

UNIVERSIDAD DE TALCA

PROGRAMA DE MAGÍSTER EN GESTIÓN AMBIENTAL TERRITORIAL

**PROPUESTA PARA LA GESTIÓN AMBIENTAL – TERRITORIAL DE
ZONAS AFECTADAS POR INCENDIOS FORESTALES EN LA
LOCALIDAD DE RASTROJOS COMUNA DE SAN JAVIER, REGIÓN
DEL MAULE.**

JOSUÉ DANIEL ZÚNIGA MEDINA

PROYECTO DE GRADUACIÓN PARA OPTAR
AL GRADO ACADÉMICO DE MAGÍSTER EN
GESTIÓN AMBIENTAL TERRITORIAL

PROFESOR GUÍA: Dr. CARLOS MENA FRAU

TALCA – CHILE

ABRIL 2021

PRESENTACIÓN Y CALIFICACIÓN

A mi madre, Adelaida.

AGRADECIMIENTOS

A Dios y la Virgen María...

A mi familia, especial a mi hermana Heydy por su apoyo y amor siempre.

A mis abuelos, por su inspiración.

A mi profesor guía Dr. Carlos Mena por su orientación en la realización de mi proyecto.

Al profesor Yony Ormazábal por su paciencia, orientación y disposición siempre en todo momento.

A la Agencia Chilena de Cooperación Internacional para el Desarrollo AGCID, por su patrocinio para mis estudios en Chile.

Al Proyecto Piloto de Innovación Territorial en Restauración Post Incendio de CONAF y su Coordinador Dr. Andrés Meza por la orientación, asesoría y la oportunidad de participar en su proyecto.

A Bárbara Arias de CONAF, de forma especial, por su apoyo invaluable, su paciencia y acompañamiento en las salidas a terreno.

A mis compañeros del magíster, en especial a Onel y Ricardo por motivarme a seguir.

A María, mi segunda mamá en Chile.

A mis amigos de siempre, por formar parte de mi vida y de mis sueños.

A todas las personas que formaron parte de este proyecto, el que significó una gran aventura, experiencia personal y profesional.

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN	iv
SUMMARY	vi
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	2
III. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	3
3.1 Proyecto Piloto de Innovación Territorial en Restauración Post Incendio para la Región del Maule 2017-2020	3
3.2 Caracterización del Área de Trabajo	4
3.2.2 Historia de los incendios forestales en la comunidad.....	6
3.3 Evaluación de Impacto Ambiental	7
3.3.1 Evaluación del daño y percepción ambiental.....	7
3.3.2 Análisis ambiental de impactos y sistemas de información geográfica.....	9
3.4 Restauración Post-Incendio	11
3.5 Las Políticas Ambientales y el Desarrollo Ecológico	12
IV. METODOLOGÍA	14
4.1 Área de Trabajo.....	14
4.2 Materiales.....	15
4.3 Metodología.....	15
V. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	33
5.1 Identificación y clasificación de la severidad del incendio.....	33
5.2 Espacialización de Impactos Ambientales Generados Durante Incendio Forestal del año 2017. Cartografía de la Evolución Espacio-Temporal de la Recuperación de la Cubierta Vegetal Periodo 2017-2020.....	36
5.2.1 Crecimiento vegetacional y estimación de la recuperación.....	36
5.2.2 Crecimiento vegetacional y severidad del incendio.....	40
5.2.4 Evaluación de Impactos y Daño Ambiental.....	42
5.3 Cartografía Temática y de Síntesis para la Gestión Territorial-Ambiental Como de Base para Futuros Proyectos y Recomendaciones en la Restauración.....	46
5.3.2 Delimitación de UGA's y asignación de políticas ambientales.....	48

5.4 Propuesta de Estructura de Plan para el Desarrollo Ecológico de las Unidades de Gestión Ambiental como Base de las Políticas para la Restauración	53
VI. CONCLUSIONES	57
VII. BIBLIOGRAFÍA	60
ANEXOS.....	64

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Superficie afectada y ocurrencia de incendios forestales.	7
Cuadro 2. Clasificación de categorías de severidad del fuego.	18
Cuadro 3. Datos operacionales de las imágenes adquiridas sensor SENTINEL 2A.	19
Cuadro 4. Categorizaciones según la cantidad y calidad vegetacional.....	21
Cuadro 5. Coordenadas puntos de control verificación en campo.....	21
Cuadro 6. Componentes y factores ambientales.	25
Cuadro 7. Valoración de Impactos Ambientales.	26
Cuadro 8. Síntesis de Impactos Ambientales.	26
Cuadro 9. Áreas de cada categoría de la severidad del incendio.	33
Cuadro 10. Cambio de la cobertura vegetacional según los niveles de categorización.....	37
Cuadro 11. Relación categorías de severidad del incendio y crecimiento de la vegetación.	40
Cuadro 12. Tabla Resumen de la Valoración de Impactos Ambientales.	44
Cuadro 13. Clases de usos de suelo Rastrojos 2016 y 2020.	46
Cuadro 14. Unidades de Gestión Ambiental.	49
Cuadro 15. Denominación de UGA y Asignación de Políticas Ambientales.	51
Cuadro 16. Lineamientos y usos compatibles definidos para cada una de las UGA.	54
Cuadro 17. Ilustraciones estado actual dNBR 2020.	65
Cuadro 18. Ilustraciones estado actual NDVI 2020.	67
Cuadro 19. Información Base Panel de Expertos.	68
Cuadro 20. Magnitud de los impactos ambientales.....	70
Cuadro 21. Evaluación de Impacto Ambiental-Panel de Expertos.	70
Cuadro 22. Puntos de control usos de suelo.	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Evolución del estado ambiental y la relación con el Impacto Ambiental.	8
Figura 2. Ubicación Geográfica Rastrojos, San Javier, Chile.	14
Figura 3. Estructura de la Metodología General del Proyecto.....	15
Figura 4. Porcentajes de áreas quemadas por categorías NBR.	34
Figura 5. Severidad de Incendio 2017.....	34
Figura 6. Usos de suelo y pendientes.	36
Figura 7. Cambio de cobertura vegetal pre-incendio 2016 a post-incendio 2020.	37
Figura 8. Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada NDVI.....	39
Figura 9. Gráfica relación dNBR (severidad del incendio) y NDVI (crecimiento vegetacional).	41
Figura 10. Reincidencia de Incendios Rastrojos 1996-2017.	43
Figura 11. Gráfico comparativo usos de suelo 2016 y 2020 Rastrojos.	46
Figura 12. Usos de Suelo 2016-2020.	47
Figura 13. UGA's Localidad de Rastrojos.	48
Figura 14. Ordenamiento Territorial - ambiental mediante políticas ambientales.	52
Figura 15. Puntos de control dNBR.....	64
Figura 16. Puntos de control para NDVI.	66
Figura 17. Imágenes visita de campo.....	73
Figura 18. Urbano-rural Localidad de Rastrojos.....	74
Figura 19. Áreas prioritarias para la conservación: Bosque nativo y corredores biológicos.	75
Figura 20. Áreas prioritarias para la restauración: Zonas de incendios y zonas de cárcavas.	76
Figura 21. Fuentes de agua y microcuencas Rastrojos.....	77
Figura 22. Áreas prioritarias para la protección: Fuentes de agua.	78
Figura 23. Áreas de vegetación primaria y secundaria según Índice NDVI.	79
Figura 24. Pendientes Rastrojos.	80

RESUMEN

El mega incendio del secano costero en la zona centro-sur, ocurrido en enero y febrero de 2017, es una de las catástrofes forestales más graves que ha vivido Chile en su historia. Este evento obligó a evacuar y movilizar importantes poblaciones en diversas localidades, afectando una superficie de 279,930 ha en la región del Maule, provocando un costo económico a CONAF de M\$21.342.037. Los grandes incendios generan problemas ambientales debido a las alteraciones de gran magnitud sobre la cubierta vegetal, en la fauna, el suelo y la atmósfera; esto produce daños directos e indirectos, afectando la economía de manera importante. Igualmente, estos eventos, originados mayoritariamente por acción antrópica, impactan significativamente en el ciclo del carbono, el presupuesto energético, la calidad del aire, en el balance hídrico y en los servicios ecosistémicos.

Con este estudio se pretende proporcionar información de base que sirva para la toma de decisiones en pro de la restauración de ecosistemas impactados por incendio forestales mediante una propuesta de gestión ambiental territorial. Para tal caso se desarrollaron Unidades de Gestión Ambiental con una estructura de plan de desarrollo ecológico que sirva de base para futuros escenarios territoriales.

Se analizaron las relaciones de la dinámica de la recuperación de la vegetación y la severidad de los incendios forestales. Para esto se analizaron imágenes satelitales pre y post-incendio en la Localidad Los Rastrojos de la comuna San Javier, Región del Maule. Se analizaron las características del cambio de la vegetación y su cuantificación durante un periodo de 4 años, basándose en la cronología y secuencia de los patrones espaciales temporales de antes y después del incendio del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI). La severidad del incendio se cuantificó utilizando estadísticas derivadas del Índice de Diferencia Normalizado de Área Quemada (dNBR) calculado a partir de imágenes Sentinel 2.

Para complementar se implementó la metodología de panel de expertos para la evaluación de impacto ambiental sobre los principales factores ambientales que interactúan en el área de estudio. Los principales impactos identificados fueron sobre la flora nativa, el paisaje y la sociedad del territorio de Rastrojos.

Los resultados indican que solo el 19,3% ha regresado al estado o niveles de vegetación de antes del incendio. Las altas afectaciones según el dNBR significaron un 76,90% del área total. En su correlación con el NDVI se pudo observar un crecimiento de la vegetación pequeño, pero sostenido en los últimos cuatro años.

SUMMARY

The mega coastal dryfire in the south-central area, which occurred in January and February 2017, is one of the most serious forest catastrophes Chile has experienced in its history. This event forced the evacuation and mobilization of important populations in various locations, affecting an area of 279,930 ha in the Maule Region, causing an economic cost to CONAF of M\$21,342,037. Large fires create environmental problems due to large alterations in plant cover, fauna, soil and atmosphere; this causes direct and indirect damage, affecting the economy significantly. Likewise, these events, caused mostly by anthropic action, have a significant impact on the carbon cycle, energy budget, air quality, water balance and ecosystem services.

This study aims to provide basic information for decision-making for the restoration of ecosystems impacted by forest fires through a territorial environmental management proposal. In this case, Environmental Management Units were developed with an ecological development plan structure that serves as the basis for future territorial scenarios.

The relationships of vegetation recovery dynamics and the severity of forest fires were analyzed. For this, pre and post-fire satellite images were analyzed in the Los Rastrojos town of San Javier commune, Maule Region. The characteristics of vegetation change and its quantification over a 4-year period were analyzed, based on the chronology and sequence of temporal spatial patterns before and after the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) fire. The severity of the fire was quantified using statistics derived from the Burned Area Normalized Difference Index (dNBR) calculated from Sentinel 2 images.

To complement, the expert panel methodology for environmental impact assessment on the main environmental factors interacting in the study area was implemented. The main impacts identified were on the native flora, landscape and society of the territory of Rastrojos.

Results indicate that only 19,3% have returned to the pre-fire vegetation status or levels. High dNBR impacts meant 76,90% of the total area. In its correlation with NDVI, small but sustained vegetation growth has been observed over the past four.

I. INTRODUCCIÓN

Los incendios forestales en la zona central de Chile han adquirido una importancia superlativa debido a la magnitud que han alcanzado en los últimos años (Acuña y Hernández, 2018). El aumento en el número y severidad de los incendios forestales ha afectado el funcionamiento de los ecosistemas, lo que ha hecho difícil la restauración de las zonas afectadas. La gestión ambiental es una herramienta con la cual se pueden crear estrategias o planes de actuación con el fin de organizar una serie de actividades humanas que impacten menos en el medio ambiente (Acosta, 2019). Estas estrategias de gestión deben ser acordes con los factores ambientales que condicionan los regímenes de recurrencia e intensidad y la regeneración post-incendio.

El desarrollo de nuevas tecnologías, como la teledetección espacial, proporcionan enfoques factibles para describir los daños y patrones provocados por los incendios. Las técnicas que utilizan imágenes satelitales de varias fechas, como componentes principales, tienen en cuenta las condiciones previas a la perturbación o fenómeno (Miller y Thode, 2007). Según Lasaponara et al. (2020) a escala mundial un importante programa de monitoreo es el Copérnico, el que mediante el uso de satélites permite vigilar los riesgos, incluido el fuego, principalmente en términos del mapeo activo de incendios y la evaluación rápida de las áreas quemadas, expresada en términos de gravedad. Por otra parte, las imágenes satelitales de alta resolución temporal como EOS/MODIS y NOAA/AVHRR, se utilizan ampliamente para identificar puntos de incendio y producir mapas de fuego.

De acuerdo a lo anterior, en el presente estudio se aplicaron tecnologías de teledetección ambiental en conjunto con los sistemas de información geográfica, para el análisis, planificación y gestión del territorio con el fin de proponer las herramientas necesarias, identificando y evaluando los impactos ambientales ocasionados por incendios forestales.

Esto ayuda en la gestión ambiental-territorial, sobre todo en el equilibrio entre las interacciones humanas, los ecosistemas y actividades productivas en zonas fragmentadas por incendios forestales.

El estudio se llevó a cabo en la Localidad de Rastrojos Comuna de San Javier, Región del Maule, en el marco del Proyecto Piloto de Innovación Territorial en Restauración Post Incendio para la Región del Maule 2017-2020.

II. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Analizar los impactos ambientales sobre el suelo y la vegetación, así como la evolución espacio-temporal de la restauración del paisaje post incendios forestales en la Localidad de Rastrojos Comuna de San Javier.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar los principales impactos ambientales en zonas fragmentadas del territorio post incendios forestales.
- Elaborar una propuesta cartográfica sobre la recuperación de la cobertura vegetal y las unidades de gestión ambiental post-incendios forestal que sirva de base para el ordenamiento y restauración del territorio.

III. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

3.1 Proyecto Piloto de Innovación Territorial en Restauración Post Incendio para la Región del Maule 2017-2020

La Corporación Nacional Forestal (CONAF), de acuerdo con su Misión y Objetivos Estratégicos “fomenta la implementación de acciones destinadas a la restauración de manera conjunta y coordinada con actores públicos, privados y la comunidad, con el fin de contribuir con la recuperación de los bosques y ecosistemas, promoviendo la generación de servicios ambientales e incentivando el uso de plantas con valor patrimonial y cultural”. Los incendios catastróficos registrados durante los meses de enero y febrero de 2017 ocasionaron severos daños al sector silvoagropecuario chileno. Este fenómeno puso a las instituciones públicas y a los diversos actores de la sociedad frente a la necesidad de repensar la forma de gestionar los territorios, para recuperarse de la catástrofe y generar espacios territoriales más amigables y sustentables, que den respuesta a las necesidades de las comunidades. En este contexto, y con el apoyo financiero de la Fundación para la Innovación Agraria (FIA), CONAF está implementando este “Proyecto Piloto de Innovación Territorial en Restauración Post Incendio para la Región del Maule 2017-2020” en la localidad de Rastrojo, comuna San Javier, la cual fue afectada por uno de los incendios más extensos de la temporada verano 2017. El proyecto busca innovar en materia de gestión territorial para la restauración, con el aporte de investigadores, técnicos e instituciones, de modo de propender a un sector silvoagropecuario resiliente frente a futuros desastres, tanto a nivel de ordenamiento territorial, como a nivel de estrategias preventivas.

En el período 2017-2020 se espera:

- Generar e implementar un plan piloto de restauración con enfoque de ordenamiento territorial participativo.
- Mejorar la articulación de redes de trabajo colaborativo territoriales multidisciplinares.

- Generar propuestas para consolidar la capacidad productiva del territorio y comunidades afectadas (ganadería-praderas; cultivos, plantaciones).
- Generar propuestas para restaurar el patrimonio natural y servicios ambientales asociados (Meza, 2018).

En el contexto de los objetivos del proyecto, se propuso el desarrollo del presente estudio para contribuir a la implementación de una iniciativa basada en la generación de una propuesta de gestión ambiental territorial que sirva de base para futuros proyectos en la restauración de las zonas afectadas por el incendio del 2017 en la Localidad de Rastrojos.

3.2 Caracterización del Área de Trabajo

La comuna de San Javier, perteneciente a la Provincia de Linares, Región del Maule, se ubica a 24 kilómetros al sur de la capital regional, Talca, y a 31 km al norte de la capital provincial Linares, a 10 km de Villa Alegre, en la ribera sur del río Maule. La comuna cuenta con una superficie de 1.309,2 Km² y una población total de 45.547 habitantes, correspondiente al 4,36% de la población regional, de la cual un 28,5% (12.981 habitantes) es rural y un 71,5% (32.566 habitantes) es urbana. Del total de la población 23.545 son mujeres y 22.002 son hombres, lo que equivale a un 51,7% y 48,3% respectivamente de la población comunal. Las actividades económicas más representativas se basan principalmente en la agricultura con una fuerte incidencia vitivinícola, cultivos tradicionales y plantaciones forestales (PLADECO, 2018).

3.2.1 Características del territorio

De acuerdo a Villalobos (2019), la localidad de Rastrojos se ubica en la comuna de San Javier, limitando con la comuna de Empedrado al oeste. Su superficie es de 1.799,4 ha y su centro comunitario se encuentran en las coordenadas 35°34'58,26" S y 79°6'52,02" O, con

una elevación de 196 msnm y con una población de 157 personas, distribuidas en 101 viviendas.

La localidad se encuentra inmersa en la unidad morfológica denominada Cordillera de la Costa, de topografía irregular, con pendientes de 0 a 45% (Garrido, 2020).

