajinas también es un tratamiento muy aplicado para la recuperación de la vegetación tras un incendio, tiene como objetivo evitar la erosión laminar en las laderas, retener los materiales arrastrados e incorporar la materia orgánica al suelo. Cabe decir que esta técnica no funciona contra la erosión por regueros o en cauces y debe de estar bien ejecutada ya que tiene un contacto íntimo con el suelo.

Según la pendiente de la zona incendiada se procede a aplicar una u otra técnica. Así pues, en aquellas áreas con una pendiente hasta el 50% se suele proceder a la

construcción de fajinas y albarradas, y en las pendientes moderadas (< 20%), se suele realizar un acolchado (*mulch*) de astillas (Hernández Jiménez, 2014).

En el área de estudio de este trabajo se estudia las consecuencias producidas tras la aplicación de los tratamientos post- incendio de triturado en pie mediante cabezal desbrozador acoplado a una retroaraña y triturado de árboles plenamente apeados mediante astilladora en aquellas zonas de mayor pendiente, que tal como se ha visto en la Figura 3, contribuye a favorecer la eliminación de semillas y a una menor reducción de la densidad de plantas.

2. El papel de la teledetección espacial en la cartografía y seguimiento de las zonas quemadas.

La cartografía de áreas quemadas es una medida post-incendio muy útil para planificar las actuaciones encaminadas a paliar los terribles efectos de esta perturbación. La Teledetección se manifiesta como una gran herramienta para la evaluación de áreas afectadas por incendios forestales. Las imágenes de satélite no sólo nos aportan información espacial actualizada, sino que además su tratamiento digital nos permite obtener cartografía de áreas quemadas con gran precisión, de este modo podemos localizar el perímetro afectado, discriminar zonas quemadas y no quemadas, cuantificar las especies forestales afectadas, etc.(Morato et al.,2003).

La cartografía de incendios forestales resulta especialmente útil de cara a disponer información suficiente para realizar un análisis apropiado de la distribución espacial de este fenómeno, permitiendo extraer conclusiones acerca del grado de actividad de cada una de las variables que en él intervienen.

2.1. Técnicas para la detección de área quemada

Los datos que proporcionan los satélites de observación de la tierra en cuestión de prevención y evaluación de los incendios forestales han tenido un gran avance en las últimas décadas (Chuvieco, 2009) posibilitando la mejora en la actuación de los mismos. El rango de técnicas y sensores empleadas en estas aplicaciones es muy amplio. De este modo, para una correcta actuación a partir de los datos obtenidos, se divide el proceso en tres grandes fases de gestión: antes del incendio (determinación de condiciones de peligro), durante el incendio (detección de focos activos) y después del incendio (evaluación de daños). Este trabajo se centra especialmente en la evaluación de los daños, midiendo los efectos producidos por el fuego en los cambios de los ecosistemas.

Esos efectos están muy relacionados con la intensidad y severidad del fuego, lo que a su vez está relacionado con la cantidad de combustible previo, el grado de humedad de los

combustibles, la topografía, los vientos concurrentes y los medios de extinción empleados.

A escala regional, los satélites que mejores datos de detalle ofrece son los de resolución espacial media tales como Landsat- TM/ETM+, SPOT-HRV, IRS-WIFS/AWIFS, con píxeles comprendidos entre los 30 y 100 m (Martínez Vega y Martín Isabel, 2010). También se han publicado estudios para determinar condiciones de severidad post-incendio a partir de imágenes. Esta tarea resulta especialmente interesante para evaluar con más detalle los daños y establecer condiciones potenciales de regeneración.



Figura 4. Pasos a seguir para una correcta actuación. Fuente: Manuales de desarrollo Sostenible. Fundación Banco Santander (2008).

El uso de la teledetección para el diagnóstico de áreas quemadas tiene como ventaja la capacidad de cubrir todo el territorio a intervalos de tiempo sistemáticos, lo que permite una visión espacial comprehensiva. Estos datos se registran y transmiten en formato digital, lo que permite procesarlos con ayuda de equipos informáticos, garantizando un tratamiento automático, rápido y razonablemente objetivo (Chuvieco, 2009).

2.2. Seguimiento de zonas quemadas

Para seguir una actuación adecuada es necesario seguir un protocolo con el fin de evaluar el impacto ecológico de los incendios, identificar las zonas más vulnerables y seleccionar las técnicas más convenientes para su posterior restauración.

En el siguiente esquema (Figura 5) podemos observar el protocolo de actuación para la restauración de áreas quemadas:

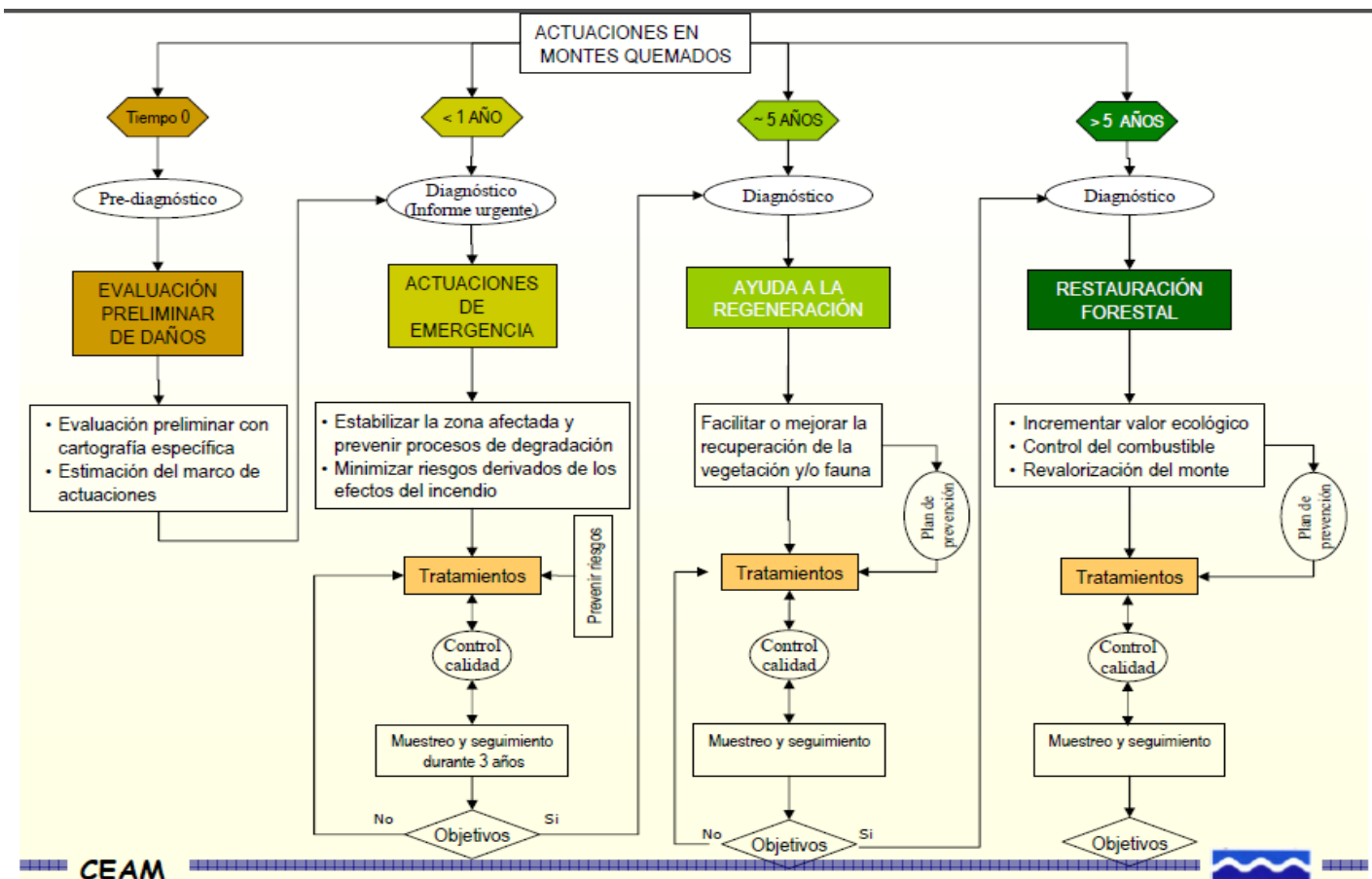


Figura 5. Protocolo de actuación para la restauración de áreas quemadas. Fuente: Seminarios forestales del CIEF (15 de diciembre del 2011).

El estudio de este TFG se encuentra en el final de la tercera fase, una vez aplicados los tratamientos con el fin de analizar cómo se ha recuperado la vegetación.

Además de este protocolo de actuación visualizado en la Figura 5, se procede también a realizar un seguimiento minucioso de las áreas quemadas mediante teledetección permitiéndonos cartografiar el área afectada. A continuación se aplican Índices de Vegetación como es el NDVI, que como veremos más adelante es uno de los índices aplicados en este proyecto con el fin de comprobar los resultados tras los tratamientos post- incendio en términos de recubrimiento vegetal, aplicadas hace 4 años en el área de estudio afectada.

OBJETIVOS E HIPÓTESIS

Objetivo: Comprobar mediante datos de teledetección, el resultado de los diferentes tratamientos post-incendio aplicados en el incendio de los montes Zuera-Castejón de Valdejasca y cómo han influido cada uno en la recuperación del recubrimiento vegetal.

Para ello se identifican diferentes sectores en los que se han aplicado en concreto dos tipos de tratamiento (triturado de árboles previamente apeados mediante astilladora y triturado de árboles en pie mediante cabezal desbrozador acoplado a una retroaraña) y sectores control en los que no hay constancia de haber aplicado ninguna enmienda tras el fuego.

Como variable de pendiente se utiliza el NDVI en dos momentos diferentes: tras el incendio y 4 años después del incendio con motivo de recoger también la amplitud de la regeneración vegetal post-incendio. Además, debido a la configuración geomorfológica de la zona se analizará la posible influencia en la regeneración vegetal de las distintas variables estrechamente influyentes en los ecosistemas semiáridos de pinar carrasco (*Pinushalepensis*) y coscoja de la zona afectada por el incendio de 2008, la orientación, la pendiente y la altitud.

Tres hipótesis son las que se van a manejar en este proyecto:

- 1: La respuesta espectral de las zonas en las que se ha aplicado diversos tratamientos post-incendio presenta diferencias significativas.
- 2: Las imágenes OLI proporcionan información sobre las propiedades biofísicas de la vegetación, constituyendo una fuente de información clave en el seguimiento y diagnóstico de las medidas aplicadas post fuego.
- 3: Las zonas donde se han aplicado técnicas post-incendio han tenido una recuperación más favorable que aquellas que no se han aplicado ninguna técnica.

MATERIALES Y MÉTODOS

1. Área de estudio. Aproximación geográfica al incendio de Zuera-Castejón de Valdejasa.

La zona de estudio se corresponde con el incendio forestal que tuvo lugar el 5 de agosto del 2008 en el término municipal de Zuera-Castejón de Valdejasa derivado de un accidente de tráfico en el paraje denominado Los Vallonés.

Este incendio se sitúa en los Montes de Zuera y Castejón de Valdejasa, provincia de Zaragoza, que constituye una extensa plataforma estructural situada a 25 Km al Norte de Zaragoza. Dentro del contexto estepario del Valle Medio del Ebro, se trata de una zona forestal de cierta altitud (en torno a los 700 m), relativamente aislada en el centro de la Depresión del Ebro dominada por pino carrasco (*Pinushalepensis*). Los suelos (Phaeozemréndzicos) poseen un horizonte superficial húmico sobre calizas.

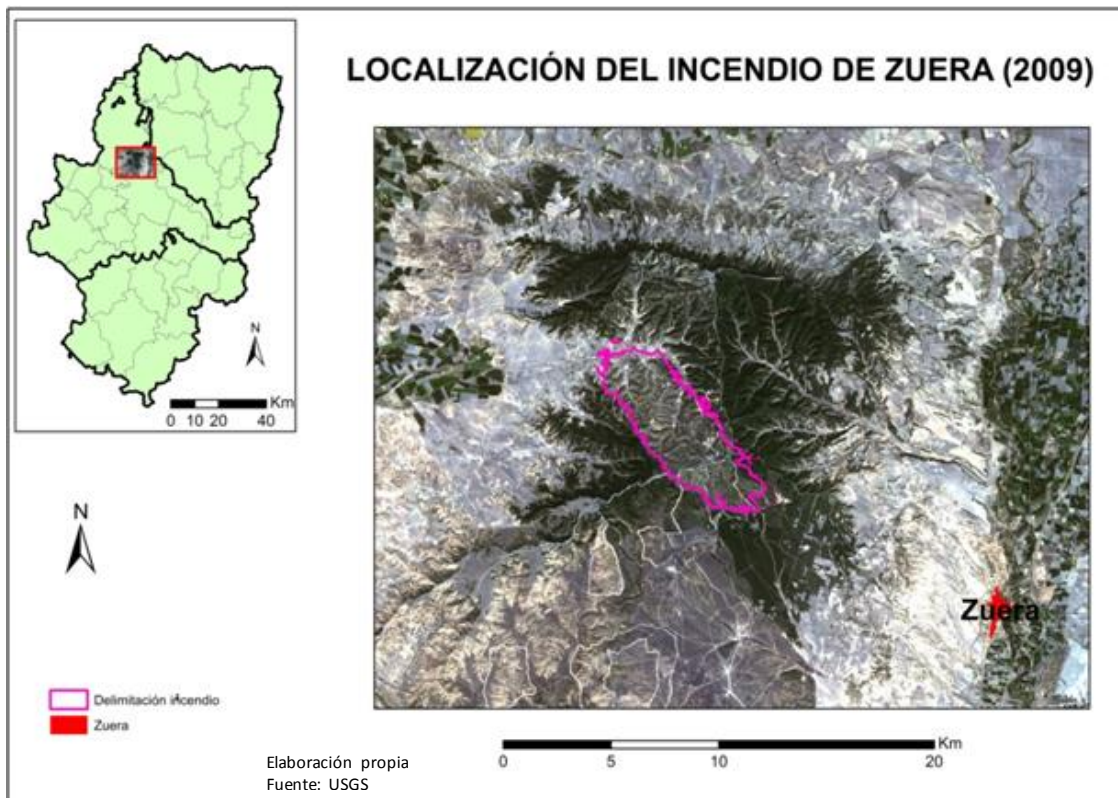


Figura 6. Mapa de localización del incendio de Zuera, Zaragoza (2009). Fuente: USGS.

La naturaleza litológica, constituida por una alternancia de materiales resistentes y deleznales, ha propiciado la existencia de una jerarquizada red hidrográfica en la que se suceden taludes y divisorias de carácter rocoso con fondos de valle de suelos más profundos. El relieve es ondulado, con gran variedad de orientaciones y sucesiones valle-ladera que dan origen a una configuración de valles principales y secundarios en *espina de pescado*.

El clima de esta zona corresponde al típicamente mesomediterráneo, con precipitaciones máximas primaverales y otoñales y mínimos estivales, especialmente en los meses de agosto. La precipitación y el régimen de temperaturas experimentan una gran variabilidad en función de la orientación y sector de los Montes de Zuera, siendo destacable el habitual gradiente altitudinal de los registros pluviométricos y térmicos (Cacho et al. 2009).

Los montes afectados se encuentran situados en las delimitaciones establecidas por la ZEPA y los dos montes afectados en Zuera se encuentran situados en zona LIC. Por ello se ha trabajado de cara a la restauración de la zona incendiada.

2. Tratamiento aplicado a la zona del incendio de Zuera-Castejón de Valdejasa.

En la zona afectada se establecieron diferentes rodales de actuación en función de varios criterios como el tipo de vegetación, las existencias en madera, y la propiedad de los montes. Se redactó un informe preliminar en el que se analizó la posibilidad de realizar aprovechamientos de madera o bien proponer trabajos de inversión, según las condiciones de cada uno de los rodales.

De ese informe y siguientes trabajos de análisis se concluyó que en la zona incendiada se pueden distinguir tres ámbitos de actuación bien diferenciados: Por un lado los terrenos quemados del campo de maniobras de San Gregorio, que son propiedad del Ministerio de Defensa y en el que las inversiones proceden del Estado, donde se están llevando a cabo labores de restauración consistentes en la eliminación de madera quemada mediante triturado en pie o astillado, creación de fajinas con los restos del incendio, así como una repoblación que tienen prevista en 140 hectáreas. Por otro lado, los montes de utilidad pública en Zuera, donde en principio se preveían que podían realizarse aprovechamientos de madera, sin suponer coste de inversión por parte de las Administraciones Públicas. Finalmente, los montes de utilidad pública de Castejón de Valdejasa y Tauste, en los que la escasa red viaria, las elevadas pendientes y desarrollo de las masas, impedían la retirada de madera mediante un aprovechamiento de madera (Jordán de Urries et al., 2008)

Los métodos puestos en marcha para la recuperación de los montes de Castejón comprenden las siguientes actuaciones:

- Trituración de árboles en pie mediante cabezal desbrozador acoplado a una retroaraña (TP) encontradas mayoritariamente al Noroeste del área de estudio.
- Trituración de árboles previamente apeados, mediante astilladora (TA) aplicadas en la zona Noroeste del área de estudio.
- Construcción de fajinas con los fustes y ramas, en aquellas zonas con mayor pendiente.

En la Figura 7 se muestra una cartografía en la que podemos observar la delimitación que ocupan las técnicas de recuperación estudiadas (TA y TP) y la delimitación de cuarenta polígonos control (C) en zonas exentas de tratamiento creadas con el fin de compararlas posteriormente. Dicha información fue cedida por el Dr. David Badía (Escuela Politécnica Superior de la Universidad de Zaragoza).

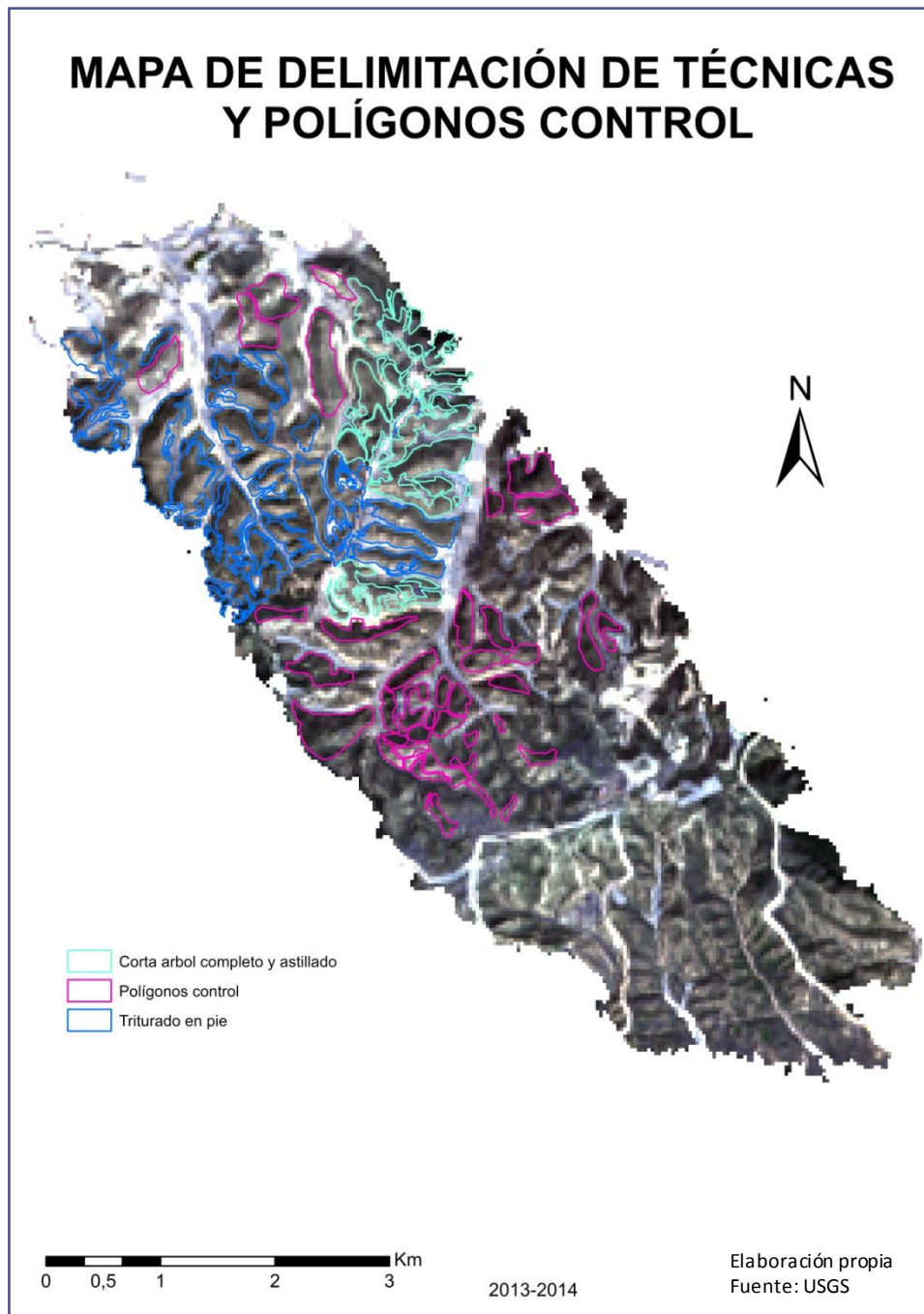


Figura 7: Cartografía técnicas post-incendio aplicadas en el área de estudio del incendio de los montes de Zuera y Castejón de Valdejasa. Fuentes: imagen de satélite: USGS (2009); Cartografía de tratamientos: Dr. David Badía (Universidad de Zaragoza). Elaboración propia.

3. Presentación de las imágenes OLI de la misión LANDSAT 8

El 11 de febrero del 2013 fue lanzado el satélite Landsat 8 (cuyo nombre técnico es LDCM: Landsat Data Continuity Mission, Misión de Continuidad de la Información Landsat) que es fruto de una operación conjunta entre la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (NASA) y el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS).

Landsat 8, que ha reemplazado a Landsat 5 TM y Landsat 7 ETM+, cuenta con dos instrumentos de toma de datos: el OLI (Operational Land Imager, o Generador Operacional de Imágenes de Tierra) y el TIRS (Thermal Infrared Sensor, o Sensor Infrarrojo Térmico).

Las escenas de Landsat 8 tienen un total de 11 bandas espectrales, 9 tomadas por el OLI y 2 por el TIRS. En la siguiente tabla se describen las principales características de las mismas:

Bandas Espectrales de OLI	Longitud de onda	Resolución
Banda 1 - Costero / Aerosol	0.433 - 0.453 μm	30 m
Banda 2 - Azul	0.450 - 0.515 μm	30 m
Banda 3 - Verde	0.525 - 0.600 μm	30 m
Banda 4 - Roja	0.630 - 0.680 μm	30 m
Banda 5 - Infrarrojo cercano	0.845 - 0.885 μm	30 m
Banda 6 - Infrarrojo de onda corta	1.560 - 1.660 μm	30 m
Banda 7 - Infrarrojo de onda corta	2.100 - 2.300 μm	30 m
Banda 8 - Pancromática	0.500 - 0.680 μm	15 m
Banda 9 - Cirrus	1.360 - 1.390 μm	30 m

Bandas Espectrales de TIRS	Longitud de onda	Resolución
Band 10 - Infrarrojo termal o de onda larga	10.30 - 11.30 μm	100 m
Band 11 - Infrarrojo termal o de onda larga	11.50 - 12.50 μm	100 m

Figura 8: Bandas espectrales del satélite Landsat 8. Fuente: <http://www.usgs.gov/>

Las bandas espectrales del sensor OLI, aunque similares al sensor Landsat7 ETM +, proporcionan una mejora de los instrumentos de las misiones Landsat anteriores, debido a la incorporación de dos nuevas bandas espectrales: un canal profundo en el azul visible (banda 1), diseñado específicamente para los recursos hídricos e investigación en zonas costeras, y un nuevo canal infrarrojo (banda 9) para la detección de nubes cirrus. Esto proporciona información más detallada sobre la presencia de características tales como las nubes, agua y nieve. Adicionalmente una nueva banda de control de calidad se incluye con cada producto de datos generado.

4. Tratamiento de las imágenes y aplicación del NDVI

Se realiza un tratamiento digital de la información de los datos adquiridos mediante el índice de vegetación de NDVI (*Normalised Difference Vegetation Index*). Consiste en

un coeficiente que estudia pixel a pixel los niveles digitales almacenados en dos o más bandas de la imagen. Lo utilizaremos con el fin de discriminar entre distintas cubiertas con comportamiento reflectivo diferente. De este modo podremos saber que zonas tienen un nivel de regeneración mayor y cuáles menor.