Agroclimáticamente, se ubica en el denominado “secano interior”, unidad morfoestructural que se presenta como un cordón montañoso accidentado que se orienta en sentido nortesur y que corresponde a la vertiente oriental de la cordillera de la costa, donde domina una topografía de cerros y lomas, en algunos casos con pendientes moderadas a fuertes y zonas bajas y planas que se asocian principalmente a cursos de agua o sitios de inundación invernal (PLADECO, 2018). En estas condiciones, la oscilación térmica es alta, con temperaturas máximas de verano que fluctúan entre 29-30° y un período de sequía que se prolonga entre 6 y 7 meses. En estas zonas, el sistema tradicional de agricultura se ha basado durante años en una rotación de praderas naturales y trigo, debido al cual, el suelo se ha deteriorado enormemente (Garrido, 2020).

Según Di Castri y Hajeck (1976) Rastrojos se inserta plenamente en la región con tendencia climática de tipo Mediterráneo y dentro de ella, la mediterránea subhúmeda que abarca desde la provincia de O’ Higgins hasta la provincia de Cauquenes. De acuerdo a la clasificación bioclimática de Luebert y Pliscoff (2006), a gran escala, la localidad de Rastrojos, se inserta en el macrobioclima Mediterráneo, el que es predominante al sur de los 33° de latitud Sur y se caracteriza, en concordancia con el caso anterior, por fuertes diferencias estacionales de temperatura y precipitaciones concentradas en la temporada invernal, así como una sequía estival pronunciada (Garrido, 2020).

En relación a la Hidrografía se destaca la presencia del río Purapel que cruza la comunidad de oeste a este y que posee un caudal medio de 11 m³/s en verano y 0,5 m³/s. Además, es

importante señalar que en temporada invernal existe la formación de esteros y quebradas intermitentes que generan caudal (DEPRIF, 2019).

➤ Formaciones vegetales y pisos vegetacionales

Según Gajardo (1993) la localidad de Rastrojos, por la posición latitudinal y fisiográfica, corresponde a la Sub-región del Bosque Caducifolio Montano, que se ubica como límite superior de las situaciones más favorables del bosque esclerófilo y siempre desarrollado en altitud, tanto en la Cordillera de los Andes como en este caso la Cordillera de la Costa.

De acuerdo a la clasificación de los Pisos Vegetacionales de Luederf y Pliscoff (2006), el área de estudio se emplaza en lo que correspondería a dos Pisos Vegetacionales: el Bosque Caducifolio Mediterráneo Costero de *Nothofagus glauca* y *Persea lingue*, constituido por un bosque caducifolio dominado por *Nothofagus glauca* (*hualo*), *Nothofagus obliqua* (*roble*), *Gevuina avellana* (*avellano*) y *Persea lingue* (*lingue*), con *Pernettya insana* (*murtilión*), *Ugni molinae* (*murtillo*) y *Escallonia pulverulenta* (*corontillo*) como diferenciales en la estrata arbustiva. La estructura vegetacional presenta epífitas como *Bomarea salcilla* (*copihuello*), *Lardizabala biternata* (*coile*) y *Lapageria rosea* (*copihue*), y el Bosque espinoso mediterráneo interior de *Acacia caven* y *Lithrea caustica*, en donde ambas especies dominan a nivel de dosel superior, pero con coberturas variables (Garrido, 2020).

3.2.2 Historia de los incendios forestales en la comunidad

La comuna de San Javier ha registrado un total de 349 incendios en las últimas 5 temporadas, afectando aproximadamente una superficie de 21.320,1 hectáreas. Del total de incendios a nivel comunal, 8 se originaron dentro del área de influencia de la localidad de Rastrojos, representados en 13.839,71 hectáreas quemadas (Cuadro 1). Cabe señalar que ciertos incendios originados fuera de la localidad pueden tener incidencia dentro de ella sin importar límites locales e incluso comunales. Es así como un incendio de magnitud

(mayor a 200 ha) puede llegar a afectar directa o indirectamente el área de interés, dependiendo principalmente de las condiciones ambientales y topográficas al momento de iniciarse, y de los recursos humanos disponibles para su combate (CONAF, 2019).

Cuadro 1. Superficie afectada y ocurrencia de incendios forestales.

Temporada	Comuna		Localidad	
	Ocurrencia	Superficie (ha)	Ocurrencia	Superficie (ha)
2018-2019	96	446,2	1	0,01
2017-2018	72	347	0	0
2016-2017	58	5249	1	0,4
2015-2016	75	96,2	0	0
2014-2015	48	15181,7	7	13839,7
Total	349	21320,1	8	13893,71

Fuente: SIDCO-CONAF.

3.3 Evaluación de Impacto Ambiental

Según SICA (2000), “la evaluación de impacto ambiental se define como un proceso de toma de decisión además de un documento que proporciona una evaluación sistemática, reproducible e interdisciplinaria de los efectos potenciales de una acción propuesta y sus alternativas prácticas en los atributos físicos, biológicos, culturales y socioeconómicos de un área geográfica en particular.”

3.3.1 Evaluación del daño y percepción ambiental

➤ Ambiente y Daño Ambiental

En términos generales, el ambiente es el entorno vital; es decir, el conjunto de elementos físicos, biológicos, económicos, sociales, culturales y estéticos que interactúan entre sí, con el individuo y con la comunidad en que vive, determinando su forma, su carácter, su comportamiento y su supervivencia. En términos más específicos, el ambiente sería el sistema constituido por el ser humano, la fauna, la flora y los microorganismos; el suelo, el agua, el aire, el clima y el paisaje; las interacciones entre los factores citados y los bienes materiales y el patrimonio cultural. Atendiendo el modelo de desarrollo, el ambiente puede

entenderse como: fuente de recursos naturales, flujo de materiales hacia las actividades humanas y receptor de desechos.

Se dice que hay daño ambiental cuando una acción o actividad produce una alteración desfavorable en el medio o en algunos de los componentes del medio. Los daños ambientales quedan definidos por cuatro elementos: (1) manifestación, (2) efectos, (3) causas y (4) agentes implicados. Estos elementos sirven de referencia en el desarrollo de la estructura para el análisis de las implicaciones ecológicas y económicas relacionadas con los daños ambientales, que se desarrollan posteriormente. Por otro lado, el daño ambiental representa la diferencia entre la situación del recurso antes de la afectación y después de ella, lo que obliga a conocer su condición antes y después de la afectación (IPS, 2004).

➤ Evaluación del Impacto Ambiental

El impacto ambiental representa la diferencia entre la situación del recurso antes de la afectación y después de ella, lo que obliga a conocer ambas condiciones. El gráfico de la figura 1 permite una ilustración más precisa del daño ambiental, donde se muestra cómo se afecta el recurso natural (que en el gráfico se indica como “factor ambiental”), una vez que la operación que causa el daño ha entrado en actividad.

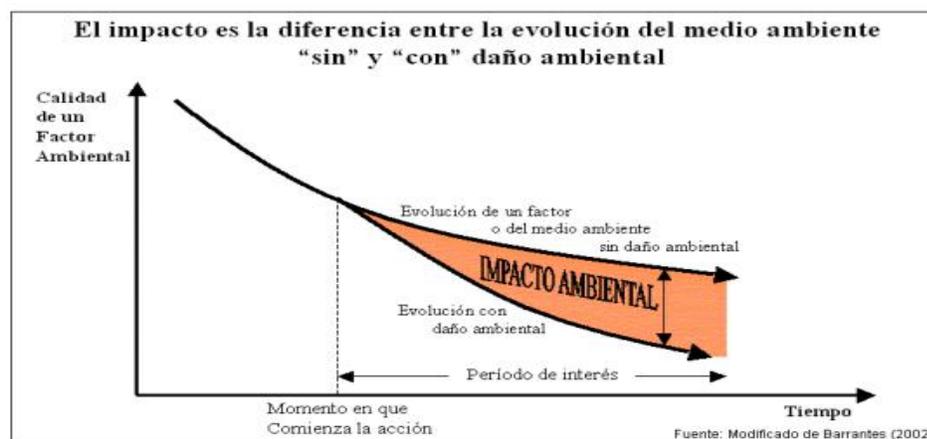


Figura 1. Evolución del estado ambiental y la relación con el Impacto Ambiental.

Fuente: (Barrantes y Di Mare, 2002).

La evaluación del daño ambiental depende de dos componentes principales: el daño biofísico y el daño social. El daño biofísico se refiere a las afectaciones hechas en el medio natural que ocasionan un deterioro de las características del recurso natural. El daño social está relacionado con las afectaciones a la sociedad, manifiestas en la pérdida de beneficios derivados del recurso natural afectado y a los costos asociados a la restauración del recurso afectado.

➤ **Impacto de los incendios Forestales**

Los incendios forestales tienen impactos complejos sobre los procesos ecológicos, debido a la variabilidad del paisaje, como las diferentes respuestas de la vegetación (Tessler y Greenbaum, 2016). En el caso del recurso forestal, la frecuencia de los incendios forestales puede ocasionar cambios en la dinámica de cultivo como el bosque, ya que muchas especies no alcanzan su etapa de madurez, causando disminución en la distribución espacial o incluso la extinción de la especie. Además, el aumento de la frecuencia de incendios junto con periodos de sequía puede generar impactos ambientales a largo plazo, tales como disminución de la productividad de los ecosistemas, desertificación, entre otros. Los efectos de los incendios se asocian con la intensidad, recurrencia y duración de los mismos. Estos efectos pueden ser directos como pérdida de animales, pérdida de la vegetación y degradación del suelo. Por otro lado, los efectos indirectos, van desde la erosión del suelo y la contaminación del agua hasta el ensuciamiento de represas y deslizamientos de tierra (Ulibarry, 2017).

3.3.2 Análisis ambiental de impactos y sistemas de información geográfica

➤ **La Cartografía aplicada a la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) y a la Planificación Territorial.**

Las cartografías temáticas aplicadas a los Estudios de Impacto Ambiental (EIA) y a los Planes de Ordenación del Territorio, constituyen una herramienta esencial para evaluar los

recursos naturales y, a la vez, realizar una gestión responsable de los citados recursos, evitar o reducir los efectos de los riesgos naturales e impactos ambientales que pueden afectar a un territorio y realizar una utilización racional y protección del medio ambiente.

La explotación de las cartografías temáticas tiene en el uso de la tecnología SIG (Sistemas de Información Geográfica) una de las herramientas más útiles para cualquier finalidad científico-técnica que pretenda utilizar la componente espacial como elemento de análisis.

➤ ***La cartografía en los estudios de evaluación de impacto ambiental.***

En la evaluación de impacto ambiental, el principal objetivo del estudio del medio físico es el conocimiento y valoración de los efectos que en el medio producirán determinados planes, programas o proyectos de manera que puedan tomarse las medidas oportunas, en su caso, para disminuir o evitar los efectos negativos y fundamentalmente para que las consideraciones ambientales sean tenidas en cuenta en la toma de decisiones de desarrollo (Martínez-Graña et al., 2012).

➤ **La teledetección ambiental, la planificación territorial y su aplicación en la gestión de zonas afectadas por incendios forestales y su recuperación.**

Las imágenes obtenidas desde satélites (Teledetección Espacial) tienen un gran interés en el campo de la ordenación del territorio, para cartografiar usos actuales del suelo, aptitud de los suelos para diferentes usos agrícolas e ingenieriles, degradación ambiental, etc., que son considerados como documentos básicos sobre los cuales debe de orientarse toda planificación territorial (Martínez-Graña et al., 2012).

La teledetección satelital proporciona enfoques factibles para describir los daños y patrones provocados por los incendios. Las técnicas de clasificación que utilizan imágenes de varias fechas como componentes principales, tienen en cuenta las condiciones previas a la perturbación o fenómeno (Miller y Thode, 2007). Las imágenes satelitales de alta resolución temporal como EOS/MODIS y NOAA/AVHRR, se utilizan ampliamente para

identificar puntos de incendio y producir mapas de fuego. Sin embargo, no pueden representar con precisión las áreas quemadas y sus cambios temporales debido a su baja resolución espacial (Liu e Y, 2020). Por otro lado, los datos de la serie Sentinel se utilizan ampliamente en estas temáticas, teniendo gran importancia para calcular el índice radiométrico NBR (Normalized Burn Ratio) y sus variaciones, lo que ha contribuido al desarrollo de estudios referidos a evaluación de daños por incendio (Moura *et al.*, 2020).

El índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) es ampliamente aplicado en la investigación sobre el cambio climático y ambiental global, se calcula como una diferencia de relación entre la reflectancia de la cubierta medida en las bandas de infrarrojo rojo y cercano, respectivamente (Gandhi *et al.*, 2015). Por otro lado, el índice Normalizado de Área Quemada (NBR) es muy similar al NDVI (Key y Benson, 2005), pero con otra finalidad y se ha encontrado que la severidad del fuego mapeada en el campo, se correlaciona con la severidad del fuego mapeada usando NBR, lo que lleva a sugerir que este índice proporciona un medio adecuado para medir la gravedad del fuego (Roy *et al.*, 2006).

3.4 Restauración Post-Incendio

➤ **¿Qué es la restauración ecológica?**

La restauración ecológica es una actividad intencional que inicia o acelera la recuperación de un ecosistema nativo con respecto a su salud, integridad y sustentabilidad. Como referencia se puede definir, de una forma general, como el proceso de ayudar al restablecimiento de un ecosistema que se ha degradado, dañado o destruido. En la restauración, la trayectoria comienza con el ecosistema alterado y progresa hacia el estado esperado de recuperación, lo que se expresa en términos de metas de un proyecto de restauración relacionados a un ecosistema de referencia (Fernández *et al.*, 2010).

➤ **Restauración Ecológica Post-Fuego**

La combustión es un proceso fisicoquímico donde el fuego produce una serie de efectos que dependen de las interacciones de la energía liberada (intensidad), duración, cantidad de combustible, tipo de vegetación, clima, topografía, suelo y área quemada. La variabilidad del daño a los recursos y la respuesta entre sitios y diferentes tipos de ecosistemas es altamente dependiente de la severidad del incendio. La severidad del incendio es una medida cualitativa de los efectos del fuego sobre los recursos en el sitio. Los incendios con un alto nivel de severidad destruyen la vegetación, consumen la cubierta vegetal orgánica y exponen el suelo mineral a la erosión, particularmente durante la temporada de lluvias.

Luego que un ecosistema es afectado por un incendio, se deben considerar dos fases para su recuperación. Una primera a corto plazo, denominada rehabilitación, que debe ser ejecutada tan pronto como sea posible luego del siniestro y una segunda, a mediano y largo plazo, denominada restauración (Fernández *et al.*, 2010).

3.5 Las Políticas Ambientales y el Desarrollo Ecológico

El objetivo central de la política ambiental es lograr un desarrollo sustentable, más aún, ecológica y económicamente sustentable. La conservación de los ecosistemas y de la diversidad biológica, así como la mantención de la capacidad económica de producir bienes y servicios para las actuales y futuras generaciones, son requerimientos que hoy día se les exige a las políticas de desarrollo (Durán de la Fuente, 2005).

➤ **Las políticas ambientales y sus principios**

Según Zarza (2019) la política ambiental es la preocupación por ayudar a mejorar y cuidar el medio ambiente, conservar los principios naturales de los humanos y fomentar el desarrollo sostenible, a través de marcarse objetivos claros a corto y largo plazo relacionados con todo esto en conjunto. También sirven para diseñar las estrategias que se realizan desde las diferentes instituciones, tanto nacionales como internacionales, que, a

través de la elaboración y aplicación de diferentes normativas ambientales, buscan hacer frente a los problemas ambientales existentes.

Los principios de las políticas ambientales para un desarrollo sostenible para lograr un crecimiento económico limpio y ecológico son:

- El principio de responsabilidad medioambiental.
- El principio de prevención.
- El principio de sustitución.
- El que contamina paga en los casos que no se puede prevenir el daño ambiental.
- El principio de la coherencia.
- Principio de la cooperación.
- Las políticas ambientales deben basarse siempre en los resultados de investigaciones científicas.

IV. METODOLOGÍA

4.1 Área de Trabajo

El territorio donde se desarrolló el trabajo es en la comunidad de Rastrojos de la comuna de San Javier, Región del Maule (ver figura 2). El desarrollo del mismo se hizo mayormente con trabajo de oficina, con algunas visitas a terreno para recolectar y verificar información. Según Villalobos (2019) La localidad de Rastrojos se encuentra inmersa dentro de una zona rural que posee tanto campos agrícolas de pequeños propietarios como también áreas de bosque nativo. El paisaje dentro de la localidad de Rastrojos se encuentra dominado por plantaciones forestales exóticas de *Pinus radiata* y *Eucalyptus*.