Para representar el cambio que ha experimentado la zona de estudio entre 2009, al poco de suceder el incendio, y el de 2013, se han descargado dos imágenes: la imagen de 2009 mediante el servidor Glovis la cual fue tomada el 24 de julio de 2009 por el satélite Landsat 5 a las 10:31:48, compuesta por 7 bandas, y la imagen del 2013, adquirida a partir de la descarga de la imagen OLI del satélite Landsat 8 del visor EarthExplorer con origen "Imagecourtesy of the U.S. Geological Survey". Fue adquirida el 17-06-2013 a las 10:44:46.

Para que los programas informáticos operen con mayor rapidez se procede a recortar las imágenes descargadas mediante el programa de ERDAS realizando un "subset". A continuación se realiza un multi-banda con ambas imágenes y se calcula el NDVI.

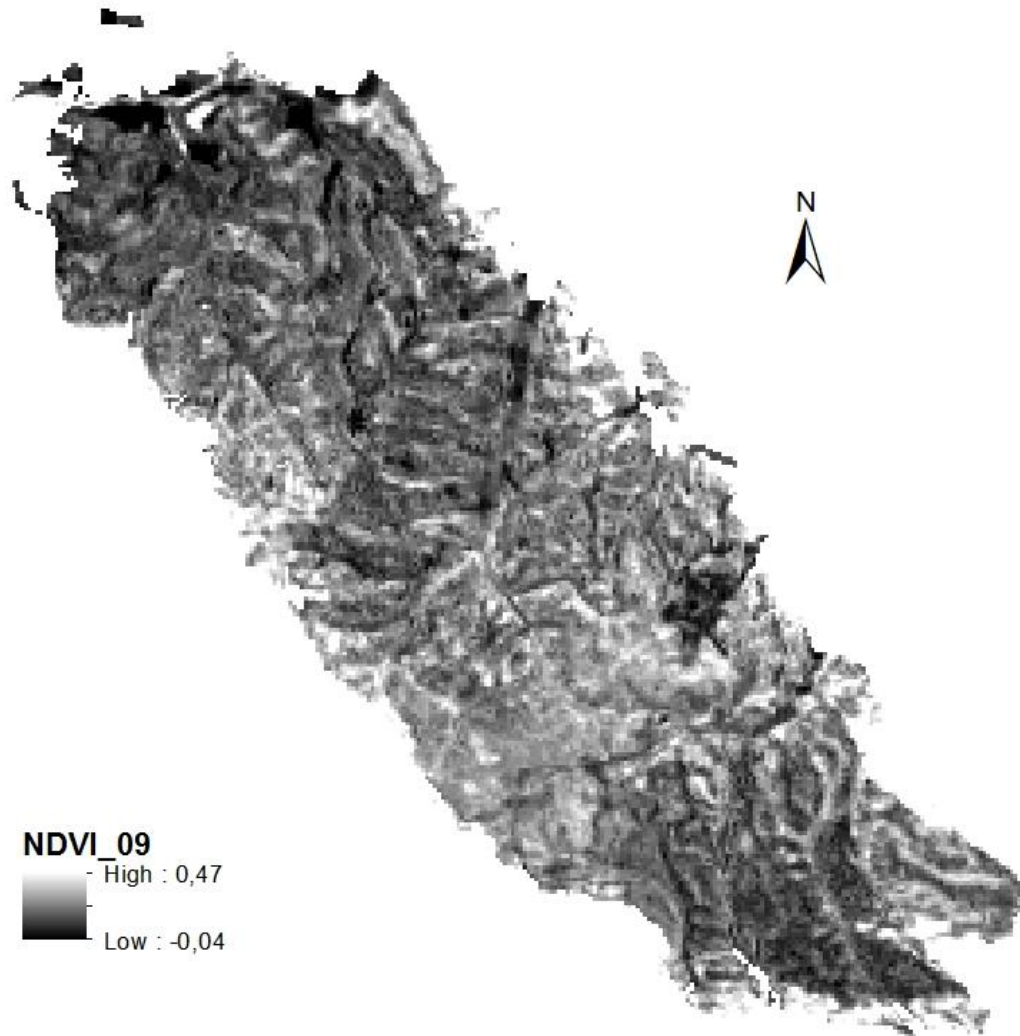
En la imagen de 2009 se realiza el multi-banda con todas las bandas: B1, B2, B3, B4, B5, B6, B7 y a continuación se procede a calcular el NDVI y creando una nueva imagen denominada "NDVI_09" guardada en formato ".img", correspondiendo a una de las principales variables de estudio en dicho proyecto.

En la imagen de 2013 se procede a realizar también un multi-banda, aunque en este caso eliminaremos aquellas bandas que no sean útiles para el estudio. De este modo el multi-banda quedará formado por las bandas: B2, B3, B4, B5, B6, y B7.

Al igual que en la imagen anterior, se procede a calcular el Índice de Vegetación (NDVI) en ERDAS a la imagen recortada de 2013. A esta nueva imagen se le denominará "NDVI_13", guardada en formato ".img".

En la Figura 9 y 10 podemos observar el resultado de la cartografía del NDVI_09 y el NDVI_2013, respectivamente.

MAPA NDVI AÑO 2009



NDVI_09
- High : 0,47
- Low : -0,04

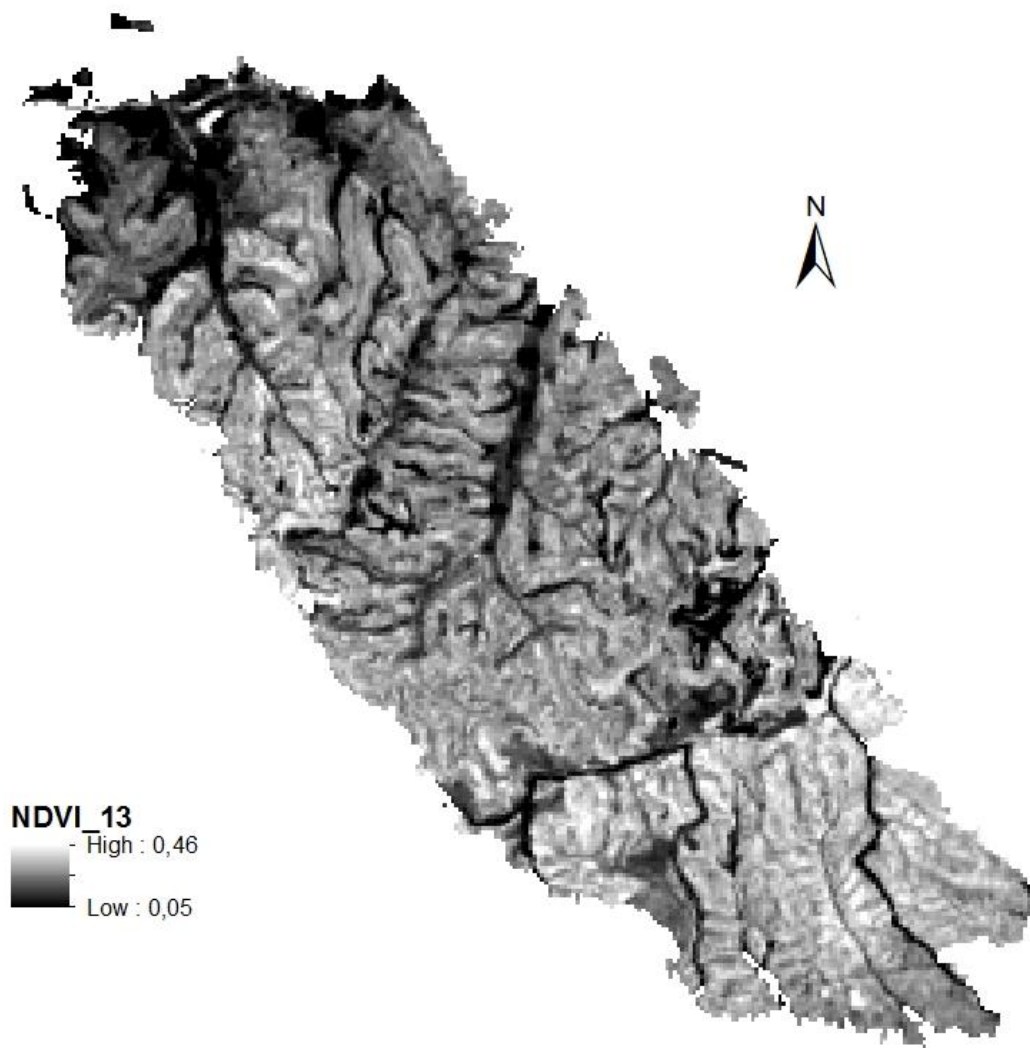
0 0,5 1 2 Km

Curso 2013-2014.

Elaboración propia

Figura 9: Mapa de NDVI en el año 2009. Elaboración propia. Fuente: USGS

MAPA NDVI AÑO 2013



Curso 2013-2014.

Elaboración propia

Figura 10: Mapa de NDVI en el año 2013. Elaboración propia. Fuente: USGS

En las figuras se puede observar las diferencias del NDVI en el 2009 y en el 2013, donde a priori se podría determinar que los niveles NDVI del 2013 son mayores que los del 2009.

Para el estudio utilizaremos el programa ArcGis y las distintas capas de polígonos referentes a las técnicas post-incendio y los polígonos control.

Con el fin de simplificar informáticamente el nombre de las distintas técnicas que se han aplicado se procede a renombrarlas mediante la agregación de un nuevo campo denominado “Etiqueta” en cada tabla de atributos de las dos capas de las técnicas post-incendio así como en la nueva capa creada de polígonos control. Se les ha dado el nombre de “C” a los polígonos control, “TA” a la técnica de triturado de árboles previamente apeados mediante astilladora y “TP” a triturado de árboles en pie mediante cabezal desbrozador acoplado a una retroaraña.

Una vez renombrados, se ha procedido a unir todos los polígonos mediante la función “Merge” de ArcGis para crear una única capa denominada “MERGE_POLIG”.

Al observar en detalle las características multispectrales de los distintos polígonos, aparecen comportamientos muy dispares entre ellos por lo que se llega a la conclusión de que no solo las técnicas post-incendio están influyendo en la cubierta vegetal, sino que hay otras variables que están influyendo en el medio para que se den estos resultados.

5. Cartografía de las distintas variables de estudio: altura, pendiente y orientación.

Una vez representados los NDVI se procede a estudiar las distintas variables que pueden ser motivo de que el NDVI adquiera determinados valores tras la aplicación de las técnicas post-incendio en unas áreas y el crecimiento de la vegetación de forma natural en otras áreas seleccionadas aleatoriamente.

De este modo, a través del Instituto Geográfico Nacional (IGN) se descarga el MDE y el zip de BTN25 de las hojas 322-2 y 322-4, mediante los cuales podemos crear mapas de orientación, de pendientes y de alturas para analizar las distintas variables que pueden afectar a los índices de vegetación.

En primer lugar se analiza la morfología topográfica del área de estudio según pendientes y altura.