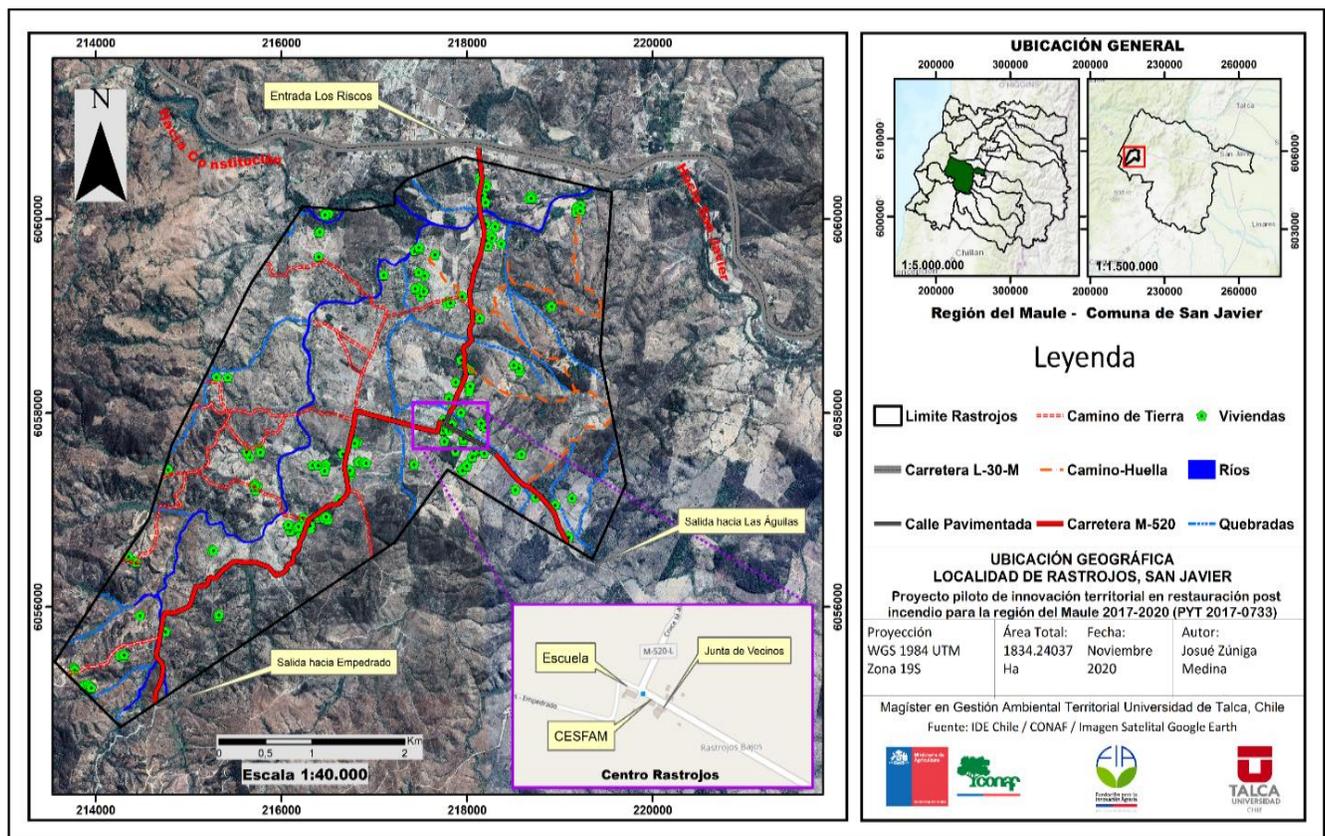


Figura 2. Ubicación Geográfica Rastrojos, San Javier, Chile.

El área de estudio (figura 2) incluyó una superficie de 1834,2 ha, cuya información fue proporcionada por el proyecto de CONAF. El área corresponde a las zonas más afectadas

por el incendio del año 2017 y años anteriores, las cuales fueron determinadas a través de estudios de ocurrencia de incendios y por medio de imágenes satelitales.

4.2 Materiales

Para el desarrollo del trabajo se utilizaron:

- Imágenes satelitales Sentinel 2
- Software GIS y de Teledetección: ArcGIS, Q Gis.
- Información Ráster y Vectorial: capas ráster, capas vectoriales.
- Software office
- GPS

4.3 Metodología

La metodología general del proyecto se estructuró según el esquema de la figura 3.

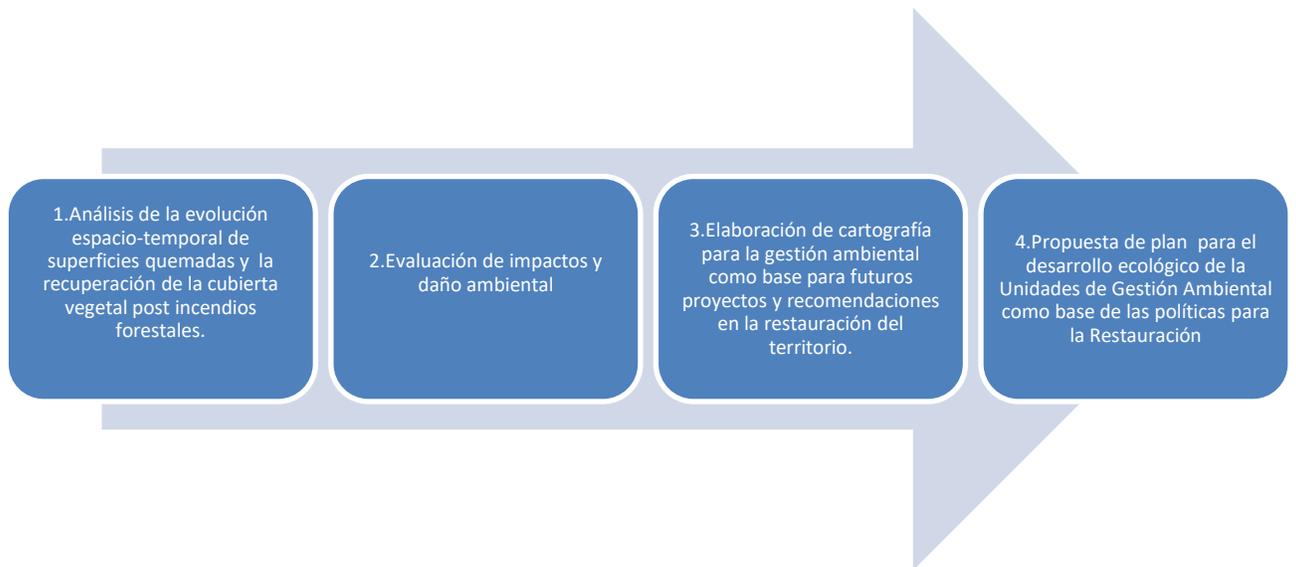


Figura 3. Estructura de la Metodología General del Proyecto.

4.3.1 Análisis de la evolución espacio-temporal de las superficies quemadas y la recuperación de la cubierta vegetal post incendios forestales

Para el estudio de la recuperación post-incendio se consideró un análisis del daño ambiental, el cual define que: El impacto es la diferencia entre la evolución del medio ambiente “sin” y “con” daño ambiental (Barrantes y Di Mare, 2002). Partiendo de esta definición, se adaptaron los conceptos de una evaluación de impacto ambiental para efectos del estudio, en el cual se aplicó el análisis para un estado del territorio o zonas afectadas de “antes” del evento (incendio forestal 2017). Este proceso se llevó a cabo mediante una clasificación supervisada con imágenes satelitales; luego la evaluación se realizó para el estado “después” del incendio del año 2017, mediante la estimación de la severidad por medio del Índice Normalizado de Área Quemada (NBR); y la evolución de la recuperación de la cubierta entre los años 2017-2020, mediante la estimación del vigor vegetacional de la zona con el índice Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI). Esta sección se llevó a cabo mediante los siguientes procesos:

- **Generación de una cartografía de vegetación previa al incendio a partir de bases cartográficas (clasificación supervisada de imágenes de satélite) y de trabajo de campo.**

Se utilizaron imágenes provenientes del sensor remoto Sentinel MSI 2 en fechas previas y posteriores al incendio, por el nivel de detalle de las imágenes, lo cual es fundamental para mejorar el análisis de mayor escala en zonas acotadas. Otro factor importante fue el acceso gratuito a las imágenes mediante plataformas como la Copernicus Open Access Hub de la ESA y la GloVis de la USGS.

- **Diseño del trabajo de campo**

Se realizaron visitas a terreno donde se corroboró y verificó información ya existente y generada por el “Proyecto Piloto de Innovación Territorial en Restauración Post Incendio

para la Región del Maule 2017-2020”, que se ejecutaba durante la realización de este estudio. También para evaluar visualmente y comprobar los datos obtenidos de los índices espectrales y clasificaciones supervisadas los impactos del fuego sobre los factores ambientales y la severidad de los daños. La evaluación del daño ambiental se realizó mediante la identificación, evaluación y percepción de impactos ambientales, adaptando dicho proceso a un panel de expertos.

➤ **Identificación Espacial de los diferentes niveles de afectación (severidad)**

Se definió la cartografía del área recorrida por el incendio a partir de la comparación de una imagen previa y una posterior al incendio. Para la identificación espacial de los diferentes niveles de afectación se realizó utilizando imágenes SENTINEL, para una fecha previa (2016) y posterior al incendio (2017). Para ambas fechas se adquirieron las imágenes del GloVis del USGS administrado por la NASA. Al final se elaboró una cartografía de severidad de los daños producidos por el fuego sobre la vegetación mediante la clasificación supervisada de una imagen de satélite posterior al incendio.

4.3.1.1 Análisis de severidad de incendios forestales

Para el análisis satelital de severidad de incendios forestales, según la metodología de CONAF (2017), se utilizó el índice Difference Normalized Burn Ratio (dNBR) (ecuación 1 y 2). Este índice es ampliamente utilizado para establecer la severidad del fuego en la vegetación, y se basa en el análisis de dos imágenes satelitales, antes y después del incendio, utilizando para ello la comparación de un índice derivado de los niveles de reflectividad del espectro electromagnético de las bandas infrarroja cercana (NIR) e infrarroja lejana (SWIR), para captar cambios en la estructura de la vegetación y reflectividad del suelo. El resultado de esta diferencia fue clasificado según lo propuesto por Key y Benson (2005).

Para dNBR se utilizaron dos imágenes: la más próxima antes del incendio “pre-incendio” y la primera imagen disponible post incendio, aproximadamente 10 días después a la fecha de extinción de estos. La ecuación de cálculo del NBR es la que se muestra a continuación:

$$NBR = \frac{(NIR - SWIR)}{(NIR + SWIR)} \quad [1]$$

Donde la región del NIR y del SWIR es cubiertas por las Bandas 4 y Banda 8 de Sentinel 2 respectivamente. La integración de ambas imágenes con valores de NBR en una sola imagen que contenga el gradiente o diferencia entre ambas se le conoce como *difference Normalized Burn Ratio* (dNBR), el cual se obtiene de la siguiente expresión:

$$dNBR = NBR_{Pre-incendio} - NBR_{Post-incendio} \quad [2]$$

Esta diferencia es fue utilizada para discriminar las áreas quemadas de las que no están y proporcionar una categoría del cambio causado por el fuego o severidad de los daños (Key y Benson, 2005). A su vez, a esta misma imagen de diferencias, se aplicó la clasificación según categorías de severidad de daño publicada por el programa FIREMON del Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) (ver cuadro 2).

Cuadro 2. Clasificación de categorías de severidad del fuego.

<i>Nivel de Severidad</i>	<i>Rango dNBR</i>
Alto crecimiento de vegetación posterior al fuego	<-0,25
Bajo crecimiento de vegetación posterior al fuego	-0,25 – -0,1
Zonas estables o sin quemar	-0,1 – 0,1
Zonas quemadas con gravedad baja	0,1 – 0,27
Zonas quemadas con gravedad moderada-baja	0,27 – 0,44
Zonas quemadas con gravedad moderada-alta	0,44 – 0,66
Zonas quemadas con gravedad alta	> 0,66

Fuente: Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS).

Esta clasificación según categorías permitió aislar y definir de mejor forma el área afectada según los niveles de daños provocados por el incendio.

4.3.1.2 Cartografía de Severidad de los Daños Producidos por el Fuego Sobre la Vegetación

Se utilizaron cinco archivos de imagen, uno de antes del incendio (año 2016), un segundo después del incendio (año 2017), y tres imágenes más por los años posteriores (Cuadro 3), cada imagen con sus bandas por separado, para el uso en el cálculo de los índices. Las imágenes se obtuvieron ya referenciadas con el sistema WGS_1984_UTM_Zone_19S. A todas se les aplicó una corrección atmosférica haciendo uso del plugin Semi-Automatic Classification del software libre QGIS (versión 3.10.7-A Coruña), con el objetivo de trabajar con reflectancia y que los resultados obtenidos fueran los más idóneos.

Cuadro 3. Datos operacionales de las imágenes adquiridas sensor SENTINEL 2A.

Temporalidad	Fecha	Resolución Espacial (m)
Pre-incendio	20/12/2016	10, 20, 60
Post-incendio	20/03/2017	10, 20, 60
1 año post-incendio	15/03/2018	10, 20, 60
2 año post-incendio	15/03/2019	10, 20, 60
3 año post-incendio	19/03/2020	10, 20, 60

4.3.1.3 Evaluación de la recuperación de la cobertura vegetal post incendio

La evaluación de la restauración de la vegetación y paisaje post incendios forestales se realizó mediante el uso de índices espectrales. El índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) es ampliamente aplicado en la investigación sobre el cambio climático y ambiental global, este se calculó como una diferencia de relación entre la reflectancia de la cubierta medida en las bandas de infrarrojo rojo y cercano respectivamente (Gandhi et al., 2015). Este índice se calculó sobre la base de imágenes SENTINEL 2A para una fecha post incendio (año 2018) y una fecha actual (año 2020).

➤ Cálculo de la calidad, cantidad vegetacional y estimación de la recuperación vegetacional

La ecuación de cálculo usada fue la siguiente (Gajardo *et al.*, 2010):

$$NDVI = \frac{\rho_{IRC} - \rho_R}{\rho_{IRC} + \rho_R}$$

Donde,

NDVI= Índice Vegetación de Diferencia Normalizada.

ρ_{IRC} = Reflectancia en el infrarrojo cercano.

ρ_R = Reflectancia en el rojo.

Los valores obtenidos entre -1 y 1, y se categorizaron según Olivo (2017) como se muestra en el cuadro 4. Para la obtención de las áreas geométricas de las zonas recuperadas, se utilizó la herramienta reclasificación de capas. Las capas reclasificadas se convirtieron de tipo raster a vectorial.

Cuadro 4. Categorizaciones según la cantidad y calidad vegetacional.

Nivel	Categorización	Rango
1	Nubes o agua	-1 – 0
2	Suelo desnudo	0 – 0,2
3	Vegetación escasa + suelo	0,2 – 0,4
4	Vegetación dispersa o medianamente sana	0,4 – 0,6
5	Vegetación densa o muy sana	0,6 – 1

El índice NDVI se determinó para las imágenes tomadas en el año 2016 y 2017 (post incendio), como partida cero de la recuperación vegetacional, y para las imágenes del año 2018, 2019 y año 2020, como imagen de final de recuperación.

4.3.1.4 Verificación de datos en campo de severidad del incendio (dNBR) y estado de la vegetación (NDVI)

Para la verificación/validación de los datos obtenidos fue necesario realizar recorridos visuales en el campo, para lo cual se definieron puntos de control (PC) (ver cuadro 5).

Cuadro 5. Coordenadas puntos de control verificación en campo.

PC	dNBR		NDVI	
	Cord x	Cord y	cord x	cord y
0	218335	6059379	217248	6060115
1	217312	6057813	218051	6058525
2	217146	6058236	218738	6057251
3	217040	6059270	219309	6056668
4	215120	6057573	216796	6056812
5	215167	6057487	214474	6055008
6	214786	6055817	214815	6055387
7	214520	6055117	214421	6056388
8	214138	6055573	214801	6057442
9	219048	6059563	216354	6057037

10		216595	6057550
----	--	--------	---------

La asignación de cada punto de control fue de forma aleatoria de acuerdo a los resultados más significativos y con una distribución equilibrada en el área de estudio. Una vez georreferenciados los puntos se procedió a realizar la cartografía temática y finalmente se realizaron las visitas al campo o área de estudio para cada uno de los resultados (NBR Y NDVI).

➤ **El Índice Normalizado de Área Quemada (NBR)**

Para este índice no se contaba con información de campo exacta del año 2017, en que ocurrió el evento. Para la verificación y validación de la severidad del incendio se realizaron visitas a las áreas con categorías “Zonas quemadas con gravedad moderada-baja” y “Zonas quemadas con gravedad moderada-alta”. Por motivos de tiempo y recursos, el protocolo de inspección solo fue visual mediante navegación cartográfica generada con anterioridad en escritorio. Según De Santis y Chuvieco (2009), el índice (dNBR) tiene limitaciones importantes para reflejar la severidad del fuego en alguno de los componentes del ecosistema, pero continúa siendo un indicador de referencia que trata de integrar el efecto del fuego en diferentes estratos de vegetación y suelo (Fernández et al., 2008).

La distribución de los puntos de control (Figura 15, anexo 1) para inspección se realizó aleatoriamente sobre las áreas con las categorías de severidad con más afectación o en sitios donde según los resultados, la afectación fue más grave. Al igual que en la visita para el NDVI, para el dNBR se designaron puntos de control con fácil acceso.

Una vez en el campo, se recorrió las zonas, verificando los PC para las categorías y generación de fotografías por cada área e identificando los restos de materia quemada sobre el suelo, el nivel de daño en árboles y el estado fuentes de agua cercanas a los puntos de control.

En el anexo 1 se muestran el mapa de puntos de control, las fotografías e impresiones durante los recorridos por el área de estudio.

➤ **El índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)**

La verificación de resultados en el terreno de este índice, se realizó de acuerdo al NDVI del año 2020. Inicialmente se estratificó el área con crecimiento de vegetación o recuperación hasta el año 2020 en sus 4 clases y para las visitas a campo se cartografiaron mediante un SIG las áreas las categorías de clasificación de “vegetación con vigorosidad mediana y alta”. Cabe mencionar que la inspección en el campo fue solo visual, ya que no se contó con recursos para una evaluación más exhaustiva del estado de la vegetación. También es de acotar que los puntos de control fueron establecidos en zonas de fácil acceso, cercanas a vías terrestres y fuentes de agua. Esto con el fin de confirmar si los resultados obtenidos coincidían con la realidad en el área de estudio.

Una vez en el campo, se recorrió las zonas, verificando los PC para las categorías y generación de fotografías por cada área e identificando las zonas con vegetación vigorosa media a alta, es decir zonas que según el NDVI del año 2020 se han mantenido con la vegetación.