Teniendo en cuenta las curvas de nivel del área de estudio y el MDE podemos realizar un mapa de alturas. Así cargando las capas en el programa de ArcGis y siguiendo con la creación de un TIN podemos proyectar un mapa de alturas representado en metros, quedando como resultado el siguiente mapa:

MAPA DE ALTURAS DEL ÁREA DE ESTUDIO (m)

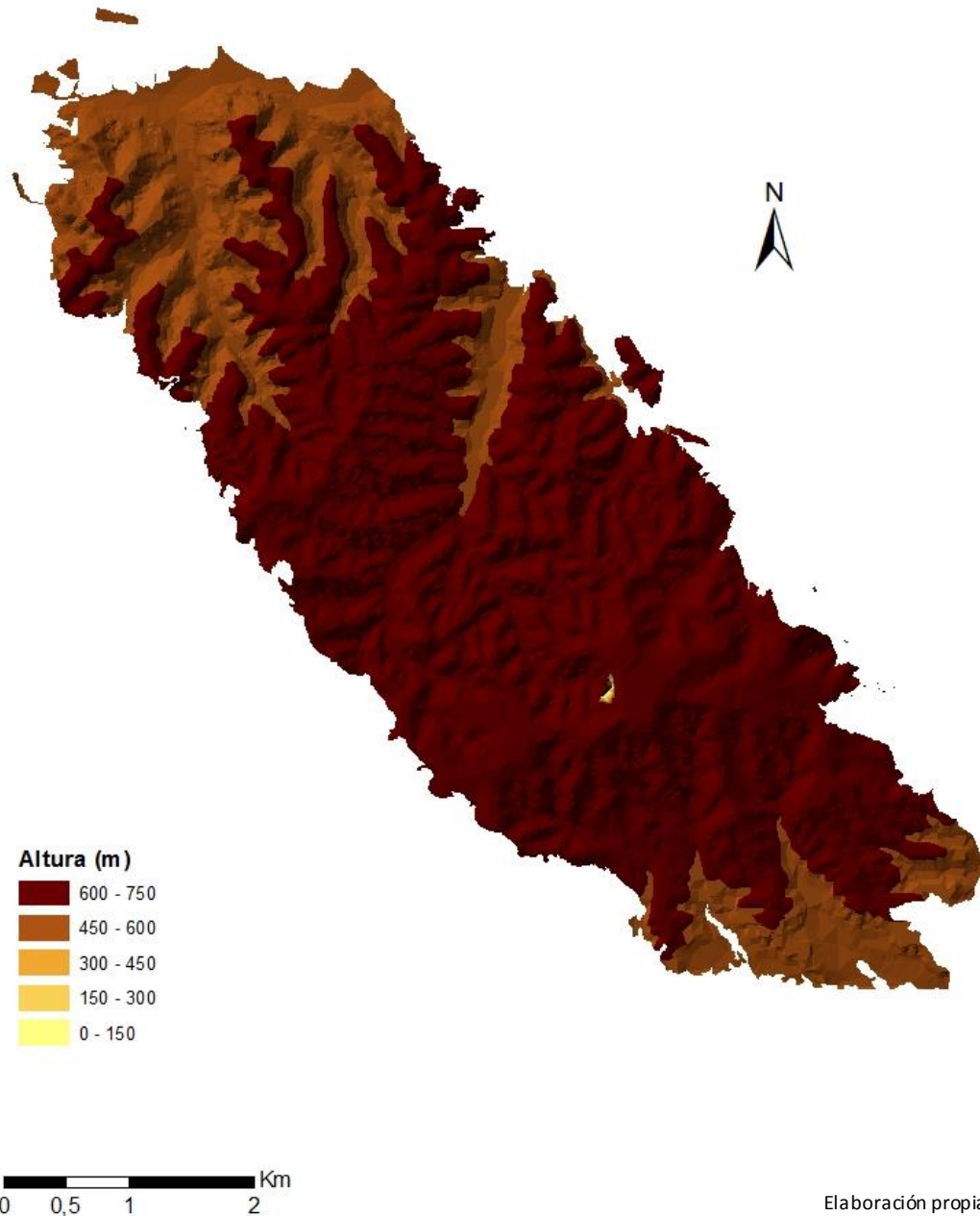


Figura 11: Mapa de alturas del área de estudio. *Elaboración propia.*

Como podemos observar en el mapa, la mayoría de las alturas del área de estudio se encuentran entre 450 y 750 metros, siendo menores en el norte y sur de la zona.

Por lo tanto se distinguen dos sectores topográficos relevantes, situados el primero al sur, en la zona de comienzo del incendio, y el segundo al norte, en la zona de extinción de la cabeza.

La separación entre ambos sectores se produce por una divisoria de aguas dispuesta perpendicularmente al avance del fuego y situada en la zona conocida como *Vértice San Esteban*, punto de mayor altitud de todo el entorno que separa las cuencas de los ríos Gállego y Arba (Grupo de Apoyo al Director de Extinción de Incendios Forestales, Gobierno de España, 2010).

Con las mismas capas podemos crear también un mapa de pendientes mediante la función de Slope y un mapa de orientación mediante la función de Aspect dando como resultado la Figura 12 y Figura 13.

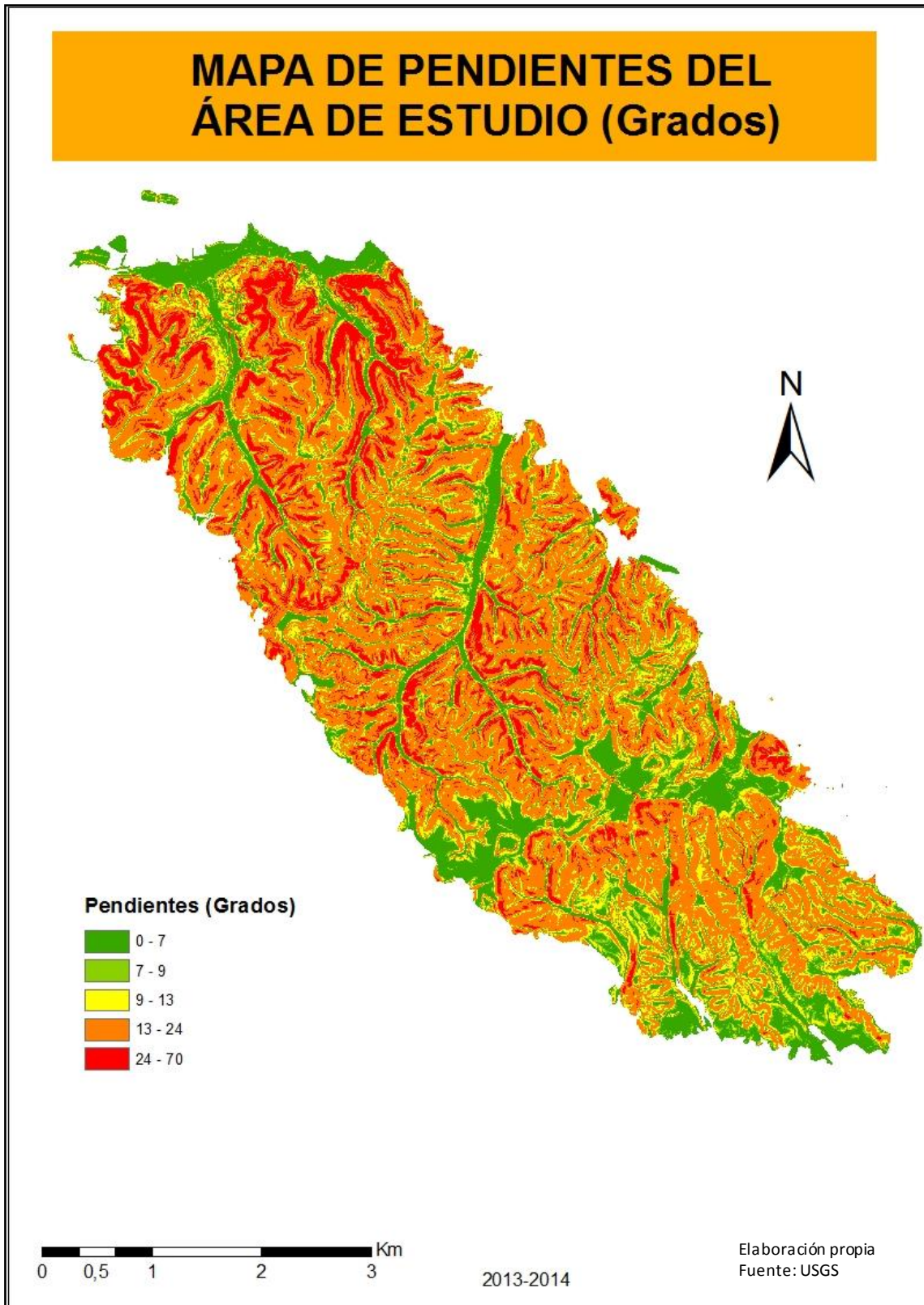


Figura 12: Mapa de pendientes del área de estudio. *Elaboración propia.*

Podemos observar que en la zona norte y sureste del área es donde se encuentran las menores pendientes, aunque la mayoría de la zona quemada tiene pendientes que oscilan entre los 13 y 24 grados.

El mapa de orientación también está representado según los grados y reclasificado en Noroeste, Suroeste, Sureste y Noreste.

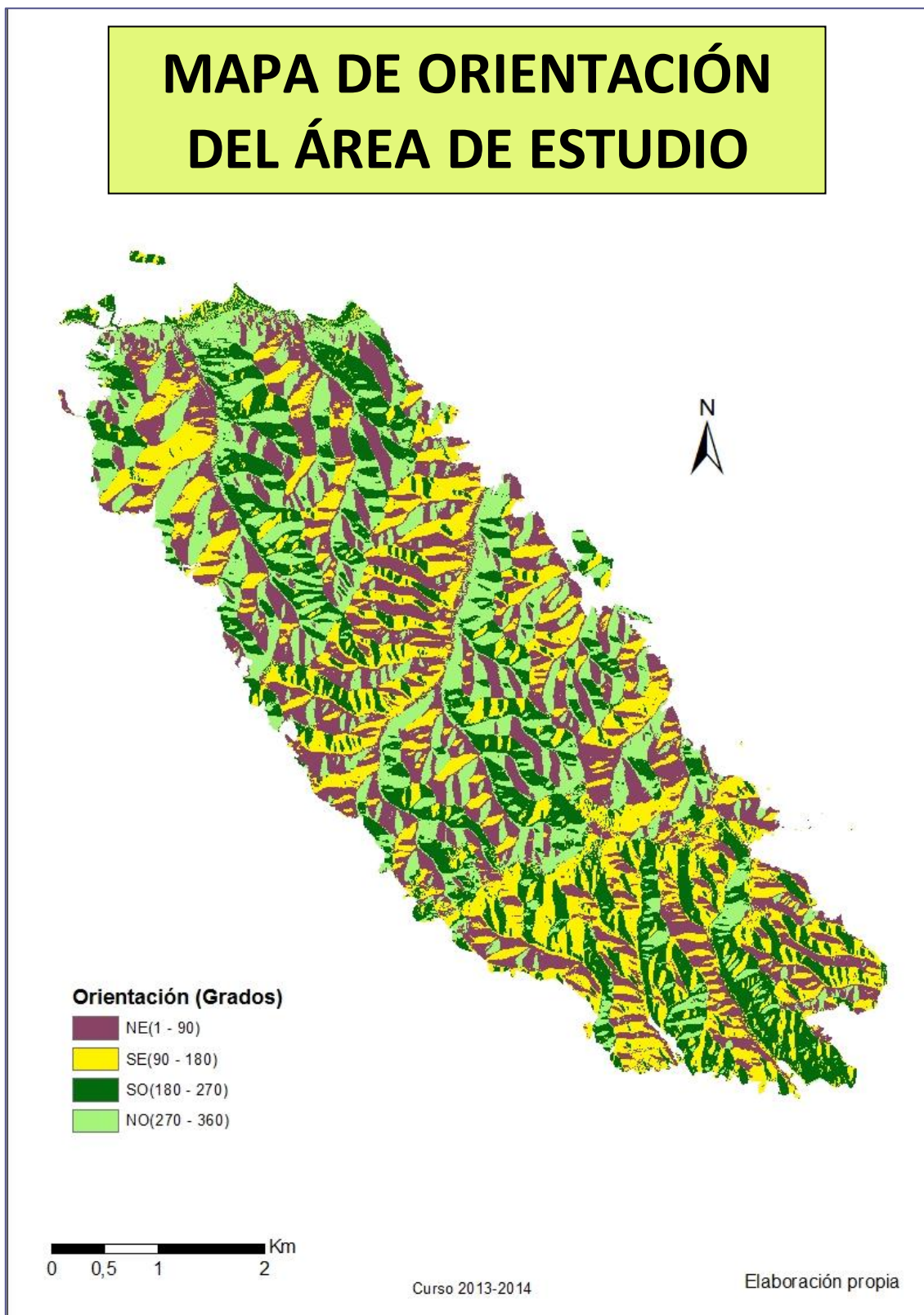


Figura 13: Mapa de orientación del área de estudio. *Elaboración propia.* Fuente: IGN

Una vez que se ha reclasificado la información de los tres mapas analizados se procede a realizar una tabla estadística para trabajar los resultados de una manera más detallada.

Para ello uniremos en primer lugar las capas de las dos técnicas estudiadas (TP y TA) y la de polígonos control (C) creando así una nueva capa denominada “Merge_técnicas_post” a través de la cual exportaremos los datos estadísticos de: NDVI_2009, NDVI_2013, los valores del mapa de pendientes, del mapa de orientación y del mapa de altura en función a su Área, Mínimo, Máximo, Rango, Media, Desviación estándar (STD) y sumatorio tal como queda expuesta en el Anexo II.