En el anexo 2 se muestran el mapa de puntos de control, las fotografías e impresiones durante los recorridos por el área de estudio.

4.3.2 Evaluación de impactos y daño ambiental

Los incendios forestales provocan impactos complejos sobre los procesos ecológicos, debido a la variabilidad de las estructuras del paisaje, así como a las diferentes respuestas de la vegetación. Los impactos de los incendios van a depender de la intensidad, recurrencia y duración del incendio forestal.

Estos efectos pueden ser directos tales como pérdida de animales, pérdida de la vegetación y degradación del suelo. Los efectos indirectos, por su parte, van desde la erosión del suelo hasta la contaminación del agua.

➤ **Análisis de Estudios Históricos y Reincidencia de Incendios**

La detección de cambios en el tiempo es una aplicación habitual de la percepción remota en el monitoreo de los ecosistemas. Para la Región del Maule se han realizado diversos estudios sobre la recurrencia y severidad de incendios forestales. Los estudios proporcionados por CONAF contenían datos geospaciales respecto a la ocurrencia y daño por incendios forestales en los últimos 22 años en la Región del Maule. Esto permitió evaluar las superficies y severidades históricas de los incendios en a escala regional y del área de estudio, mediante herramientas de análisis espacial y calculadora ráster del software ArcGIS.

4.3.2.1 Panel de Expertos para Evaluación de Impactos Ambientales

Uno de los métodos utilizado por Bayas (2001) para valorar el impacto ambiental de los incendios forestales es el método de panel de expertos.

Como lo menciona Bayas (2001) este método no proporciona una guía formal para evaluar impactos ambientales. Es un método ad-hoc trabajado con personas que han manejado experiencias de trabajo previo en el asunto a evaluar, en este caso, trabajo en protección forestal. Su principal ventaja es su misma informalidad que permite su adaptación para evaluar diversos tipos de impactos.

El panel de expertos se realizó contando con la participación de 7 expertos (en el anexo 3 la información sobre el panel de expertos), todos con estudios y experiencia relativa a la protección forestal. Se diseñó un formato de recolección de datos tipo encuesta el cual se puede ver en el anexo 4.

➤ **Identificación de Factores Ambientales**

Para la representación del entorno medioambiental se diseñó una estructura jerárquica, debido a que no todos los autores (Barrantes y Di Mare (2002) y SICA (2000)) de los métodos de evaluación de impactos ambientales coinciden respecto al número de niveles que debe tener el árbol, se propuso que fuera el titular del estudio y coordinador del proyecto en el área de estudio quien definiera cuántos niveles debía tener y el nombre asociado a cada uno. De esta forma, y para efectos de este estudio, se analizaron cinco componentes y factores ambientales los cuales serán los criterios de selección a analizar (Cuadro 6).

Cuadro 6. Componentes y factores ambientales.

Componente Ambiental	Factor Ambiental (Variable)
Agua	Ríos y quebradas
Suelo	Nivel de erosión y uso de suelo
Flora	Diversidad de tipos de vegetación, cantidad y calidad de la vegetación
Fauna	Diversidad de especies, estado actual.
Socio-económico	Calidad de vida de la población

➤ **Valoración y ponderación de impactos ambientales**

Tras la creación de cada factor se realizó el establecimiento de la puntuación de los mismos, como es habitual cuando se utilizan los métodos de evaluación de impacto ambiental. Esta parte del proceso se centró en la creación de una matriz en cuyas filas y columnas se ha establecido el número de atributos de la variable a evaluar.

Según la metodología llevada a cabo por Bayas (2001) en esta matriz se establece la importancia de cada valor respecto a cada uno de los demás, mediante el método de valoración en la afectación, nivel de impacto y la magnitud (criterio de escala).

Para la valoración y percepción de los impactos ambientales generados por el incendio se utilizaron variables como:

-*Efecto de los impactos*: Positivos, si mejoran las condiciones ambientales del territorio afectado o Negativos, si perjudican a una población y degradan los recursos naturales del territorio afectado.

-*Magnitud de los impactos*: Integra las variables para definir el grado de afectación de un impacto; el cual podía ser Baja, Media y Alta.

La matriz de panel de expertos se observa en el cuadro 7:

Cuadro 7. Valoración de Impactos Ambientales.

Factor Ambiental (Variable)	Afectado por incendios (Sí/No)	Impacto Positivo, Nulo o Negativo	Magnitud del impacto (ver escala abajo del cuadro)	Breve descripción del impacto / Observaciones
Cuencas hidrográficas				
.....				

Magnitudes: Calificar de 1a 9: donde 1 es muy *bajo impacto hasta 9* que corresponde a muy *alto impacto*.

➤ **Síntesis de Impactos Ambientales**

A partir de la matriz antes descrita, se efectuó una valoración mediante la metodología de Panel de Expertos (Ver información base del panel en el anexo 3), la cual se implementó mediante una encuesta aplicada a expertos y/o especialistas en diferentes áreas y con experiencia en el área de estudio (Ver formato de la encuesta en el anexo 4).

Cuadro 8. Síntesis de Impactos Ambientales.

Factor Ambiental (Variable): Servicio, bien o beneficio	Total	Promedio Evaluativo (1-9)	Porcentaje (de mayor a menor)
Cuencas hidrográficas			
.....			

4.3.3 Elaboración de cartografía para la gestión ambiental como base para futuros proyectos y recomendaciones en la restauración del territorio

En esta etapa se elaboró una propuesta cartográfica (temática y sintética) para la ordenación territorial y el análisis de las unidades ambientales que puedan interactuar con los componentes ambientales afectados por el incendio forestal del año 2017 y su evolución en la recuperación/restauración en el periodo 2017-2020.

La definición de la propuesta se basó en un sistema de información geográfica de las Unidades de Gestión Ambiental (UGA), su respectiva política ambiental y lineamiento ecológicos.

Los factores importantes para el desarrollo la metodología fueron el análisis ambiental de los impactos, el límite o área total afectada (severidad) por el incendio forestal y su área de vegetación recuperada.

Las actividades a realizadas en esta etapa tomando en cuenta el estudio realizado por INSECAMI (2017), que corresponden a:

- **Generación de cartografía temática para usos de suelo y otros componentes biofísicos**

Se generaron las capas o layers de cada uno de dichos componentes ambientales, mediante la utilización de una clasificación supervisada a través de Teledetección Ambiental y Sistemas de Información Geográfica (SIG). Posteriormente, se llevó a cabo un proceso de superposición para delimitar los principales tipos de uso de suelo en el territorio local, lográndose así construir un mapa de clasificación que represente el escenario actual y que defina los usos de suelo actuales.

La realización de la cartografía para usos se suelo se realizó en base al mapa de bosque nativo generado por CONAF en el año 2016. Con el objetivo de obtener una información

más precisa, se realizó una nueva clasificación apoyada en la información ya existente. La metodología utilizada fue la de clasificación supervisada de imágenes satelitales, ya corregidas atmosféricamente y topográficamente.

➤ **Información vectorial existente sobre el área de estudio**

Se utilizó como base de apoyo la información vectorial obtenida de las siguientes organizaciones o proyectos en el área de estudio:

-Catastro de Bosque Nativo de CONAF del año 2016, para la identificación de zonas de entrenamiento, tomando en cuenta los tipos de clases de usos de suelo y considerando que la tendencia de estos, debido a que el terreno contenía errores de base.

-Información base del Municipio de San Javier, como ríos, quebradas, microcuencas, red de caminos, formaciones vegetacionales y límites municipales. Esta información fue proporcionada por el Centro de Geomática de la Universidad de Talca, cuya fuente proviene del IDE Chile.

-Polígonos de bosque nativo y corredores biológicos proporcionados por Villalobos (2019) a partir del proyecto PYT-2017-0733 “Piloto de Innovación Territorial en Restauración Post incendio, Región del Maule”.

-Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), el cual se generó en este estudio para los años 2016-2020.

➤ **Clasificación supervisada y verificación en campo**

Antes de clasificar las imágenes Sentinel 2A, se realizó una composición RGB utilizando las bandas espectrales (13 bandas y una resolución espacial de 10m en el visible), con el fin de

facilitar la interpretación y análisis multiespectral del territorio. Las combinaciones fueron las siguientes:

-Color natural: Sentinel 2A (4,3,2)

-Falso color (para zonas urbanas): Sentinel 2A (12,11,4)

-Infrarrojo (para vegetación): Sentinel 2A (8,4,3)

-Agricultura: Sentinel 2A (11,8A,2)

-Usos del suelo/masas de agua: Sentinel 2A (8A,11,4)

-Análisis de vegetación: Sentinel 2A (11,8A,4)

Para la clasificación supervisada se realizó un “layer stacking” de las bandas compuestas para trabajar sobre un solo archivo. También se cargaron todas las capas vectoriales de interés para el inicio de la clasificación. Las áreas de entrenamiento se crearon mediante puntos de control asignados a cada clase que se generaron según los usos de suelo utilizados por CONAF y otras clases de interés para el estudio. Luego se procedió a generar el archivo con las clases integradas mediante la herramienta Spatial Analyst Tools - Multivariate - Create Signatures del software ArcGIS.

Antes de realizar la clasificación supervisada final se realizó una visita al área de estudio con el fin de obtener información sobre usos de suelo y otras características donde faltaba información, como las áreas de cárcavas, terrenos agrícolas, plantaciones forestales recién sembradas, praderas y otros sitios de interés donde había confusión sobre los usos actuales. En el anexo 5 se pueden observar los puntos de control y fotografías de la visita a terreno.

Posteriormente, ya con las clases y áreas de entrenamiento creadas, se procedió a la aplicación de una clasificación supervisada con algoritmo de máxima verosimilitud, mediante la herramienta Multivariate -Maximum Likelihood Classification del software ArcGIS.

➤ **Delimitación de UGA's y asignación de políticas ambientales**

Según el PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente) y la Unión Europea, la función de una política ambiental es “Fomentar una economía innovadora y circular en la que se proteja, se valore y se restablezca la biodiversidad y se reduzcan al mínimo los riesgos para la salud derivados de problemas de medio ambiente, potenciando la resiliencia de la sociedad desvinculando el crecimiento del uso de los recursos”.

Por lo tanto, para la construcción de este tipo de unidades según la metodología de Verges (2020) para la localidad de Rastrojos, se partió de la identificación de unidades territoriales homogéneas enfocadas hacia la planificación territorial-ambiental, el manejo de los recursos naturales y la vinculación con sus características físicas, biológicas, socioeconómicas, administrativas, ecológicas y de paisaje, y más importante, de acuerdo a las necesidades de la problemática ambiental en la localidad.

La delimitación de UGA's se llevó a cabo considerando la metodología establecida por la INSECAMI (2017), específicamente mediante lo que suele llamarse un proceso de delimitación convencional, es decir, siguiendo una serie de criterios preestablecidos y basándose en la información cartográfica generada en los análisis, evaluación del daño, severidad y evolución de la recuperación. Los criterios utilizados para la delimitación de UGA's fueron los siguientes:

- Ubicación y delimitación de la Localidad Los Rastrojos.
- Ubicación y delimitación de Áreas Urbanas y Localidades (superficie actual, esquemas).
- Áreas Prioritarias para la Protección, Conservación y Restauración.
- Delimitación de Microcuencas y Cuerpos de agua.
- Áreas de vegetación primaria y prioritaria.
- Uso de suelo actual.
- Mapa de las áreas recuperadas post-incendios (NDVI 2017-2020).
- Mapas de impactos ambientales del territorio post incendios (Estudio de Severidad dNBR).
- Modelo de Elevación Digital (DEM).

➤ **Cartografía de Síntesis de las Unidades Ambientales y de Paisaje**

Una vez delimitadas las UGA's se procedió a asignarles un nombre y a definir la política para cada una de ellas. En materia de Gestión Ambiental y Ordenamiento Territorial se previeron políticas generales que se asignaron a las UGA's de acuerdo a las características físicas, biológicas, socioeconómicas, administrativas y de aptitud que presenten. Dichas políticas deben ofrecer un marco general para la regulación, inducción y fomento de las actividades de los sectores en el área a ordenar (INSECAMI, 2017).

Las políticas ambientales se definieron de acuerdo a los protocolos de Restauración de la Corporación Nacional Forestal (CONAF) y con la participación del grupo de expertos de dicha corporación responsable de las actividades de restauración en la localidad. Las que se seleccionaron fueron las de protección, conservación y restauración.

Al final se obtuvo una cartografía sintética sobre las Unidades Ambientales y la distribución espacial de las Políticas Ambientales en el Territorio de la Localidad Los Rastrojos.

4.3.4 Propuesta de Estructura de Plan para el Desarrollo Ecológico de las Unidades de Gestión Ambiental como Base de las Políticas para la Restauración

Partiendo de la información obtenida en los estudios ambientales (análisis, evaluación del daño y severidad, evolución de la recuperación) post-incendios forestales en la localidad de Rastrojos y considerando la política ambiental asignada a cada UGA, se redactó un lineamiento específico, el cual considera acciones y superficies específicas en cuanto al uso futuro del territorio que se pretende inducir o limitar en cada una de estas unidades territoriales, partiendo principalmente de las aptitudes con las que cuenta, la búsqueda de la minimización de conflictos, los usos de suelo que actualmente se desarrollan en ella y la política asignada.

Los lineamientos definidos serán la base para que se definan estrategias, las cuales deben estar integradas por objetivos específicos, las acciones, los planes y programas, así como los criterios que regulen las actividades compatibles en cada una de las UGA's.

V. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

5.1 Identificación y clasificación de la severidad del incendio

El área total con afectación por el incendio forestal en el año 2017 en la localidad Los Rastrojos representa un 76,90% del área total estudiada (figura 4 y 5). Las categorías con mayor representación corresponden a las “Zonas quemadas con gravedad moderada-baja” con un 21,49%, “Zonas quemadas con gravedad moderada-alta” con un 16,13% y las “Zonas quemadas con gravedad alta” con un 8,24 % del área total de la superficie de estudio (ver cuadro 9).

Cuadro 9. Áreas de cada categoría de la severidad del incendio.

Nivel de Severidad	Area dNBR (ha)
Alto crecimiento de vegetación posterior al fuego	0,2
Bajo crecimiento de vegetación posterior al fuego	7,7
Zonas estables o sin quemar	415,5
Zonas quemadas con gravedad baja	569,2
Zonas quemadas con gravedad moderada-baja	394,2
Zonas quemadas con gravedad moderada-alta	295,8
Total	1834,2

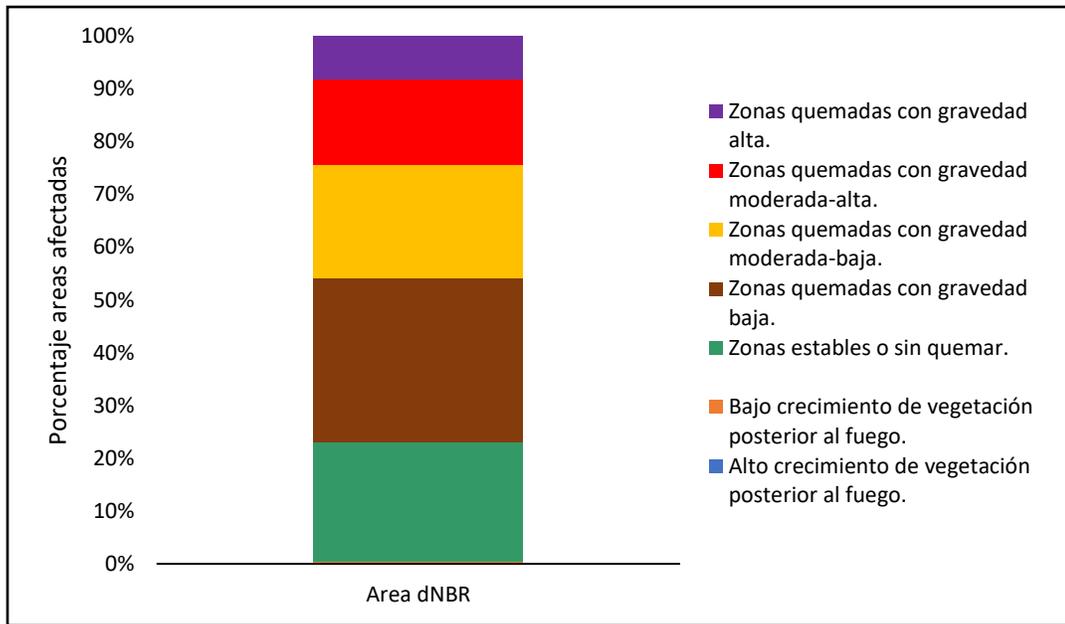


Figura 4. Porcentajes de áreas quemadas por categorías NBR.