A partir de estos datos se realiza un análisis ANOVA con objeto de identificar si existen diferencias estadísticamente significativas entre distintos tratamientos. Esta estadística la aplicaremos para las 3 poblaciones de datos renombradas C, TA y TP y sus respectivos índices de vegetación y variables de estudio, pixel a pixel.

Para ello se utiliza el programa estadístico de SPSS, en el que se introduce todos los datos obtenidos de las tablas Excel creadas mediante ArcGis, y se utiliza la media para realizar los distintos gráficos y comparaciones estudiadas.

RESULTADOS

Se encontraron resultados dispares en función de las variables estudiadas y según la ubicación de los tratamientos, de este modo en la Tabla 1 se observa un resumen de la media de los principales estadísticos en todas variables estudiadas apreciándose la diferencia que hay en los niveles del NDVI entre el año 2009 y los del año 2013, siendo estos últimos más elevados. Ello es indicador por lo tanto de que la vegetación ha colonizado en ese periodo de tiempo el área quemada.

Estadísticos descriptivos

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típ.	Varianza
NDVI_09	129	0,00	0,20	0,09	0,03	0,001
NDVD_13	129	0,13	0,31	0,24	0,03	0,001
Pendientes	141	4,39	27,57	17,72	4,27	18,30
Orientación	141	26,91	343,08	169,07	67,03	4494,10
Altura	141	555,51	719,61	635,52	37,08	1375,47

Tabla 1: Estadísticos descriptivos de las variables. Elaboración propia.

A continuación se muestra una tabla donde se ha realizado ANOVA de un factor mediante comparación de medias con el fin de comprobar si hay diferencias estadísticas significativamente.

Técnicas*	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo	
					Límite inferior	Límite superior			
NDVD_13	C	41	0,26	0,02	0,003	0,25	0,26	0,20	0,31
	TA	37	0,22	0,03	0,003	0,21	0,23	0,13	0,26
	TP	51	0,24	0,07	0,004	0,23	0,25	0,17	0,30
	Total	129	0,24	0,03	0,002	0,23	0,24	0,13	0,31
NDVI_09	C	41	0,10	0,02	0,004	0,09	0,10	0,05	0,15
	TA	37	0,08	0,04	0,006	0,06	0,09	0,00	0,20
	TP	51	0,09	0,03	0,005	0,07	0,10	0,04	0,19
	Total	129	0,09	0,03	0,003	0,08	0,09	0,00	0,20
Pendientes	C	41	19,30	3,19	0,499	18,29	20,31	9,65	25,70
	TA	39	15,82	4,24	0,679	14,44	17,19	5,91	23,59
	TP	61	17,87	4,51	0,578	16,71	19,03	4,39	27,57
	Total	141	17,72	4,27	0,360	17,01	18,43	4,39	27,57
Orientación	C	41	187,57	53,05	8,285	170,82	204,31	91,09	316,96
	TA	39	168,93	65,02	10,41	147,85	190,01	74,30	343,08
	TP	61	156,73	74,45	9,53	137,66	175,80	26,91	305,31
	Total	141	169,07	67,03	5,64	157,91	180,23	26,91	343,08
Altura	C	41	661,78	37,76	5,89	649,86	673,70	578,02	719,61
	TA	39	624,90	24,52	3,92	616,95	632,85	575,46	665,19
	TP	61	624,65	34,83	4,46	615,73	633,57	555,51	697,01
	Total	141	635,52	37,08	3,12	629,34	641,69	555,51	719,61

Tabla2: Tabla descriptiva mediante comparación de medias. Elaboración propia

*(C: control; TA: Triturado de árboles previamente apeados; TP: Triturado de árboles en pie mediante cabezal desbrozador acoplado a una retroaraña)

La Tabla 2 nos muestra un desglose de las distintas variables con las medias de los estadísticos de cada una de las técnicas. Así cabe destacar que en el NDVI_2013, tiene unos valores mayores en aquellas áreas en las que no se les han aplicado ningún tratamiento, seguidas de aquellas áreas en las que se ha aplicado la técnica TP (triturado de árboles en pie mediante cabezal desbrozador acoplado a una retroaraña). Las áreas que tienen un NDVI menor son aquellas en las que se ha aplicado la técnica TA (triturado de árboles previamente apeados, mediante astilladora).

Estos resultados podrían estar influenciados por los distintos valores que adquieren las pendientes, la orientación y la altura en cada una de las subpoblaciones de tratamientos, de este modo podemos observar en el apartado de pendientes que los píxeles

delimitados como Control (C) presentan una mayor pendiente media y en cuanto a la orientación, la mayoría de los píxeles de las tres subpoblaciones presenta una componente meridional dominante. Como la pendiente y la orientación del terreno determinan el ángulo de incidencia solar, podría ser motivo influyente en la variación de los resultados.

La variable de altura apenas muestra diferencias entre grupos, aunque son estadísticamente significativas. Los valores más elevados los encontramos en los píxeles que constituyen la subpoblación de las zonas de control (661,78 m de media).

En relación con los valores de NDVI, el diagrama de caja del Gráfico 1 representa los valores máximos y mínimos (líneas superior e inferior, respectivamente, de los extremos de la caja); información sobre la mediana que corresponde a la línea central horizontal que corta la caja, e información sobre la distribución del 50% de los datos mediante los percentiles del 75% y 25%. Además este diagrama representa los valores extremos de cada distribución siendo por ejemplo los polígonos 71 y 63 valores máximos extremos correspondientes a los polígonos control (C) y que son importantes tenerlos en cuenta en los resultados finales.

Diagrama de caja (Box- Plot)

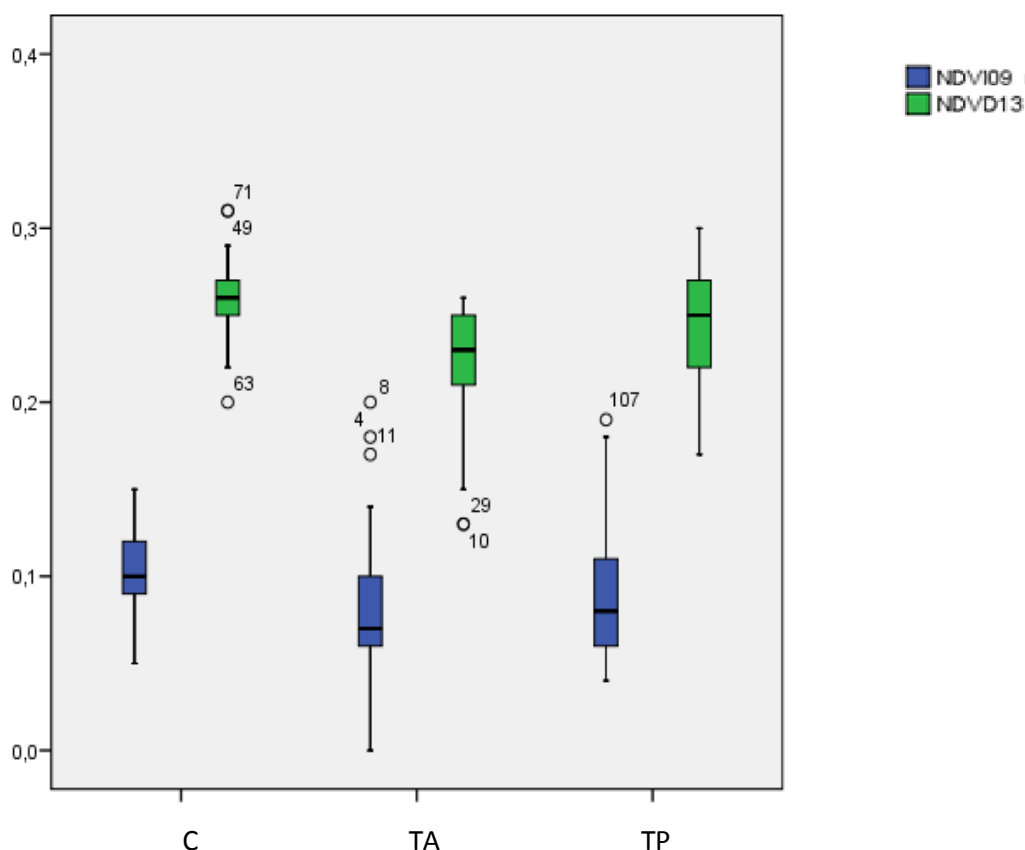


Gráfico 1: Gráfico de comparación de medias entre NDVI 2009 y NDVI 2013 según tratamiento con barras de error. *Elaboración propia.*

Muestra por lo tanto que los valores de NDVI en 2009 y 2013, siguen la misma tendencia y son los polígonos C los que muestran mayores niveles de NDVI en ambos años.

Se observa también la clara diferencia que hay en los niveles de NDVI con respecto a los dos años siendo los valores superiores tras la aplicación de los tratamientos. Así por ejemplo, en el tratamiento TA (técnica de triturado de árboles previamente apeados mediante astilladora) los polígonos 29 o 10 se encuentran muy por debajo de la media. El Gráfico 2 representa un diagrama de dispersión de los valores del NDVI en las dos fechas consideradas, representando en color el tipo de actuación postincendio..

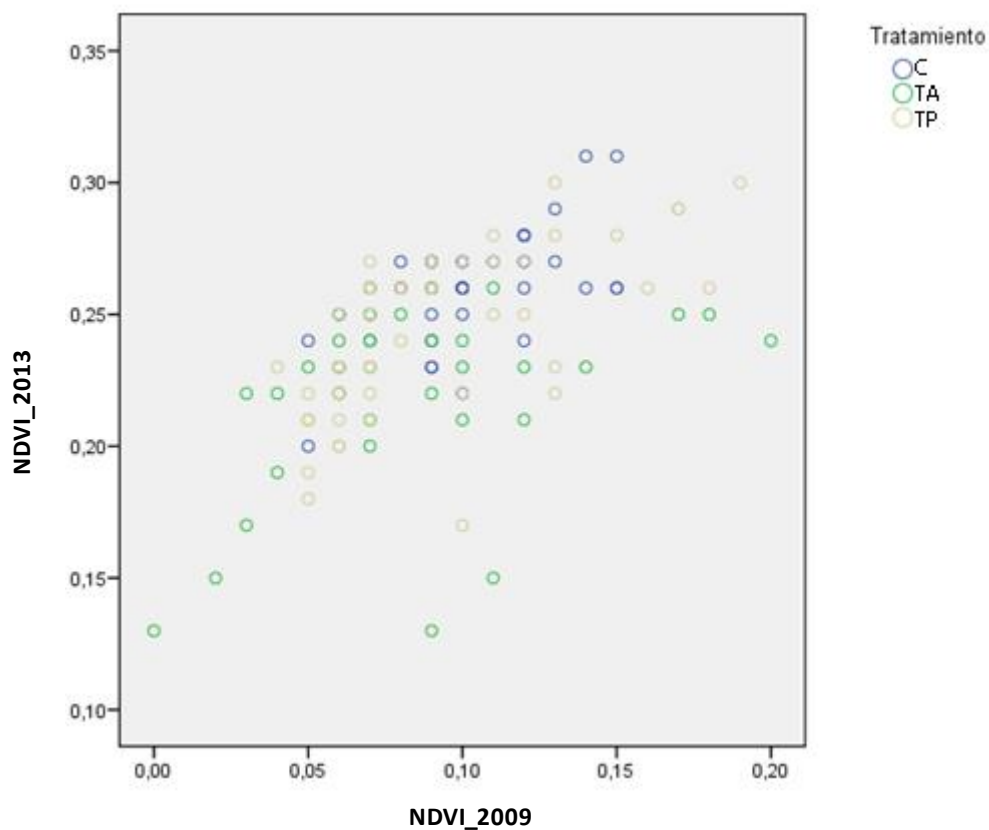


Gráfico 2: Diagrama de dispersión según tratamiento. *Elaboración propia.*

En el Gráfico 2 se observa una relación lineal positiva, es decir, cuanto mayor son los valores del NDVI en 2009, mayor son también los valores del 2013, pero hay datos que se pierden en esta correlación lineal, sobre todo aquellos pertenecientes al tratamiento TA (triturado de árboles previamente apeados mediante astilladora), lo que da pie a pensar que en estos polígonos el tipo de actuación postincendio no ha tenido el efecto esperado aunque en ningún caso se ha quedado un estado de cubierta vegetal igual que en año 2009.