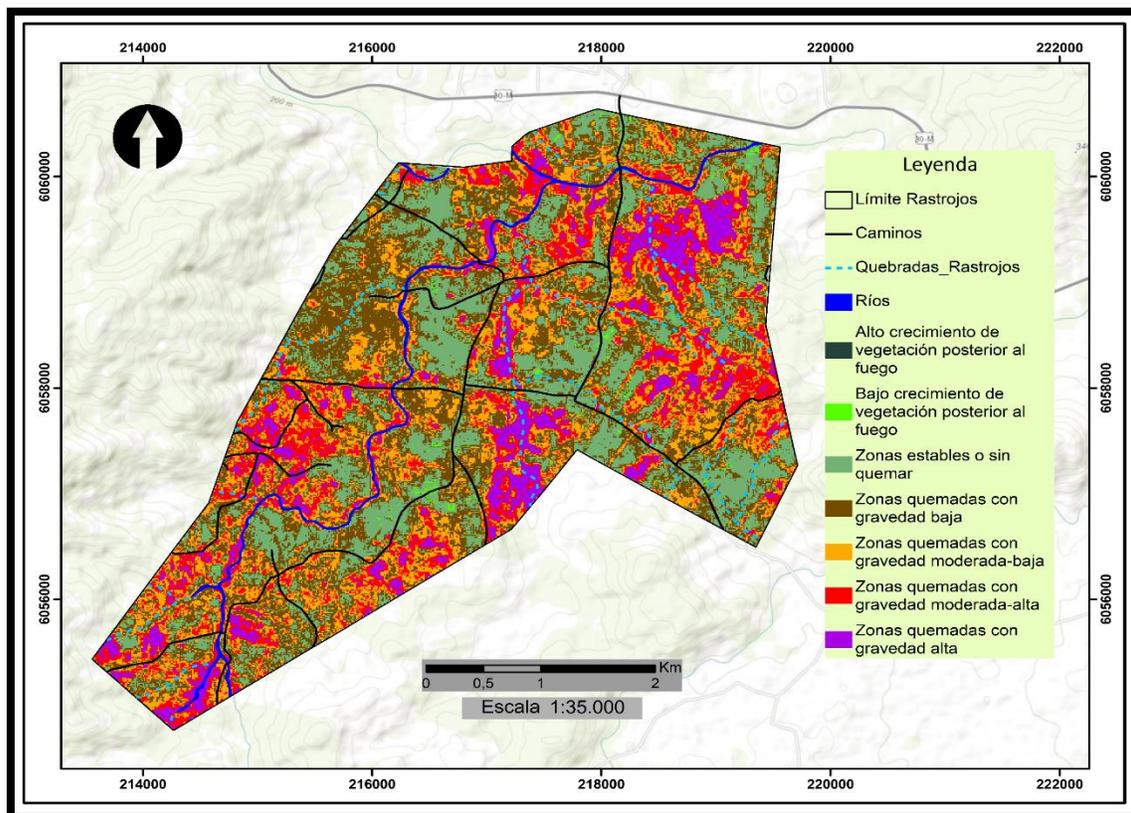


Figura 5. Severidad de Incendio 2017.

El incendio en relación al área total de la superficie de estudio (1834,24 ha), afectó 1410,68 ha, en contraste con una zona de 415,59 ha en donde no hubo afectaciones. Los patrones espaciales del área afectada por el incendio del año 2017, según el resultado obtenido del índice de severidad, se distribuye de formas variadas, pero con una concentración dominante de la categoría “gravedad moderada-alta y gravedad alta” sobre la vegetación (según clasificación de usos de CONAF) de tipo “matorral abierto” y también sobre “plantaciones forestales” (ver figura 6a).

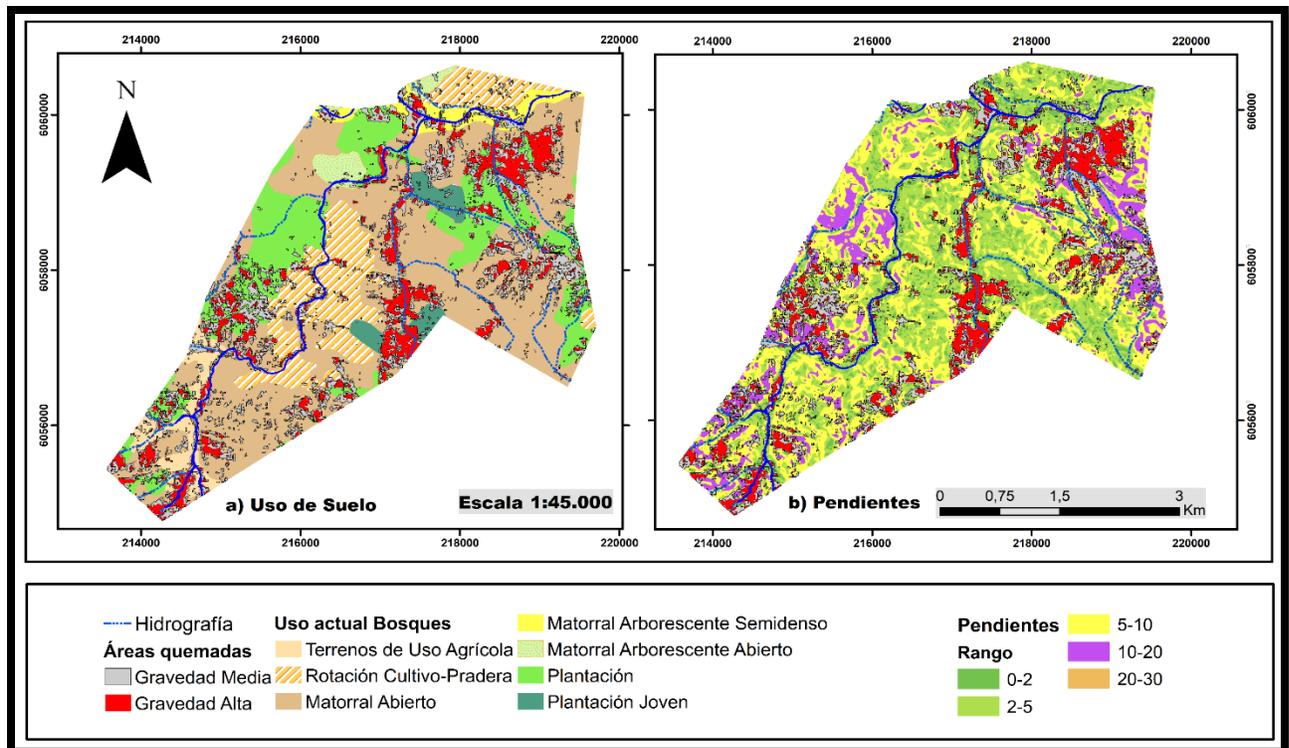
El matorral consiste típicamente en una mezcla de especies, como quillay, boldo, peumo, trevo, maitén entre otras. Hierbas y arbustos menores también pueden estar presentes. El matorral denso es especialmente peligroso cuando crece pendiente abajo de una casa. Las plantaciones forestales consisten básicamente en plantaciones de pino insigne, por lo general son de alta densidad. La cobertura del suelo a menudo está compuesta de acículas, ramas, troncos viejos y hierbas. En estado adulto, este tipo por lo general es un bosque muy denso con gran carga de combustible (CONAF, 2013).

De acuerdo a los anterior y según CONAF (2013) uno de los factores que influyen en el comportamiento del fuego es el combustible (tipo de vegetación), lo cual vendría a explicar la severidad del incendio desde este factor. El tipo de vegetación y la relación del combustible con el incendio forestal de Rastrojos (ver figura 6a) podría explicar la severidad media y alta sobre las categorías más afectadas.

Al considerar el tipo de Combustible (pastos, matorrales, arbolado nativo o exótico) más la condición topográfica Pendiente, se observa que el riesgo se incrementa aún más en la localidad, dado que se encontraron combustibles pesados que hacen que las condiciones de los incendios forestales adquieran ribetes de gran magnitud.

Según los datos arrojados por la cartografía generada (ver figura 6b), a partir de un modelo de elevación digital (DEM), el área de estudio posee pendientes de 2-5 %, 5-10%, 10-20% y

con máximos de 30% (en menor área). En la Figura 6a se observa que el daño de gravedad media y alta se concentra en sectores de mayor pendiente (10 a 30%).



5.2 Espacialización de Impactos Ambientales Generados Durante Incendio Forestal del año 2017. Cartografía de la Evolución Espacio-Temporal de la Recuperación de la Cubierta Vegetal Periodo 2017-2020

5.2.1 Crecimiento vegetacional y estimación de la recuperación

Las áreas obtenidas por cada categoría, en base a los valores reclasificados de NDVI, se muestran en el cuadro 10 y figura 7. Los datos parten del año 2016 como año de mayor umbral en la calidad y cantidad de vegetación de la zona Los Rastrojos, representando el período previo al incendio, hasta el 2020, año final del estudio.

Cuadro 10. Cambio de la cobertura vegetal según los niveles de categorización.

Categoría	Área (ha)				
	2016	2017	2018	2019	2020
Nubes o Agua	-	-	-	-	-
Suelo Desnudo	38,46	473,30	213,50	90,47	118,11
Vegetación escasa + suelo	721,02	1210,36	1379,93	1381,07	1343,36
Vegetación dispersa o medianamente sana	564,11	123,92	209,10	302,81	301,06
Vegetación densa o muy sana	510,58	26,01	31,65	59,83	71,64

Se observa una disminución abrupta del NDVI inmediatamente después del incendio en todas las categorías de clasificación, excepto en la “vegetación escasa+suelo”, donde se puede ver un alto crecimiento de las áreas. Es de notar que el suelo desnudo muestra crecimiento en el año 2017, aunque en la espacialización representa un área pequeña.

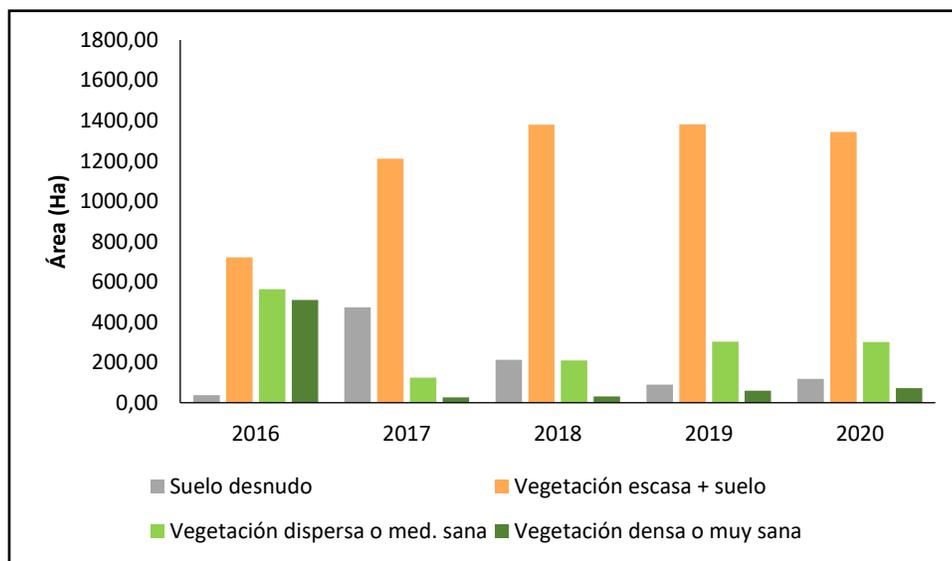


Figura 7. Cambio de cobertura vegetal pre-incendio 2016 a post-incendio 2020.

En los mapas siguientes de la figura 8, se espacializan las categorías del análisis del Índice de Vegetación Normalizado, donde se observan las tendencias del crecimiento vegetal en las áreas de las quemaduras provocadas por el fuego del año 2017. A la disminución abrupta del NDVI post-incendio, le sigue un aumento del índice en los años siguientes indicando una tendencia gradual positiva en la regeneración desde el año posterior al incendio (2017) hasta la diferencia del año final (2020). La extensión espacial general de la recuperación positiva es más fuerte en torno a las fuentes de agua en cuanto a la categoría de “vegetación media sana” a “vegetación densa “. También se puede observar una dinámica de recuperación bastante marcada en la categoría “suelo desnudo” donde el área quemada (año 2017) fue bastante grande donde, a partir de los años 2019-2020, el rango NDVI es alto.

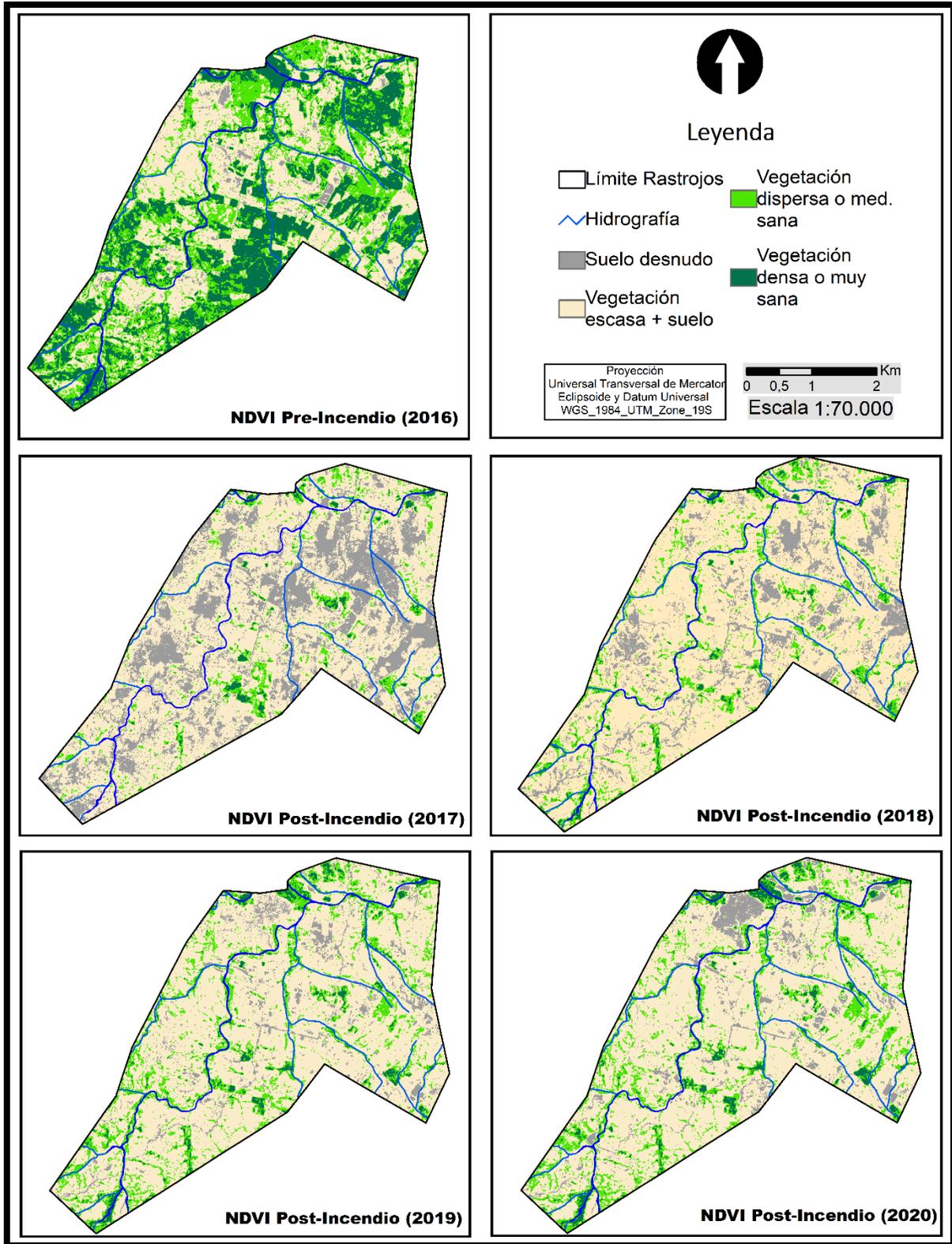


Figura 8. Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada NDVI.

5.2.2 Crecimiento vegetacional y severidad del incendio

El cuadro 11 y la figura 9 ilustran los resultados asociados con la correspondencia entre el crecimiento de vegetación y las categorías de severidad del incendio.

La dinámica del crecimiento de la vegetación y las áreas de severidad ha sido positiva desde el año posterior al incendio, a excepción de la categoría “Zonas estables o sin quemar” donde se puede observar una disminución en el rango del NDVI en año post-incendio, así como el subsiguiente año. Esto podría tener muchas explicaciones, pero considerando que las zonas sin quemar según el mapa de bosque nativo de CONAF (ver figura 6a), pertenecen al uso de suelo “matorral abierto” y “rotación de cultivo” y para la fecha en que el sensor captó la imagen estas estaban desprovistas de vegetación ya sea por actividad agrícola o por condiciones del clima. Se puede observar para los años 2019-2020 que el rango promedio del NDVI fue aumentando en las zonas que no se quemaron.

Cuadro 11. Relación categorías de severidad del incendio y crecimiento de la vegetación.

Nivel	Categorías de Severidad NBR	Rango promedio NDVI				
		2016	2017	2018	2019	2020
1	Zonas estables o sin quemar	0,335	0,288	0,297	0,306	0,302
2	Zonas quemadas con gravedad baja.	0,414	0,278	0,296	0,317	0,312
3	Zonas quemadas con gravedad moderada-baja.	0,515	0,255	0,286	0,327	0,329
4	Zonas quemadas con gravedad moderada-alta.	0,597	0,228	0,282	0,346	0,358
5	Zonas quemadas con gravedad alta.	0,705	0,193	0,304	0,382	0,384

Las tendencias del crecimiento de la vegetación muestran resultados bastante favorables en los cuatro años posteriores, donde las categorías de “zonas quemadas con gravedad baja, moderada-baja y moderada alta”, se observa una mejoría considerable en su NDVI sobre todo en la tendencia del año 2019 y 2020.

El cambio más grande en el NDVI se produjo en la categoría de “zonas quemadas con gravedad alta” donde el NDVI disminuyeron desde el 0,7 en el año 2016 hasta el 0,1 en el año 2017. Después del periodo de recuperación se puede observar en la figura 9 que ha sido la categoría con mejor tendencia en los últimos 3 años llegando a un rango medio de 0,38 en NDVI para el año 2020.