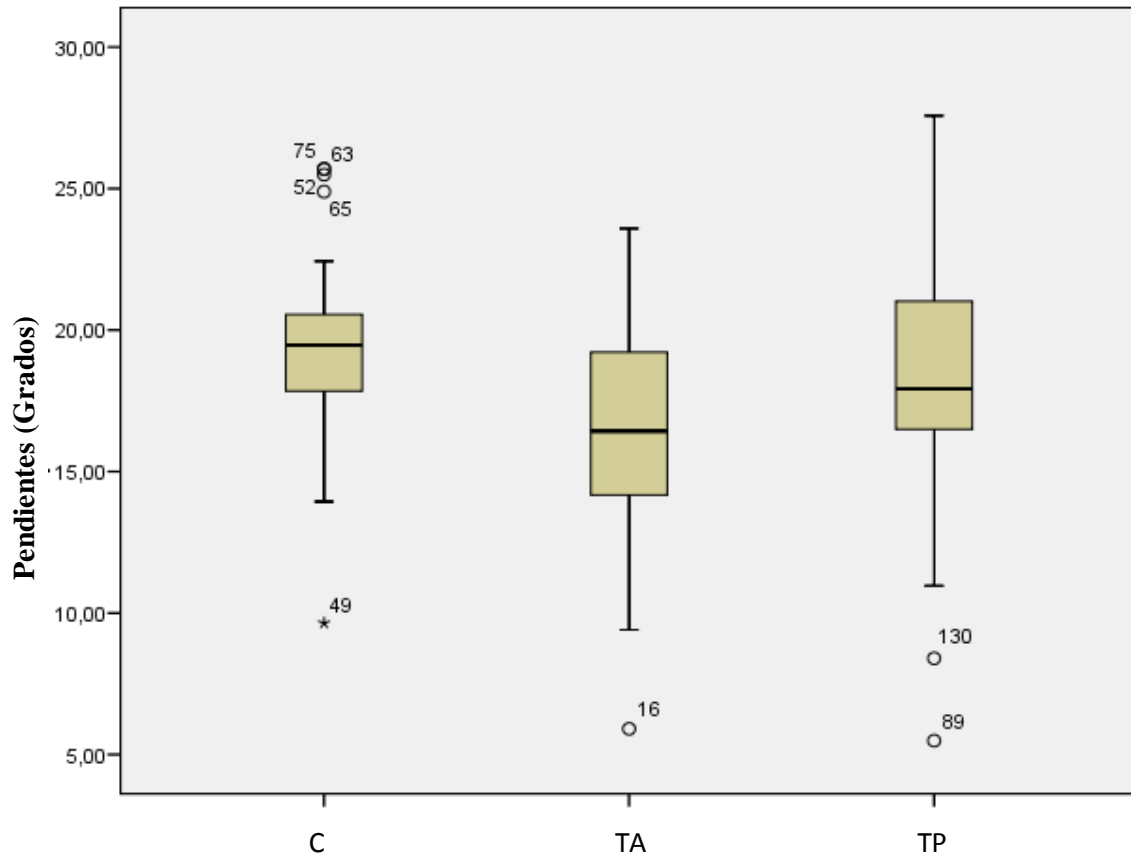


Gráfico 3: Media de las pendientes según tratamiento con barras de error. *Elaboración propia.*

En el Gráfico 3 se observa un nuevo diagrama de cajas que determina que las pendientes medias de los polígonos control son más abruptas que en las zonas donde se han aplicado los tratamientos. Muestra que los tres casos hay una serie de polígonos que se alejan de la media y tienen valores disparados tal y como hemos visto anteriormente y por lo que puede influir en los resultados finales y provocando un aumento de las diferencias estadísticas. En cuanto a los tratamientos TA y TP tienen una pendiente similar. La pendiente podría ser una de las variables importantes en los resultados que se muestran.

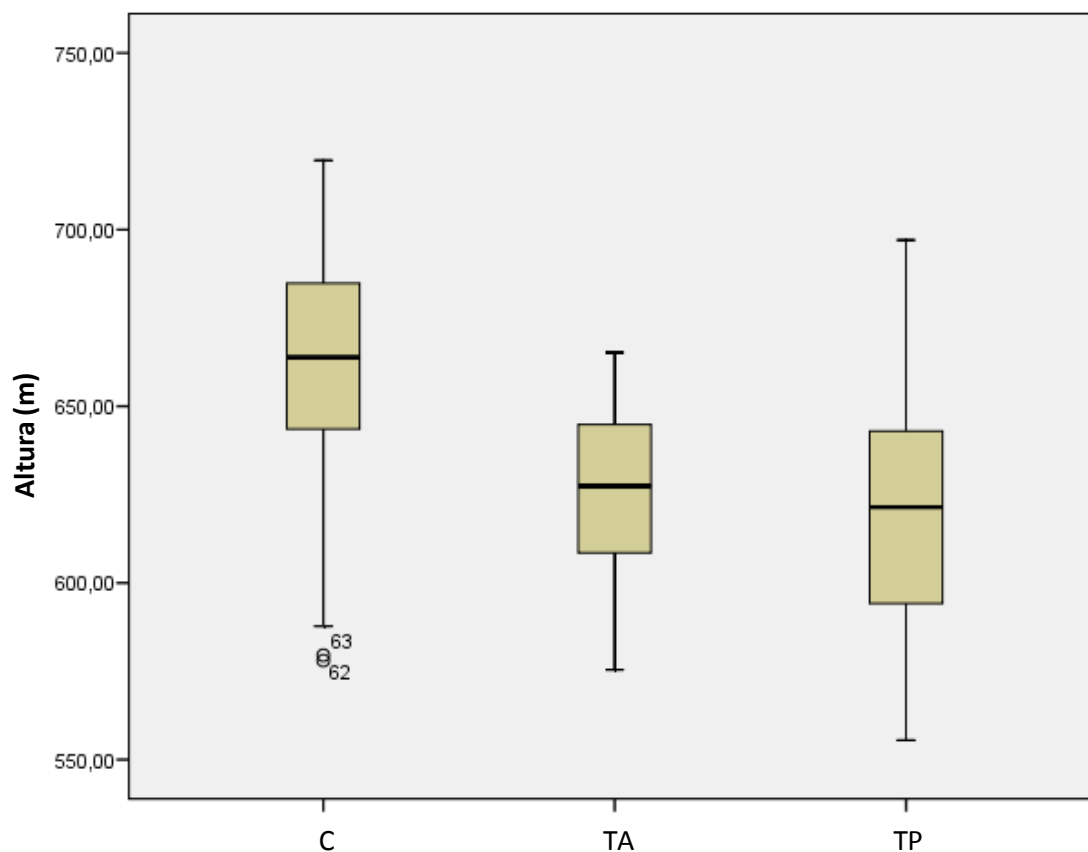


Gráfico 4: Media de la altura según tratamiento con barras de error. *Elaboración propia.*

Según la morfología del terreno, tras observar los Gráficos 3 y 4, se puede observar que no hay grandes diferencias entre una y otra área de tratamiento, pero que son los polígonos control los que más difieren entre los otros dos tratamientos. La altura media a la que se han realizado los tratamientos post- incendio (Gráfico 4) no se encuentran diferencias significativas, pero sí que las hay en relación a los polígonos control por lo que a priori se podría considerar una variable que influye junto con la pendiente en la variación del NDVI, aun sabiendo que ninguna de estas favorables es favorable para el desarrollo de la vegetación. Cabe señalar, por lo tanto, que existen otros factores que podrían estar influyendo en estos resultados.

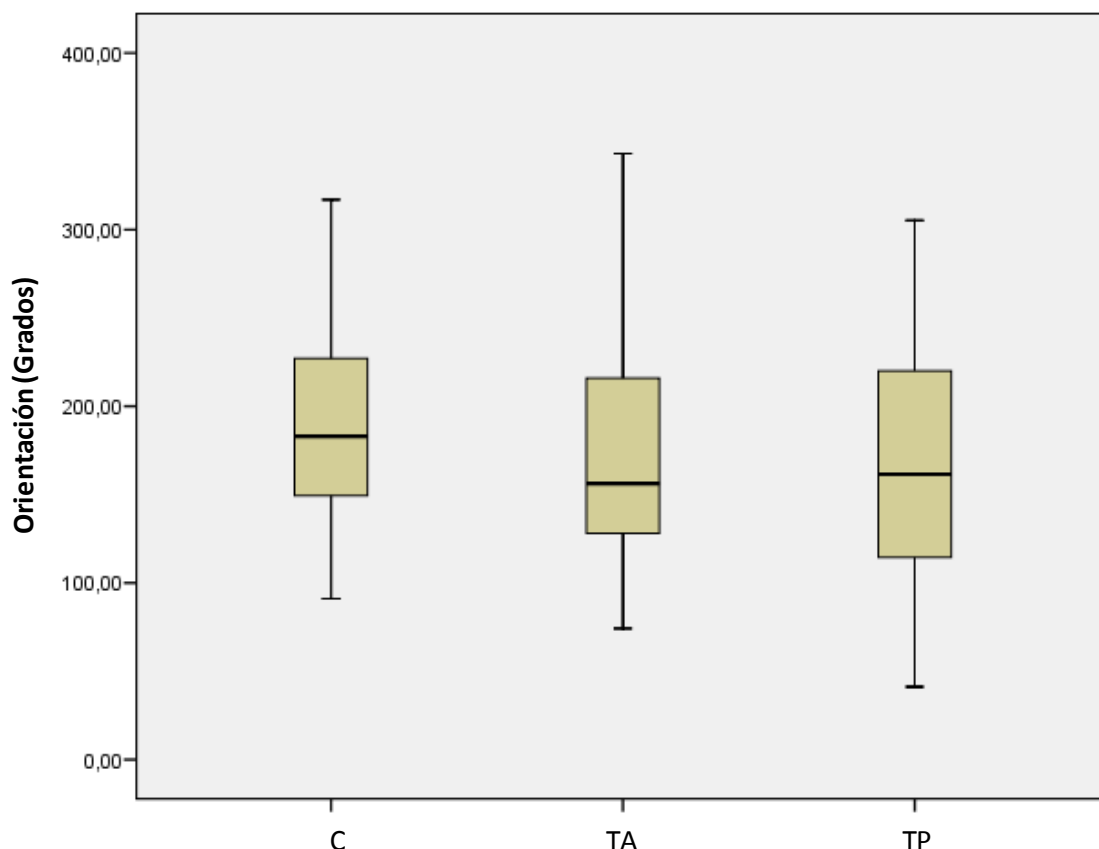


Gráfico 5: Media de orientación según tratamiento con barras de error. *Elaboración propia.*

Número de polígonos respecto a la orientación

Técnicas	Sur(91-270)	Norte(271-90)
TP	44	17
TA	32	7
C	39	1

Tabla 3: Comparación de polígonos según técnica y orientación. *Elaboración propia.*

Se observa cómo en los polígonos control (C), donde hemos observado que había índices de vegetación mayores, corresponden casi en su totalidad a polígonos orientados al Sur.

En general, la mayoría de los polígonos se encuentran también orientados al Sur y apenas hay diferencias estadísticas, por lo que se podría descartar como variable influyente a la recuperación más o menos favorable de la vegetación.

A continuación se realiza la prueba Post-Hoc que consiste en hacer comparaciones múltiples para observar que grupos tienen medias significativamente distintas.

Variable dependiente	(I) Tratamiento	(J) Tratamiento	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.
			Límite inferior	Límite superior	Límite inferior
NDVD_13	C	TA	0,03808(*)	0,00676	0,000
		TP	0,01711(*)	0,00625	0,021
	TA	C	-0,03808(*)	0,00676	0,000
		TP	-0,02098(*)	0,00644	0,004
	TP	C	-0,01711(*)	0,00625	0,021
		TA	0,02098(*)	0,00644	0,004
NDVI_09	C	TA	0,01927	0,00819	0,060
		TP	0,01132	0,00757	0,413
	TA	C	-0,01927	0,00819	0,060
		TP	-0,00796	0,00780	0,928
	TP	C	-0,01132	0,00757	0,413
		TA	0,00796	0,00780	0,928
Pendientes	C	TA	3,48495(*)	0,91656	0,001
		TP	1,43362	0,82753	0,256
	TA	C	-3,48495(*)	0,91656	0,001
		TP	-2,05133(*)	0,84012	0,048
	TP	C	-1,43362	0,82753	0,256
		TA	2,05133(*)	0,84012	0,048
Orientación	C	TA	18,63455	14,82061	0,632
		TP	30,83745	13,38100	0,068
	TA	C	-18,63455	14,82061	0,632
		TP	12,20290	13,58464	1,000
	TP	C	-30,83745	13,38100	0,068
		TA	-12,20290	13,58464	1,000
Altura	C	TA	36,87200(*)	7,44046	0,000
		TP	37,12573(*)	6,71772	0,000
	TA	C	-36,87200(*)	7,44046	0,000
		TP	0,25373	6,81996	1,000
	TP	C	-37,12573(*)	6,71772	0,000
		TA	-0,25373	6,81996	1,000

Tabla 4: Tabla prueba Post- Hoc, comparaciones múltiples. *Elaboración propia*

En la Tabla 4 observamos en color amarillo aquellos grupos que tienen diferencias estadísticas significativas. De este modo el agrupamiento de técnicas correspondientes al NDVI del 2013, presentan niveles de regeneración diferentes desde el punto de vista estadístico. En cambio en la orientación no hay diferencias significativas tal como se ha mencionado anteriormente.