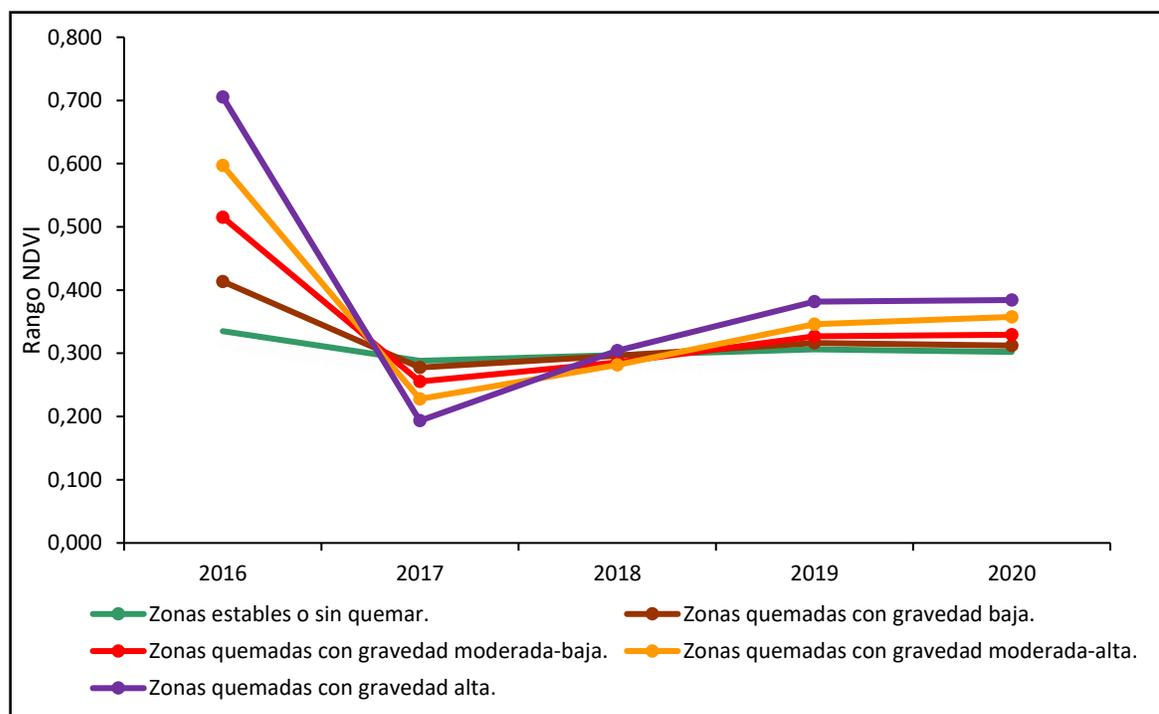


Figura 9. Gráfica relación dNBR (severidad del incendio) y NDVI (crecimiento vegetacional).

El uso del NDVI para el análisis de la recuperación de la vegetación posterior al incendio resultó ser de bastante ayuda para comprender la dimensión espacial de los cambios provocados los tres años posteriores al fuego en relación al año previo del evento. La disminución abrupta en los valores de NDVI posteriores al incendio es una clara evidencia del impacto que se ocasionó en la vegetación. La evidencia sugiere también que la vegetación puede tardar muchos años y hasta décadas en recuperarse y volver al estado natural de los ecosistemas pertenecientes al área de estudio.

Considerando los incendios frecuentes y severos en la zona, podría significar que a largo plazo los remanentes de bosque nativo que sobrevivieron, se vean afectados e imposibilitados de su recuperación, por los daños severos en el suelo, la pérdida de semillas, las especies invasoras y daños en el ciclo del hábitat de especies silvestres. Los bosques pueden no tener tiempo para desarrollarse en comunidades estables que sean capaces de recuperarse rápidamente, ya que la resistencia de estos ecosistemas frágiles como el nativo, se reducirá significativamente bajo un régimen de aumento de fuego frecuencia y gravedad (Díaz-Delgado et al., 2002)

5.2.4 Evaluación de Impactos y Daño Ambiental

5.2.4.1 Análisis de estudios históricos y reincidencia de incendios

Desde el punto de vista de la reincidencia de quema y el impacto ambiental en el territorio de la localidad de Rastrojos, en la figura 10 se muestra que los impactos se han concentrado más en las superficies de las zonas nor-oeste y nor-este del área de estudio. La reincidencia de quemadas en estas zonas ha sido entre 2 a 4 veces por año desde 1996 al año 2017.

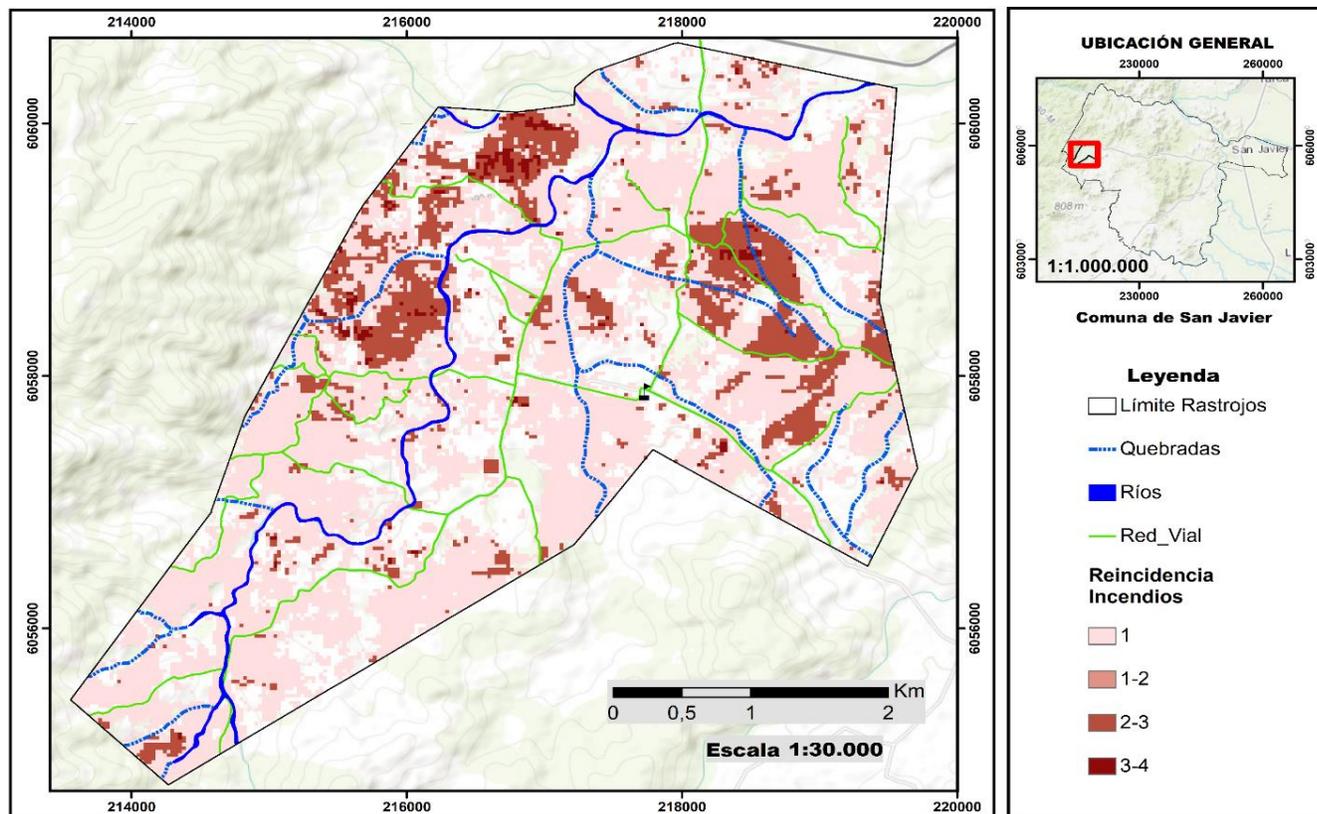


Figura 10. Reincidencia de Incendios Rastrojos 1996-2017.

5.2.4.2 Evaluación y percepción de impactos ambientales para el incendio del año 2017 mediante Panel de Expertos

Los resultados encontrados con la metodología aplicada muestran algunos datos interesantes sobre la tendencia de los impactos ambientales ocasionado por el incendio del año 2017 sobre el territorio de la localidad de Rastrojos.

➤ **Síntesis de impactos ambientales**

En el cuadro 12 se presenta la matriz de resultado de valoración del impacto ambiental, con el promedio ponderado de la valoración según los puntos (1-9) y criterio asignado por cada experto.

Cuadro 12. Tabla Resumen de la Valoración de Impactos Ambientales.

Factor Ambiental Impacto	Evaluación Expertos							Total	Promedio Magnitud (1-9)	Tipo de Impacto (Bajo, medio, alto)
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7			
Agua: Cambios en el ciclo hidrológico de ríos y quebradas	+4	+6	8	+7	-8	-5	+7	+45	+6,42	Medio
Agua: Disponibilidad de agua	+4	+6	8	+7	-8	3	+7	+43	+6,14	Medio
Suelo: Nivel de erosión	-6	-6	3	-8	6	-8	-8	-45	-6,42	Medio
Suelo: Modificación de los usos de suelo	-4	-4	4	+8	-6	-7	-7	-40	-5,71	Medio
Flora: Afectación de la vegetación	-7	-8	8	+7	-8	-5	-6	-49	-7	Alto
Flora: Afectación del Bosque Nativo	-5	-6	6	-8	-9	-5	-6	-45	-6,42	Medio
Fauna: Diversidad de especies locales	-5	-8	-	-5	-9	2	-5	-34	-4,85	Medio
Fauna: Abundancia de especies locales	-5	-8		-7	-8	2	-5	-35	-5	Medio
Social: Calidad de vida de la población	-7	-8	6	-9	-9	-8	-9	-56	-8	Alto
Paisaje: Cambios en el paisaje y el ecosistema.	-8	-8	3	-9	-9	-7	-8	-52	-7,42	Alto
Social: Afectación de Viviendas	-3	-5	6	-9	-3	-2	-2	-30	-4,28	Medio
Otros										

Fuente: Panel de Expertos

Magnitud
1 Muy bajo impacto; 2-3 Bajo impacto; 4-6 Moderado; 7-8 Alto impacto; 9 muy alto impacto

Impactos ambientales en el agua: Los expertos consultados valoraron el factor ambiental “agua” como impacto positivo, en cuanto a cambios en el ciclo hidrológico de ríos y

quebradas. La magnitud del impacto es “moderado” lo que significa que es un impacto mitigable.

Impactos ambientales en el suelo: Los impactos sobre este factor obtuvieron evaluaciones negativas con una magnitud tipo “moderada”. El suelo es de los más afectados por los incendios y considerando los resultados de la espacialización generada con teledetección, el panel de expertos coincidió en que será necesario un fuerte trabajo para la mitigación de los impactos generados en este factor.

Impactos ambientales en la flora: Los impactos ambientales más significativos valorados por cada uno de los expertos sucedieron principalmente sobre la Flora, afectando negativamente la vegetación. El promedio negativo más bajo es de -5,71 el cual es de magnitud “moderado” y el más alto es de -7 siendo un impacto de magnitud “alto impacto”. Los resultados sobre este factor son mitigables, pero que a largo plazo se necesitarán medidas enfocadas en la restauración de las zonas afectadas.

Impactos ambientales en la fauna: Este impacto obtuvo una valoración de magnitud “moderada” por lo que las afectaciones son mitigables.

Impactos ambientales en el paisaje: El Paisaje obtuvo un promedio negativo de -7,42 con una magnitud de “alto impacto”. Esto indica cambios negativos sobre el paisaje y los ecosistemas, pero que con las medidas de mitigación adecuadas se puede revertir.

Respecto al medio social: Este factor fue el más afectado negativamente con un promedio de -8 y una magnitud de “alto impacto”. La calidad de vida de la población se vio muy afectada después del incendio.

5.3 Cartografía Temática y de Síntesis para la Gestión Territorial-Ambiental Como de Base para Futuros Proyectos y Recomendaciones en la Restauración.

Se obtuvo la cartografía mediante un SIG, según la clasificación obtenida mediante teledetección y se realizó una superposición de capas para delimitar los tipos de uso de suelo actual (2020) y el uso de suelo anterior al incendio (2016). Generándose un mapa temático y la estadística para las superficies de cada clase o uso de suelo (ver figura 12). El análisis de los usos de suelo para las dos temporadas (2016-2020) y sus estadísticas se muestran el cuadro 13 y la figura 11.

Cuadro 13. Clases de usos de suelo Rastrojos 2016 y 2020.

Clases	Nombre Uso	Área (ha)	
		2016	2020
1	Bosque Nativo+Primario	182.91	329.35
2	Plantaciones	223.84	159.6
3	Plantación Joven	405.88	269.68
4	Matorrales	570.42	506.06
5	Rotación Cultivo-Pradera	164.46	106.69
6	Cultivos-Terrenos Agrícolas	129.17	208.89
7	Área Urbana	79.67	51.65
8	Suelo Desnudo	49.16	20.19
9	Suelo Erosionado- Cárcavas	28.67	192.22

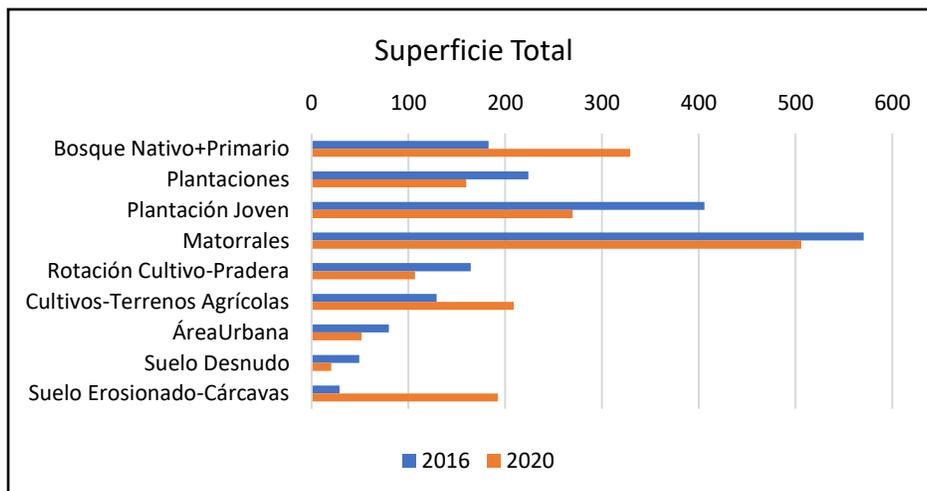


Figura 11. Gráfico comparativo usos de suelo 2016 y 2020 Rastrojos.

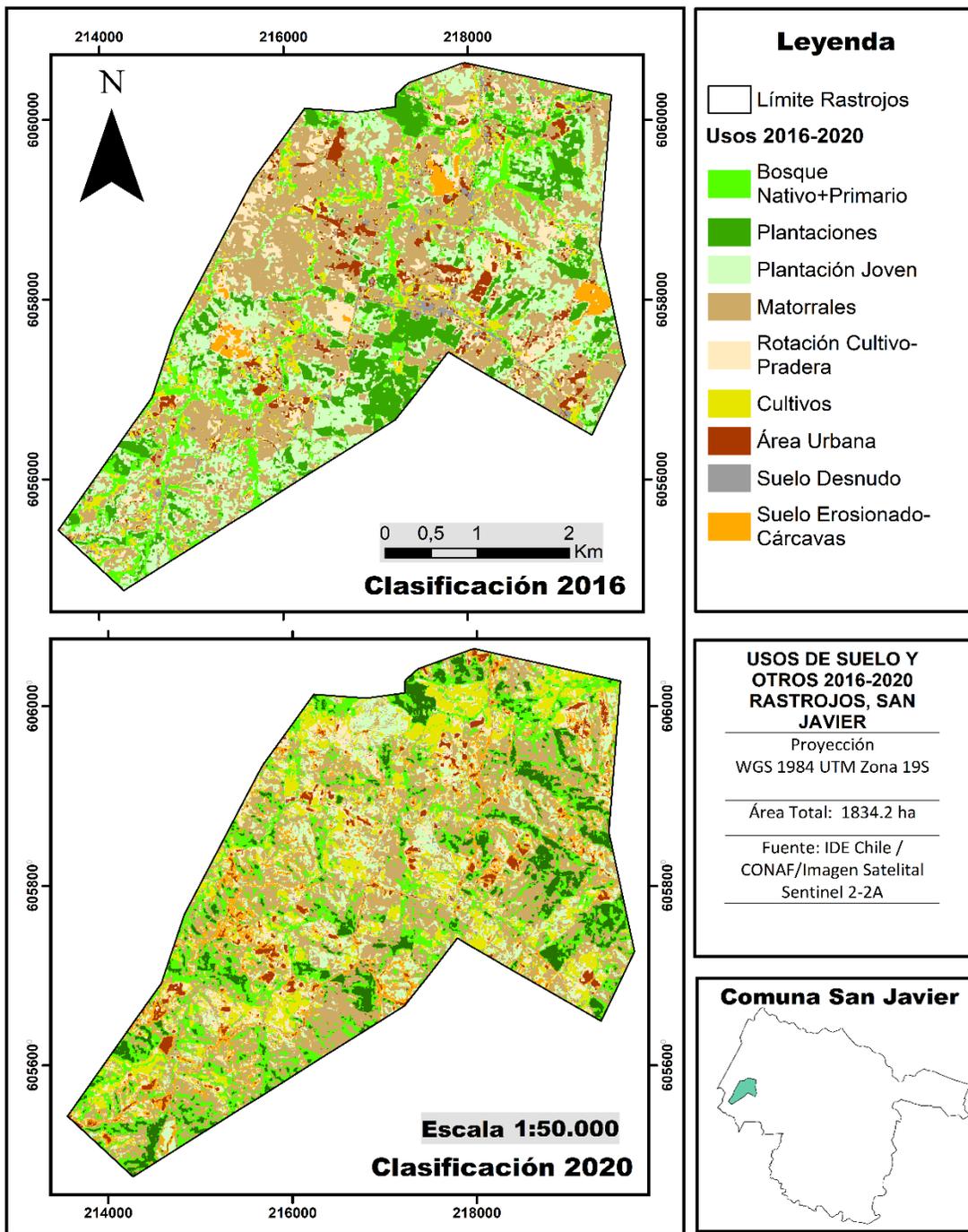


Figura 12. Usos de Suelo 2016-2020.

5.3.2 Delimitación de UGA's y asignación de políticas ambientales.

En el anexo 6 se describen todos los mapas generados (criterios ambientales-territoriales) que fueron necesarios para la creación de propuesta de Unidades de Gestión Ambiental para la Localidad de Rastrojos. A partir del análisis de los mapas anteriores y la superposición de toda la información necesaria para la gestión ambiental territorial se generaron las unidades de gestión ambiental (UGAs) para la localidad de Rastrojos, las cuales se muestran en la figura 13 y el cuadro 14.

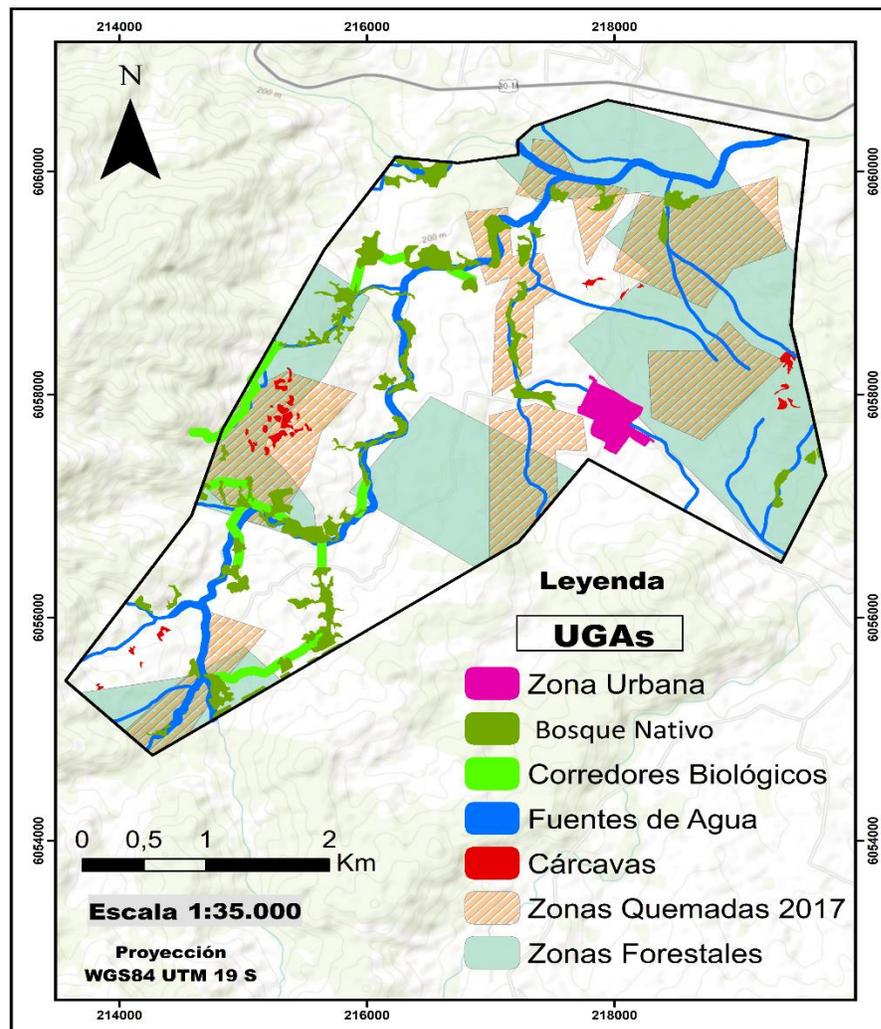


Figura 13. UGA's Localidad de Rastrojos.

Fuente: Elaboración propia a partir de información de diagnóstico, criterios ambientales, espaciales y territoriales.

Cuadro 14. Unidades de Gestión Ambiental.

UGA	Superficie (ha)	Descripción
Zonas afectadas por incendios	468,15	Estas zonas corresponden a las afectadas por el incendio del año 2017, cuyas condiciones actuales necesitan de acciones enfocadas a la restauración.
Zonas de Cárcavas	0,5	Zonas que corresponden a las zonas con impactos ambientales sobre el suelo en forma de “cárcavas”, ocasionados por la sobreexplotación de los mismos.
Remanentes Bosque Nativo	108,27	Restos de bosque nativo en condiciones “mínimas” que han quedado después del impacto ocasionado por el incendio del 2017.
Corredores Biológicos	42,17	Zonas con fragmentos de hábitat de interés para ser conectados por medio de “corredores biológicos” en toda el área de la localidad de Rastrojos.
Zona Urbana	20,49	Pertenece a la zona centro y rural de la localidad donde se desarrolla la vida económica y social.
Zonas forestales	853,54	Zonas de plantaciones forestales principalmente de <i>Pinus radiata</i> y <i>Eucalyptus globulus</i> .
Fuentes de Agua	134,62	Unidad de gestión ambiental para el área del río Purapel y todas las fuentes de agua de la localidad, así como área de influencia.

Una vez delimitadas las unidades de gestión ambiental se definieron las políticas ambientales para cada UGA, a partir de los principios de las políticas ambientales para un desarrollo sostenible para lograr un desarrollo territorial, ambiental y ecológico:

- **Política de aprovechamiento sustentable**

Utilizar los recursos naturales en forma que se respete la integridad funcional y las capacidades de carga de los ecosistemas de los que forman parte dichos recursos, por periodos indefinidos. Esta política se asigna a aquellas áreas que por sus características son apropiadas para el uso y el manejo de los recursos naturales, en forma sustentable.

- **Política de Protección**

Mejorar el ambiente y controlar su deterioro. Tiene como objetivo mantener la continuidad de las estructuras, los procesos y los servicios ambientales. Se necesita orientar la actividad productiva con un aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, garantizando la continuidad de los ecosistemas y reduciendo o anulando la presión sobre de ellos. Se fomenta en ciertas áreas la actividad forestal para la extracción de productos maderables y no maderables.

- **Política de Restauración**

Recuperar y restablecer las condiciones que propician la evolución y continuidad de los procesos naturales. Es una política transitoria dirigida a zonas que, por la presión de diversas actividades antropogénicas, han sufrido una degradación en la estructura o función de los ecosistemas y en las cuales es necesaria la realización de un conjunto de actividades para la recuperación y restablecimiento de las condiciones que propician la evolución y continuidad de los procesos naturales. De esta manera, una vez lograda la restauración será posible asignar otra política, de protección o de preservación.

- **Política de Conservación**

Conservar aquellas áreas o elementos naturales cuyos usos actuales o propuestos no interfieren con su función ecológica relevante y donde el nivel de degradación ambiental no ha alcanzado niveles significativos. Tiene como objetivo mantener la continuidad de las estructuras, los procesos y los servicios ambientales, relacionados con la protección de elementos ecológicos y de usos productivos estratégicos

En el cuadro 15 se presenta el listado de Unidades de Gestión Ambiental definidas para la localidad de Rastrojos, la política a aplicar a cada una y su justificación:

Cuadro 15. Denominación de UGA y Asignación de Políticas Ambientales.

UGA	Nombre	Política	Justificación
1	Zonas afectadas por incendios	Restauración	Impacto ambiental alto en el suelo, agua y pérdida de vegetación.
2	Zonas de Cárcavas	Restauración	Procesos de erosión de suelo con impacto ambiental alto en varias zonas de la localidad.
3	Remanentes Bosque Nativo	Conservación	Uso de suelo con vegetación nativa, fauna silvestre vulnerable y con superficie importante.
4	Corredores Biológicos	Protección	Superficie de territorio importante para la conectividad de remanentes de bosque nativo. Posee elementos bióticos importantes como especies de bosque nativo y fauna en estatus de conservación.
5	Zona Urbana	Aprovechamiento	Zonas con una superficie grande con actividades productivas.
6	Zonas forestales	Aprovechamiento	Gran superficie del territorio con actividades productivas forestales
7	Fuentes de Agua	Protección	Importantes fuentes de agua con impacto ambiental medio-alto, las cuales poseen aptitud para la conservación pero que deben aplicarse medidas de protección.

En la figura 14 se presenta una cartografía de síntesis para el ordenamiento de unidades ambientales y de paisaje, en función de la política ambiental asignada.

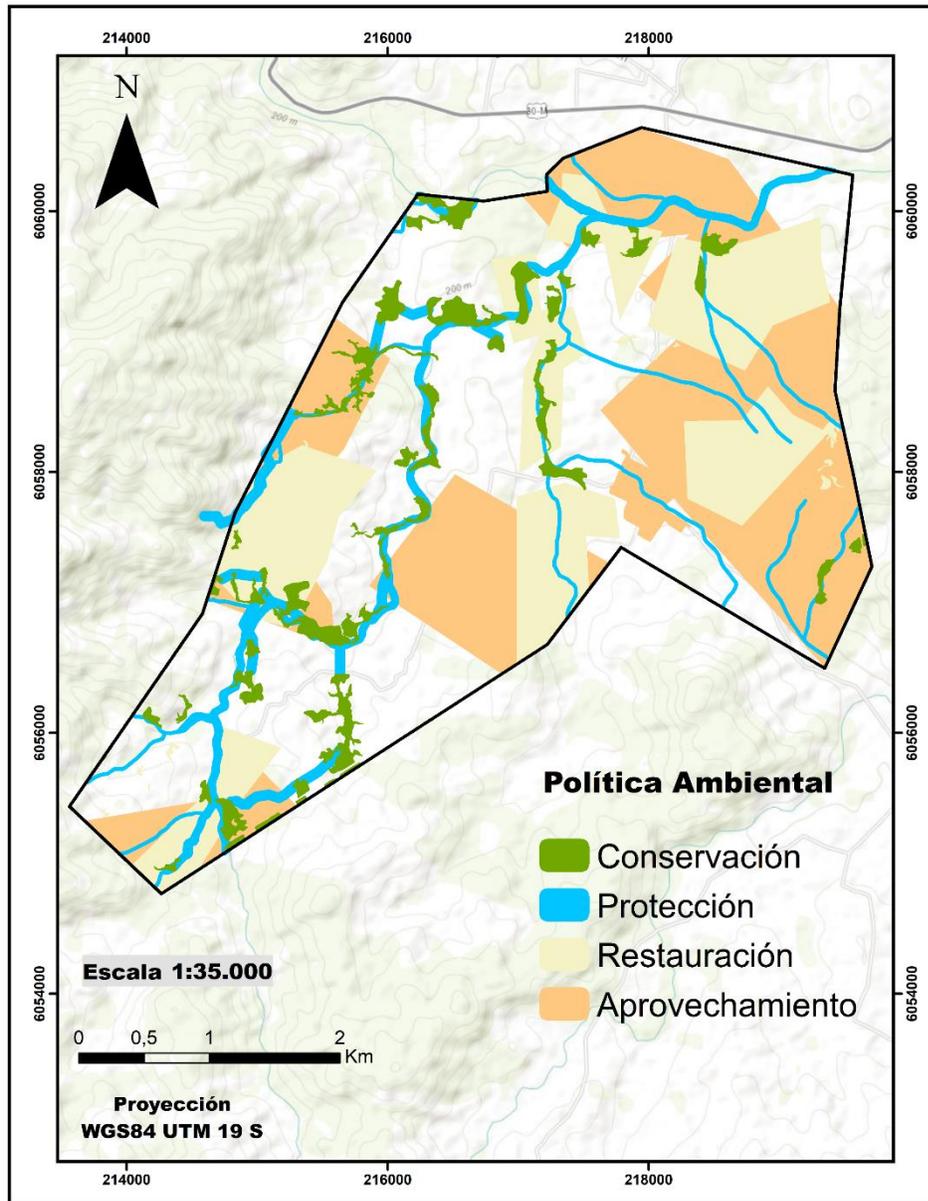


Figura 14. Ordenamiento Territorial - ambiental mediante políticas ambientales.

Fuente: Elaboración propia a partir de información de Unidades de Gestión Ambiental.

5.4 Propuesta de Estructura de Plan para el Desarrollo Ecológico de las Unidades de Gestión Ambiental como Base de las Políticas para la Restauración

El lineamiento ecológico se define como la meta o enunciado general que refleja el estado deseable de una UGA, en este sentido a diferencia de las políticas ambientales y sectoriales el lineamiento ecológico permite la definición o identificación específica del objeto de la política (Verges, 2020).

Partiendo de los estudios de identificación y evaluación de impactos ambientales ocasionados por el incendio forestal del año 2017, los estudios de severidad y recuperación de la vegetación, la caracterización del territorio y considerando las políticas ambientales que se pretenden aplicar en las unidades de gestión ambiental seleccionadas se desarrolló una estructura de plan que pueda aportar a futuros proyectos que se implementen en la localidad. La estructura del plan considera los lineamientos (acciones) a seguir en cuanto al uso compatible de cada UGA en el territorio, ya sea que se pretenda incluir, limitar o asignar estrategias de acuerdo a las aptitudes (territoriales-ambientales) con que se cuenta actualmente, lo cual contribuya en la mitigación de los principales impactos ambientales y ecológicos en un territorio afectado por incendios forestales.

A continuación, en el cuadro 16 se presentan los lineamientos y usos compatibles definidos para cada una de las 8 UGA's en la Localidad de Rastrojos:

Cuadro 16. Lineamientos y usos compatibles definidos para cada una de las UGA.

No. UGA	NOMBRE	POLÍTICA/ USO COMPATIBLE	LINEAMIENTOS ECOLÓGICOS, AMBIENTALES-TERRITORIALES
1	Zonas afectadas por incendios	Restauración/ Conservación Protección	<p>-Aplicar el Plan Comunitario DEPRIF, mediante el Consejo Comunitario, el cual implementará medidas a corto, mediano y largo plazo, asumiendo la importancia de las actuaciones de emergencia y la valoración inicial de los daños ocasionados por el incendio del año 2017 y los que vengán en los subsiguientes años, dando una respuesta inmediata en la restauración de las áreas afectadas.</p> <p>-Cautelares: Implementar medidas para evitar daños inmediatos a la población, infraestructuras como consecuencia de la desprotección del suelo.</p> <p>-Reconstructivas: Reforzar las estrategias ya implementadas por proyectos en el área, priorizando la regeneración natural, redefiniendo objetivos para la actuación en zonas con vegetación en recuperación natural.</p>
2	Zonas de Cárcavas	Restauración/ Protección Aprovechamiento	<p>-Favorecer la restauración de los suelos en cárcavas con mayor nivel de afectación, tomando en cuenta la conservación de la vegetación nativa y la existente en las áreas de cárcavas.</p> <p>-Implementar un plan para el establecimiento de barreras biofísicas de control de cárcavas, con el fin de promover la sedimentación y crecimiento de vegetación.</p> <p>-Tomar en cuenta el diseño de obras de desviación de caudales entre las cárcavas según el esquema de Bravo-Espinosa et al. (2007) para la estabilización de taludes y reducir la erosión principalmente en las cárcavas cercanas a caminos principales y viviendas: Retención de azolves utilizando cercos vivos con vegetación de la zona o muros de gavión de roca (Bravo-Espinosa et al., 2007).</p>
3	Remanentes Bosque Nativo	Conservación/ Restauración Protección	<p>-Fomentar, promover y aplicar en la localidad de Rastrojos la Ley N° 20.283, sobre Recuperación del Bosque Nativo y Fomento Forestal.</p>

			-Diseñar una campaña de sensibilización ambiental para la conservación del pequeño porcentaje de bosque nativo que aún queda en la localidad. Esta campaña debe incluir a toda la población, principalmente a la escuela, a la junta de vecinos, el CESAFA, y otras agrupaciones existentes.
4	Corredores Biológicos	Protección / Conservación Restauración	-Desarrollar un plan para la implementación de la propuesta de conectividad de todos los fragmentos de hábitat mediante corredores biológicos identificados en la localidad por Villalobos (2019). -Promover la planificación y ejecución de campañas de forestación de especies nativas en las zonas de remanentes. -Planificar junto con los dueños de plantaciones forestales actuaciones de conectividad de los corredores biológicos identificados. -Ejecutar acciones para prevenir la aparición de flora exótica invasora.
5	Zona Urbana	Aprovechamiento/ Protección	-Favorecer el aprovechamiento agrícola y pecuario sustentable en las áreas de matorral que se encuentran en terrenos con poca pendiente, pero evitando que se dé el cambio de usos de suelo forestal en grandes superficies. Así mismo impulsar proyectos y actividades de turismo de naturaleza.
6	Zonas forestales	Aprovechamiento/ Conservación Restauración Protección	-Buscar el diseño e implementación de una Guía de Buenas Prácticas Ambientales para trabajos forestales en la localidad, de manera que el aprovechamiento se realice de manera sustentable. Se proponen que la gestión ambiental se realice con las siguientes prácticas: - Buenas prácticas para evitar la erosión. - Buenas prácticas para la protección cursos de agua. - Buenas prácticas para la protección de flora y fauna. - Buenas prácticas para la reducción del impacto visual. - Buenas prácticas en la prevención de incendios forestales. - Buenas prácticas para el tratamiento de plagas y enfermedades. - Buenas prácticas para la correcta gestión de residuos.
7	Fuentes de Agua	Protección/ Restauración Protección	-Diseñar un plan para protección de los cursos de agua de la localidad (ríos, quebradas permanentes y de invierno). -Proponer medidas de manejo para las zonas de protección, las cuales deben incluir la revegetación de las

			<p>áreas con especies nativas, así como el mantener la vegetación existente en los márgenes de los cursos de agua.</p> <p>-Promover la aplicación de buenas prácticas ambientales en las faenas forestales en la localidad.</p>
--	--	--	---

VI. CONCLUSIONES

La propuesta de este trabajo consistió en el análisis del impacto ambiental, y cuantificación del territorio afectado por el fuego en la Localidad de Rastrojos, Comuna de San Javier, durante un periodo de 4 años, antes y después del evento ocurrido en el año 2017. En ese marco se analizaron las relaciones espacio temporales entre la severidad del fuego, las dinámicas de la vegetación pre-fuego y el crecimiento de este post-fuego. Partiendo de la base de datos obtenidos se ha logrado realizar una propuesta de gestión territorial-ambiental mediante la identificación de unidades de gestión ambiental y una posible distribución en el territorio que sirva de base para la ordenación territorial de la localidad.