Por lo tanto se confirma la Hipótesis 1 en la que se planteaba que la respuesta espectral de las zonas en las que se ha aplicado diversos tratamientos post-incendio presenta diferencias significativas. La Hipótesis 2 también se confirma ya que gracias a las imágenes OLI se ha podido realizar un análisis detallado de las propiedades actuales de la vegetación, constituyéndose muy útil para el diagnóstico de áreas quemadas.

Finalmente la Hipótesis 3 donde se afirma que las zonas donde se han aplicado técnicas post-incendio han tenido una recuperación más favorable que aquellas que no se han aplicado ninguna técnica, queda rechazada ya que tras el análisis se ha comprobado que

en los polígonos control (C), en los que no se ha aplicado ningún tratamiento post-incendio, la vegetación se ha recuperado más favorablemente que en aquellos polígonos en los que sí que se ha aplicado alguna técnica. Sin embargo, la mayor altura que presentan los polígonos control podría estar influenciando positivamente los niveles de regeneración vegetal en relación con los polígonos de tratamiento ubicados en zonas de menor altitud en el contexto del incendio.

CONCLUSIONES

La recuperación de la vegetación después de un gran incendio depende de la severidad del propio incendio, pero también de la capacidad de regeneración de las diferentes especies después de la perturbación. De este modo, los objetivos principales de la restauración de zonas quemadas son la recuperación de la vegetación y el aumento de la superficie cubierta por la misma, así como la mejora de las características de la masa afectada por el fuego (www.magrama.gob.es)

Actualmente se ensayan distintos tratamientos de restauración de zonas quemadas y protección del suelo tras el fuego pero para aplicar el tratamiento correcto son necesarios estudios que analicen a fondo la capacidad de regeneración de la vegetación natural, ya que habrá zonas donde no se necesite la aplicación de ningún tratamiento debido a que la recuperación tendrá un desarrollo favorable.

Cada año la Dirección General de Gestión Forestal del Gobierno de Aragón, en coordinación con otras administraciones y empresas, despliega un complejo operativo de extinción en el que participan numerosos medios humanos y materiales distribuidos por todo el territorio.

Como ya sabemos, hay bosques de tipo mediterráneo como los de Zuera y Castejón de Valdejasa con una gran capacidad de regeneración natural que no suelen necesitar repoblación tras un incendio. La retirada de la madera quemada ayuda a la regeneración natural así como a la prevención de plagas y de nuevos incendios (Proyecto de la Dirección General de Gestión Forestal del Gobierno de Aragón patrocinado por Red Eléctrica de España)

De este modo queda como conclusión decir tras el estudio realizado del área quemada, que aquellas zonas que quedan exentas de aplicación de técnicas, son las que han proporcionado resultados más óptimos en términos de colonización de la vegetación, por lo que se podría decir a priori que esta zona no precisa de ayuda antrópica para el crecimiento de la vegetación ya que tiene una gran capacidad de recuperación. Aunque también es importante apuntar que en los polígonos control donde se han dado estos resultados, coinciden con áreas que se encuentran a una mayor altura y mayor pendiente con respecto a las áreas donde se han aplicado medidas post-incendio, por lo que podrían influir también en los resultados presentados.

Entre las dos técnicas estudiadas, es la técnica TA la que presenta resultados más óptimos tras su aplicación, estando expuesta a condiciones muy similares a la técnica de TP.

FUENTES DE INFORMACIÓN

1. Fuentes informáticas:

- CEAM. Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo
<http://www.cma.gva.es/webdoc/documento.ashx?id=152824>
- Centro de Investigación y Desarrollo - CIAF:
<http://www.un-spider.org/sites/default/files/LDCM-L8.R1.pdf>
- Ecología verde. Desarrollo sostenible para un mundo mejor:
www.ecologiaverde.com
- El Justicia de Aragón:
http://www.eljusticiadearagon.com/gestor/ficheros/_n004347_Informe%20de%20Incendios.pdf
- Fuego Red: Red temática nacional. Efectos de los incendios forestales sobre el suelo:
<https://sites.google.com/site/fuegorednet/textos/fichas-tecnicas>
- Fundación Banco Santander:
<http://www.fundacionbancosantander.com/media/docs/SOST.%20MANUAL%2006%20baja.pdf>
- Gobierno de Aragón:
http://www.aragon.es/DepartamentosOrganismosPublicos/Departamentos/AgriculturaGanaderiaMedioAmbiente/AreasTematicas/MA_MedioForestal/IncendiosForestales/ci.12_informes_incendios2013.detalleDepartamento?channelSelected=0
- Gobierno de Aragón. Departamento de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente:
http://www.aragon.es/DepartamentosOrganismosPublicos/Departamentos/AgriculturaGanaderiaMedioAmbiente/AreasTematicas/MA_MedioForestal/IncendiosForestales
- JARA. Jardinería, Agricultura y Medio Ambiente
<http://www.jaravalencia.com/docu/doc%20rest.pdf>

- Ministerio de Alimentación, Agricultura y Medio Ambiente:
<http://www.magrama.gob.es/>
- Prevención Desastres:
<http://prevenciondesastres.wordpress.com/>
- Red Eléctrica de España:
http://www.ree.es/sites/default/files/projects/folleto_incendio_zuera_27sept.pdf
- Restauración de zonas incendiadas:
<http://www.jaravalencia.com/docu/doc%20rest.pdf>
- Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación
www.ambiente.gov.ar
- U.S. Geological Survey:
<http://landsat.usgs.gov/>

2. Fuentes bibliográficas:

CHUVIECO, E. (2009): “Detección y análisis de incendios forestales desde satélites de teledetección”. *Vol. 103, N° 1, pp.173- 181.*

CASTRO, J.; LEVERKUS, A.B.; MARAÑÓN-JIMÉNEZ, S.; SERRANO-ORTIZ, P.; SÁNCHEZ-CAÑETE, E.P.; REVERTER, B.R.; GUZMÁN-ÁLVAREZ, J.R.; KOWALSKI, A.S.; (2013): “Efecto del manejo de la madera quemada sobre la restauración y regeneración post-incendio: implicaciones para la gestión y para el conjunto del ecosistema”. 6º Congreso Forestal Español: *Vol. 242, N° 1, pp. 6-8.*

CACHO, C.; SENDRA FERRER, J.; SANZ ARAUZ, G.; BUISÁN SANZ, S.; CANTÓN TOBAJAS, D.; JULVE DEL VAL, J.; MIRALLES FRANCÉS, F.; CORTÉS RABINAD, F.; LAFRAGÜETA PÉREZ, C.; (2009): “Análisis meteorológico y del comportamiento del fuego del gran incendio forestal de Zuera (Zaragoza) de 5 de agosto de 2008”. 5º Congreso Forestal Español. Centro Municipal de Congresos y Exposiciones de Ávila.

HERNÁNDEZ JIMÉNEZ, A. (2014): “Actuación de emergencia post-incendio en Aragón”. IV jornada sobre conservación y rehabilitación de suelos. Gobierno de Aragón.

GIMENO, T.; BLADÉ, C.; KRIBECHE, H.; BAUTISTA, S.; (2008). “Tratamiento de rehabilitación post-incendio en áreas sensibles a la degradación del suelo”.

Gobierno de España; (2008): Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. “Inventario de tecnologías disponibles en España para la lucha contra la desertificación”. [Consultado el 23 de Mayo en <http://www.magrama.gob.es/>].

Gobierno de España; (2010). Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. “Los incendios forestales en España en el año 2008”. Área de defensa contra los Incendios Forestales (ADCIF). [Consultado el 23 de Mayo en <http://www.magrama.gob.es/>]

LÁZARO GARCÍA, A.; (2009): “Evolución del manejo del fuego en la gestión ambiental del territorio: contexto europeo y análisis de casos en áreas de montaña en la región mediterránea”.

MARTÍNEZ VEGA, J. & MARTÍN ISABEL, M.P. (2010): “Guía didáctica de Teledetección y Medio Ambiente”. Red Nacional de Teledetección Ambiental. [Consultado el 3 de Marzo en <http://www.aet.org.es/>]

MORATO, B.; GONZÁLEZ ALONSO, R.; GURRÍA GASCÓN, J. L. (2003): “Cartografía de las áreas quemadas con SPOT 5”. Universidad de Extremadura y CIFOR-INA.

Revista trimestral del Departamento de Medio Ambiente del Gobierno de Aragón: (2009). *Natural de Aragón*: N° 36: pp 10-11.

VALLEJO, J.A.; ALLOZA, J.A.; GARCÍA, S.; GIMENO, T.; RIBEIRO, E.; (2011): “Protocolo de actuación para la restauración de zonas quemadas”. Seminarios forestales del CIEF.[Consultado el 6 de Abril en <https://www.cma.gva.es/>].

MARAÑÓN-JIMÉNEZ, S.; CASTRO, J.; QUEREJETA, J.I.; FERNÁNDEZ-ONDOÑO, E.; ALLEN, C.D.; (2013): Post-fire wood management alters water stress, growth, and performance of pine regeneration in a Mediterranean ecosystem. *Forest Ecology and Management*, 308: 231–239.

ANEXOS

Anexo I: Características generales del incendio de Zuera-Castejón de Valdejasa.

Fecha/Hora de aviso	05/08/2008; 14:59				
Fecha/Hora de control	08/08/2008; 20:30				
Fecha/Hora de extinción	15/08/2008; 21:15				
Términos municipales afectados y provincia	Zuera, Castejón de Valdejasa, Zaragoza, Tauste (Zaragoza)				
Huso, Sist. de proyección y UTM área inicio	HUSO 30, ED50, X: 672.367; Y: 4.642.536				
Superficie afectada (ha): total, total forestal, forestal arbolada, forestal no arbolada, agrícola/otros.	2.513,60	2.133,53	1.911,14	222,40	380,06
Director extinción*	APN/Técnico Servicio Provincial M.A. Zaragoza.				
APN (sin cuadrilla)*	2				
Medios aéreos*	12	<ul style="list-style-type: none"> • AA. (2 ud): Canadair de Zaragoza (Foca). • Helicóptero ligero: 3 ud. • Helicóptero semi-ligero: 3 ud. • Helicóptero pesado: 2 ud. • Helicóptero de Coordinación: 1 ud. • Avión de coordinación (ACO): 1 ud. 			
Cuadrillas forestales*	16	<ul style="list-style-type: none"> • Brigada helitransportada: 3 ud/5 pp+ APN. • Brigada helitransportada: 1 ud/9 pp+ APN. • BRIF: 1ud/17 pp. • Cuadrilla forestal terrestre: 9 ud/5pp+ APN. • GRAF Cataluña: 10 pp. 			
UME*	1	<ul style="list-style-type: none"> • 1 sección: 2 pelotones: 60 pp, 6 autobombas, 2 nodrizas, 1 ambulancia medicalizada. 			
Autobombas*	22	<ul style="list-style-type: none"> • Autobombas Medio Ambiente: 3. • Autobombas bomberos (DPZ, Ayto. Zaragoza): 14 Autobombas + 5 Nodrizas. 			
BRAF*	1	<ul style="list-style-type: none"> • 1 ud: Braf Ejea de los Caballeros. 			
Maquinaria pesada*	3	<ul style="list-style-type: none"> • 3 ud: Bulldozer. 			
Maquinaria agrícola*	4	<ul style="list-style-type: none"> • 4 ud: Tractor agrícola. 			
Otros	Personal y vehículos ligeros y de mando de Bomberos, Protección civil, Guardia civil.				

Fuente: Gobierno de Aragón

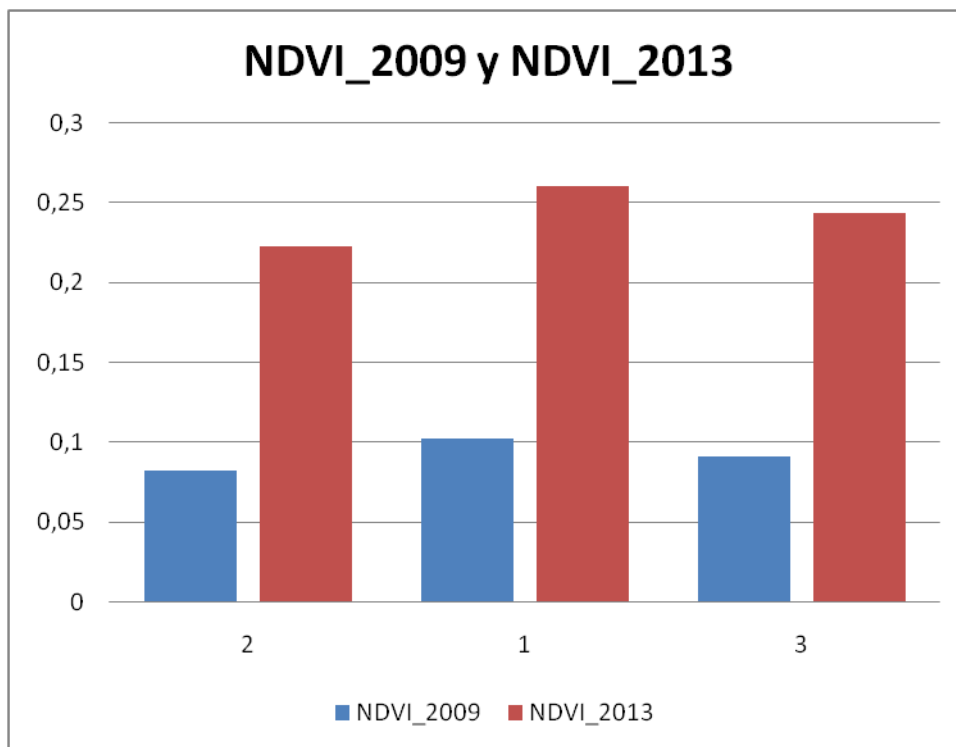
Anexo II: Tabla de base de datos de los estadísticos principales de estudio.

CORTA ÁRBOL COMPLETO Y ASTILLADO

EJECUTIVA	FD.	NOV 2019										NOV 2013										PENDIENTES										ORIENTACIÓN @A0101										ALTIBUS									
		AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM								
2	0	172800	-0.027	0.497	0.133	0.053	0.032	11.945	172800	0.139	0.274	0.135	0.226	0.0212	49.468	1720250	0.167	38.920	36.753	22.358	6.767	3.667	55.601	1720250	0.1620	369.777	339.157	215.960	70.450	1.9602000	1720250	0.1720250	553.26	640.88	96.62	613.35	22.00	4237270.0													
2	1	39000	0.062	0.326	0.254	0.281	0.082	7.788	390000	0.220	0.288	0.078	0.251	0.0355	10.818	4250	2.022	14.227	12.105	7.987	3.667	51.343	4750	52.514	211.801	159.286	120.203	51.795	2.05380	4750	640.03	646.62	2.99	640.09	0.88	1227.7															
2	2	39000	0.071	0.118	0.097	0.099	0.018	0.397	390000	0.224	0.238	0.014	0.231	0.0056	0.934	1033	8.799	21.955	18.766	22.236	3.018	3.018	274.720	274.720	274.720	274.720	274.720	274.720	274.720	274.720	274.720	274.720	274.720	274.720	274.720	274.720	274.720	274.720	274.720	274.720	274.720	274.720	274.720								
2	3	39000	0.071	0.118	0.097	0.099	0.018	0.397	390000	0.224	0.238	0.014	0.231	0.0056	0.934	1033	8.799	21.955	18.766	22.236	3.018	3.018	274.720	274.720	274.720	274.720	274.720	274.720	274.720	274.720	274.720	274.720	274.720	274.720	274.720	274.720	274.720	274.720	274.720	274.720	274.720	274.720	274.720	274.720	274.720						
2	4	49000	0.074	0.081	0.087	0.092	0.012	0.288	490000	0.184	0.210	0.026	0.193	0.0056	0.966	31500	1.081	23.161	19.947	19.499	3.997	2375.680	40000	14.470	141.407	126.957	99.289	31.265	15972.700	394900	601.47	640.36	10.88	640.36	10.88	103280.0															
2	5	49000	0.074	0.081	0.087	0.092	0.012	0.288	490000	0.184	0.210	0.026	0.193	0.0056	0.966	31500	1.081	23.161	19.947	19.499	3.997	2375.680	40000	14.470	141.407	126.957	99.289	31.265	15972.700	394900	601.47	640.36	10.88	640.36	10.88	103280.0															
2	6	49000	0.074	0.081	0.087	0.092	0.012	0.288	490000	0.184	0.210	0.026	0.193	0.0056	0.966	31500	1.081	23.161	19.947	19.499	3.997	2375.680	40000	14.470	141.407	126.957	99.289	31.265	15972.700	394900	601.47	640.36	10.88	640.36	10.88	103280.0															
2	7	49000	0.074	0.081	0.087	0.092	0.012	0.288	490000	0.184	0.210	0.026	0.193	0.0056	0.966	31500	1.081	23.161	19.947	19.499	3.997	2375.680	40000	14.470	141.407	126.957	99.289	31.265	15972.700	394900	601.47	640.36	10.88	640.36	10.88	103280.0															
2	8	63000	0.076	0.076	0.076	0.099	0.023	0.342	630000	0.211	0.235	0.025	0.226	0.0087	1.802	59750	0.470	21.770	21.300	10.943	6.533	2971.700	59750	34.975	363.307	321.033	223.705	56.660	5293.900	59750	620.17	646.95	16.78	641.14	4.09	15067.0															
2	9	9000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	90000	0.182	0.182	0.000	0.182	0.0000	0.186	19750	0.834	20.166	19.311	10.667	4.877	866.833	19750	1.443	369.762	338.949	149.987	88.887	11973.400	19750	646.59	630.59	7.00	640.22	1.86	5209.0															
2	10	243000	0.063	0.280	0.227	0.174	0.074	4.499	2430000	0.191	0.279	0.088	0.247	0.0091	6.613	267000	0.272	27.821	27.949	14.625	6.086	15619.300	267000	0.033	339.666	339.623	116.191	116.191	1669390.000	267000	600.41	639.27	38.87	624.46	7.00	670933.0															
2	11	9000	0.099	0.089	0.080	0.099	0.000	0.099	90000	0.241	0.241	0.000	0.241	0.0000	0.249	17750	14.027	23.844	11.157	19.138	2.024	1388.770	17750	232.152	279.985	270.333	168.717	7.105	1978390.0	17750	622.82	639.21	13.39	624.46	3.25	44631.8															
2	12	54000	0.024	0.111	0.087	0.084	0.029	0.381	540000	0.184	0.257	0.073	0.215	0.0239	1.937	61250	8.407	32.065	23.609	23.987	5.511	5783.800	61250	0.933	369.962	339.230	263.551	82.670	64972.400	61250	577.41	597.51	20.10	580.84	5.08	14484.0															
2	13	229000	0.000	0.184	0.184	0.066	0.042	1.644	2290000	0.217	0.277	0.080	0.248	0.0151	6.205	228250	3.066	29.978	26.482	21.000	5.999	19612.700	228250	0.062	369.343	339.281	207.837	102.888	189755.000	228250	599.57	637.45	37.88	619.23	3.88	56381.0															
2	14	27000	0.068	0.155	0.089	0.112	0.031	0.335	270000	0.124	0.163	0.093	0.148	0.0176	0.9494	32000	4.533	23.206	18.673	14.326	3.768	1883.730	32000	38.467	149.579	149.579	78.789	25.988	10086.100	32000	629.47	646.46	15.99	637.09	3.82	81547.5															
2	15	18000	0.034	0.036	0.022	0.035	0.001	0.071	180000	0.211	0.236	0.025	0.224	0.0124	0.4974	23500	0.478	13.144	13.286	9.913	3.407	555.688	23500	6.021	364.753	340.722	112.515	77.205	1084230.0	23500	638.27	643.31	5.04	640.75	0.89	60293.3															
2	16	18000	0.042	0.264	0.222	0.119	0.061	2.371	180000	0.185	0.274	0.088	0.233	0.0220	4.662	4000	1.834	16.447	14.613	10.950	3.641	75.197	4000	0.113	289.066	181.899	156.398	42.253	2302.270	4000	640.19	645.15	4.96	642.56	1.61	1020.0															
2	17	39000	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	390000	0.184	0.254	0.101	0.228	0.0340	7.837	171000	0.394	29.667	26.762	17.440	5.077	1265.800	171000	2.239	368.947	336.757	120.805	49.386	87610.300	171000	579.17	612.76	52.60	603.51	13.76	46222.0															
2	18	1033000	0.280	0.173	0.087	0.087	0.017	2.069	10330000	0.184	0.254	0.101	0.228	0.0340	7.837	291500	0.109	27.652	27.348	14.944	6.627	1882.000	291500	0.273	339.946	339.671	286.664	85.854	336383.000	291500	610.54	632.06	44.72	644.47	11.01	707951.0															
2	19	49000	0.044	0.081	0.047	0.065	0.015	0.326	490000	0.165	0.236	0.091	0.204	0.0294	1.007	7500	7.499	22.300	14.808	14.703	3.569	287.730	40000	0.588	369.660	339.639	139.12	10.608	76701.000	40000	576.95	588.54	11.59	583.71	2.40	29342.0															
2	20	9000	0.099	0.080	0.000	0.099	0.000	0.099	90000	0.219	0.219	0.000	0.219	0.0000	0.219	7500	6.220	21.748	15.529	14.301	3.948	481.97	7500	324.523	366.669	321.36	340.079	7.495	1082.400	7500	586.40	591.82	6.42	589.68	1.90	17690.5															
2	21	9000	0.014	0.175	0.160	0.101	0.038	0.608	90000	0.172	0.252	0.080	0.211	0.0288	1.281	69500	4.154	35.301	31.148	20.613	6.790	570.290	69500	0.918	339.113	338.794	189.713	147.290	5740.300	69500	586.99	609.61	23.88	585.41	5.18	66332.0															
2	22	49000	0.023	0.023	0.000	0.023	0.000	0.023	490000	0.177	0.310	0.133	0.262	0.0318	1.4553	46250	0.672	32.710	31.498	21.254	6.230	4169.700	46250	0.108	369.988	339.880	174.757	119.074	338565.000	46250	586.51	649.94	33.43	627.43	13.82	125202.0															
2	23	9000	-0.008	0.132	0.140	0.057	0.030	3.351	590000	0.185	0.316	0.121	0.261	0.0261	1.5212	590000	0.536	31.633	30.897	15.611	5.893	3469.800	590000	1.404	369.838	338.494	230.256	94.234	508720.000	590000	617.91	642.06	44.15	646.04	9.77	146101.0															
2	24	9000	0.000	0.089	0.089	0.089	0.023	0.210	90000	0.141	0.217	0.076	0.174	0.0259	1.046	51750	0.244	23.053	24.788	12.418	6.004	2694.660	51750	2.004	366.536	334.32	131.561	65.654	27233.200	51750	619.99	637.97	5.98	654.16	1.55	28238.8															
2	25	9000	0.043	0.153	0.119	0.091	0.031	5.083	495000	0.177	0.310	0.133	0.262	0.0318	1.4553	10750	4.540	21.942	16.802	11.426	5.369	491.300	10750	102.603	369.988	339.880	174.757	119.074	338565.000	10750	619.99	637.97	5.98	654.16	1.55	28238.8															
2	26	9000	0.000	0.089	0.089	0.089	0.023	0.210	90000	0.141	0.217	0.076	0.174	0.0259	1.046	51750	0.244	23.053	24.788	12.418	6.004	2694.660	51750	2.004	366.536	334.32	131.561	65.654	27233.200	51750	619.99	637.97	5.98	654.16	1.55	28238.8															

Elaboración propia

Anexo III: Diferencia entre NDVI 2009 y NDVI 2013



Elaboración propia.