El uso del dNBR en las imágenes Sentinel para la confección de cartografía temática de la severidad del incendio, arrojaron resultados aproximados de acuerdo a la realidad de lo ocurrido en el evento y en el tipo de suelo o ecosistema, lo cual se pudo comprobar en las visitas de campo. El patrón de áreas quemadas medias-graves mostraron una tendencia dominante de afectación sobre usos de suelo tipo “plantaciones forestales” y “praderas matorrales”. Para la restauración de los usos de suelos con mayor afectación, será necesario tomar en cuenta las dimensiones sociales del uso del territorio, las que podrán ser determinantes para alcanzar objetivos de proyectos futuros, ya que de no tener en cuenta las dimensiones espaciales, territoriales-humanas y su relación con la restauración, es probable que no se alcancen los objetivos ecológicos y ambientales.

En el territorio estudiado en la Localidad de Rastrojos se observaron significativos incrementos en el NDVI en el último año (cuarto año después), por lo que esta tendencia refleja que el crecimiento podría ir bien, pero que será necesario indagar más en las condiciones de los tipos de vegetación dominantes, su relación con los usos de suelo y el clima de la zona.

La extensión espacial de la vegetación previa al fuego se encontraba distribuida entre el Sur-Este y Nor-Oeste del área de estudio, lo que coincidió con las áreas quemadas. Estas zonas quemadas con gravedad media-grave correspondían principalmente a plantaciones forestales. En el análisis se pudo observar que la recuperación de la vegetación en gran parte fue en estas áreas, ya que, al ser una actividad de aprovechamiento, estas fueron resembradas y en otras zonas el crecimiento del pino es bastante rápido. En cuanto a las zonas con áreas quemadas “gravedad baja” en su mayoría pertenece a matorrales, por lo que la recuperación ha sido espacialmente heterogénea con vegetación “medianamente sana”.

La evaluación y percepción de impactos ambientales en zonas afectadas por incendios forestales mediante la metodología de Panel de Expertos, fue una experiencia que contribuyó en la ampliación de la información recabada mediante sensores remotos. Los expertos al ser un equipo multidisciplinario con conocimiento amplio de las dinámicas ambientales, ecológicas y territoriales de la zona de estudio, contribuyeron en la generación de una matriz concluyente sobre los principales impactos del incendio en la localidad de Rastrojos. El impacto en el suelo, el paisaje y en la sociedad obtuvieron un impacto alto, afectando de forma negativa el ecosistema de la localidad, según el criterio de los evaluadores. Será necesario la mejora de la metodología para futuras experiencias de forma que se incluyan más variables como la topografía, la evapotranspiración, la climatología, valores de radiación, humedad del suelo, tipos de combustible, entre otros.

En la propuesta de zonificación del territorio de estudio mediante las unidades de gestión ambiental (UGAs), la variable uso de suelo (capa base de la propuesta) es una de las más importantes a tomar en cuenta para la aplicación de un ordenamiento más estructurado mediante la prospección territorial y la planificación ambiental, donde se acomoden los intereses para la conservación, la protección, el aprovechamiento y la restauración. Considerando que los usos de suelo van cambiando cada año de acuerdo a las actividades y sus impactos ambientales, será necesario definir escenarios territoriales y los

desequilibrios en el paisaje, que se antepongan a los posibles eventos antrópicos como los incendios forestales.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, M. B. 2019. *Ecología Verde*. Obtenido de Ecología Verde: <https://www.ecologiaverde.com/que-es-la-gestion-ambiental-2035.html>
- Acuña, M. P., y Hernández, H. J. (2018). *Clasificación de Incendios Forestales Históricos en la Región del Maule*. Talca: PROYECTO PYT-2017-0733.
- Barrantes, G., y Di Mare, M. (2002). *Metodología para la evaluación económica de daños ambientales en Costa Rica*. Heredia, Costa Rica: Instituto de Políticas para la Sostenibilidad (IPS).
- Bayas, J. C. 2001. *Bases para la evaluación de impacto de los incendios forestales: Caso Cooperativa Guadalupe Ltda., Yuscarán, Honduras, C.A.* Valle de El Zamorano, Honduras: Zamorano, Carrera de Desarrollo Socioeconómico y Ambiente.
- CONAF, C. N. 2013. *Guía para trabajar con habitantes de áreas rurales y de la interfase forestal urbana*. Santiago. Retrieved from https://www.conaf.cl/wp-content/files_mf/1397679469TrabajoconHabitantes2013.pdf
- CONAF, C. N. 2017. *Análisis de la Afectación y Severidad de los Incendios Forestales ocurridos en enero y febrero de 2017 sobre los usos de suelo y los ecosistemas naturales presentes entre las regiones de Coquimbo y Los Ríos de Chile*. Técnico, Santiago, Chile.
- CONAF, C. N. 2019. *Informe de Riesgo de Ocurrencia de Incendios Forestales en Comuna de Talca*. Talca. Obtenido de https://www.conaf.cl/wp-content/files_mf/1510588722PPCIFTalca.pdf
- CONAF, D. d. 2019. *Plan comunitario de prevención de incendios forestales comunidad Rastrojos*. San Javier, Linares.
- DEPRIF, D. d. 2019. *Plan Comunitario de Prevención de Incendios Forestales Comunidad Rastrojos*. Linares, Chile.
- De Santis, A., y Chuvieco, E. 2009. *A modified version of the Composite Burn Index for the initial assessment of the short-term burn severity from remotely sensed data*. *Remote Sensing of Environment*, 113.
- Di Castri, F., y Hajek, E. 1976. *Bioclimatología de Chile*. Universidad Católica de Chile.
- Díaz-Delgado, R., Lloret, F., Pons, X., & Terradas, J. 2002. *Satellite evidence of decreasing resilience in Mediterranean plant communities after recurrent*. *Ecology*(83(8)), 2293e2303.

- Durán de la Fuente, H. 2005. *Políticas Ambientales y el Desarrollo Sustentable*. Mexico D.F.: CEPAL. Recuperado el 09 de Febrero de 2021, de http://fcaenlinea.unam.mx/anexos/1345/1345_u6_C.pdf
- Fernández, C., Vega J., A., Fonturbel, M., Jiménez, E., & Pérez-Gorostiaga, P. 2008. Wildfire, salvage logging and slash manipulation effects on *Pinus pinaster* Ait. recruitment in Orense (N.W. of Spain). *For. Ecol. Manage*, 255.
- Fernández, I., Morales, N., Olivares, L., Salvatierra, J., Gómez, M., & Montenegro, G. 2010. *Restauración ecológica para ecosistemas nativos afectados por incendios forestales*. Santiago de Chile: Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal, Pontificia Universidad Católica.
- Gajardo, R. 1993. La Vegetación Natural de Chile. Clasificación y Distribución Geográfica. *Editorial Universitaria*, 165.
- Gandhi, M.G., Parthiban S., Thummalu-Christy N. 2015. NDVI: *Vegetation change detection using remote sensing and gis – A case study of Vellore District*. *Procedia Computer Science* 57: 1199-1210. Consultado 6 Jul. 2020. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.07.415>
- Garrido, P. 2020. *Fauna Vertebrada en “Quebradas del Sector de Rastrojo”*. Linares, Región del Maule: PYT-2017-0733.
- INSECAMI, I. e. 2017. *Modelo de ordenamiento ecológico, criterios de regulación ecológica y estrategias ecológicas*. Torreón: Dirección General de Medio Ambiente.
- IPS, I. d. 2004. *Evaluación Económica del Daño Ambiental ocasionado por la contaminación de los Sectores Canal Batán, Barra del Pacuare, Lagunas Madre De Dios y Santa Marta, ocurrido en enero del 2003*. Tribunal Ambiental Administrativo por el Comité de Peritos. Obtenido de <http://www.ucipfg.com/Repositorio/MAES/PED/Semana5/ValoracionambientalCasoPacuareTalamanca.pdf>
- Key, C.H., N. Benson. 2005. FIREMON: *Fire Effects Monitoring and Inventory System. Landscape Assessment: Ground measure of severity, the Composite Burn Index; and Remote sensing of severity, the Normalized Burn Ratio*. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Ogden, UT. 55 p. Consultado 6 Jun. 2020. Disponible en <https://www.researchgate.net/publication/241687027>
- Lasaponara, R., A. M. Proto, A. Aromando, G. Cardettini, V. Varela, M. Danese. 2020. *On the mapping of burned areas and burn severity using self-organizing map and sentinel-2 data*. *Geoscience and Remote Sensing Letters* 17(5): 854-858. Consultado 5 Jul. 2020. Disponible en <https://ieeexplore.ieee.org/document/8937715>

- Liu, S., e Y, Z. 2020. *A novel fire index-based burned area change detection approach using Landsat-8 OLI data*. European Journal Of Remote Sensing. Recuperado el 12 de Octubre de 2020, de <https://doi.org/10.1080/22797254.2020.1738900>
- Luefert, F., y Pliscoff, P. 2006. Sinopsis bioclimática y vegetacional de Chile. *Editorial Universitaria*, 296.
- Martínez-Graña, A., Goy, J., Santos Francés, F., Martín Sánchez, I., Cabrera, P., I., . . . Sánchez Agudo., J. 2012. *Los SIG y la Cartografía Ambiental: Evaluación Estratégica y de Impacto Ambiental*. Salamanca, España: Departamento de Geología, Facultad de Ciencias, Universidad de Salamanca, 37008-Salamanca.
- Meza, A. 2018. *Cuaderno de identificación de flora local*. Comuna San Javier, Chile: Ograma Impresores.
- Miller, J., y Thode, A. 2007. *Quantifying burn severity in a heterogeneous landscape with a relative version of the delta Normalized Burn Ratio (dNBR)*. Remote Sensing of Environmental. Recuperado el 14 de Septiembre de 2020, de en <https://doi.org/10.1016/j.rse.2006.12.006>
- Moura, Dos Santos S.B., A.B. Gonçalves, W.F. Rocha, G. Baptista. 2020. *Assessment of Burned Forest Area Severity and Postfire Regrowth in Chapada Diamantina National Park (Bahia, Brazil) Using dNBR and RdNBR Spectral Indices*. Geosciences 10 (3): 106. Consultado 7 Jul. 2020. Disponible en <https://doi.org/10.3390/geosciences10030106>
- Olivo, A.A.C. 2017. *Clasificación de la vegetación del karst de Sierra de las Nieves utilizando imágenes Landsat*. Tesis Master Ingeniería Geológica. Madrid, España. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas y Energía. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID. Consultado 18 Jul. 2020. Disponible en http://oa.upm.es/48286/1/TFM_Angelica_Antonia_Olivo_Candelario.pdf
- PLADECO. 2018. *Plan de Desarrollo Comunal San Javier*. San Javier, Región del Maule, Chile. Recuperado el 08 de Octubre de 2020, de <https://drive.google.com/file/d/1hReE274NfmjQLER4-ffdYoCfwD5ceNsE/view>
- Roy, D.P., L. Boschetti, S.N. Trigg. 2006. *Remote Sensing of Fire Severity: Assessing the Performance of the Normalized Burn Ratio*. Geoscience and Remote Sensing Letters 3(1): 112-116. Consultado 7 Jun. 2020. Disponible en <https://doi.org/10.1109/LGRS.2005.858485>
- SICA, S. d. 2000. *Curso subregional de principios de la evaluación de impacto ambiental*. Tegucigalpa, Honduras.

- Tessler N., W. L., y Greenbaum, N. 2016. *Vegetation cover and species richness after recurrent forest fires in the Eastern Mediterranean ecosystem of Mount Carmel, Israel*. Science of The Total Environment.
- Ulibarry, P. G. 2017. *Impacto de los incendios forestales en suelo, agua, vegetación y fauna*. Santiago de Chile: Biblioteca de Congreso Nacional de Chile.
- Verges, F. R. 2020. *Unidad de Gestión Ambiental*. Instituto Nacional de Ecología, Yucatán. Recuperado el 20 de Noviembre de 2020, de <http://bitacoraordenamiento.yucatan.gob.mx/bitacora/index.php>
- Villalobos, B. M. 2019. *Factibilidad de conexión de fragmentos de interés de conservación a través de corredores biológicos en un área rural de Chile central*. Proyecto de título presentado como parte de los requisitos para optar al título de Ingeniero Forestal, Pontificia Universidad Católica de Chile, Departamento de Ecosistemas y Medio Ambiente, Santiago de Chile.
- Zarza, N. 2019. *Política Ambiental: qué es y ejemplos*. *Ecología Verde*, 9. Recuperado el 09 de Febrero de 2021, de <https://www.ecologiaverde.com/politica-ambiental-que-es-y-ejemplos-42.html>

ANEXOS

Anexo 1: Verificación de datos en campo de severidad del incendio (dNBR)

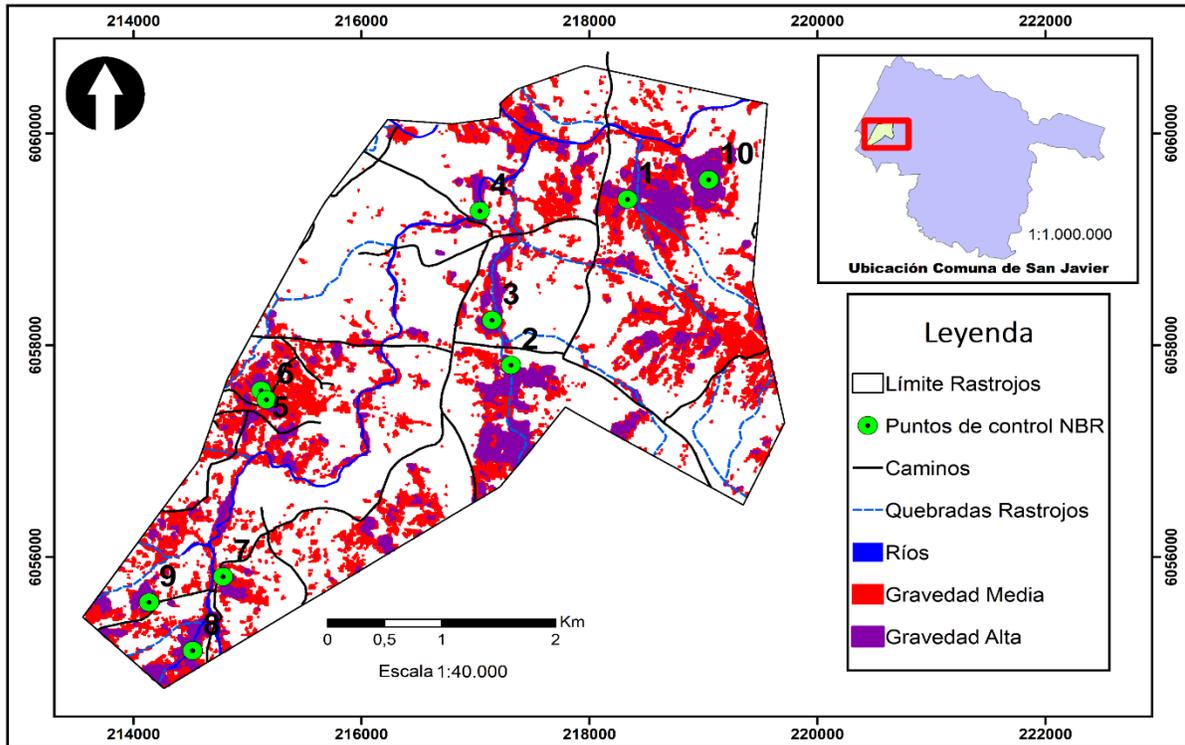


Figura 15. Puntos de control dNBR.

Cuadro 17. Ilustraciones estado actual dNBR 2020.

dNBR	Estado actual año 2020	
<p>Punto de Control: 1 (izq.) 10 (der.)</p>		
<p>Observaciones</p>	<p>Restos de ramas quemadas se encontraron por el suelo aun sin desintegrarse del todo.</p>	<p>Los árboles de tamaño considerablemente grande fueron afectados por el fuego casi en su totalidad.</p>
<p>Punto de Control: 5 (izq.) 6 (der.)</p>		
<p>Observaciones</p>	<p>En esta zona se puede observar el impacto directo del incendio sobre el suelo, donde la erosión ha ido en aumento (según estudio de (Garrido, 2020).</p>	<p>Aumento de la erosión o cárcavas, así como también se observan los restos de árboles quemados.</p>
<p>Punto de Control: 2 (izq.) 8 (der.)</p>		
<p>Observaciones</p>	<p>Zona con dNBR medio-alto: se puede observar los restos de materia quemada en toda la zona.</p>	<p>Troncos de árboles y materia en forma de ceniza o pequeñas ramas quemadas sobre el suelo.</p>

Anexo 2: Verificación de datos en campo para el índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)

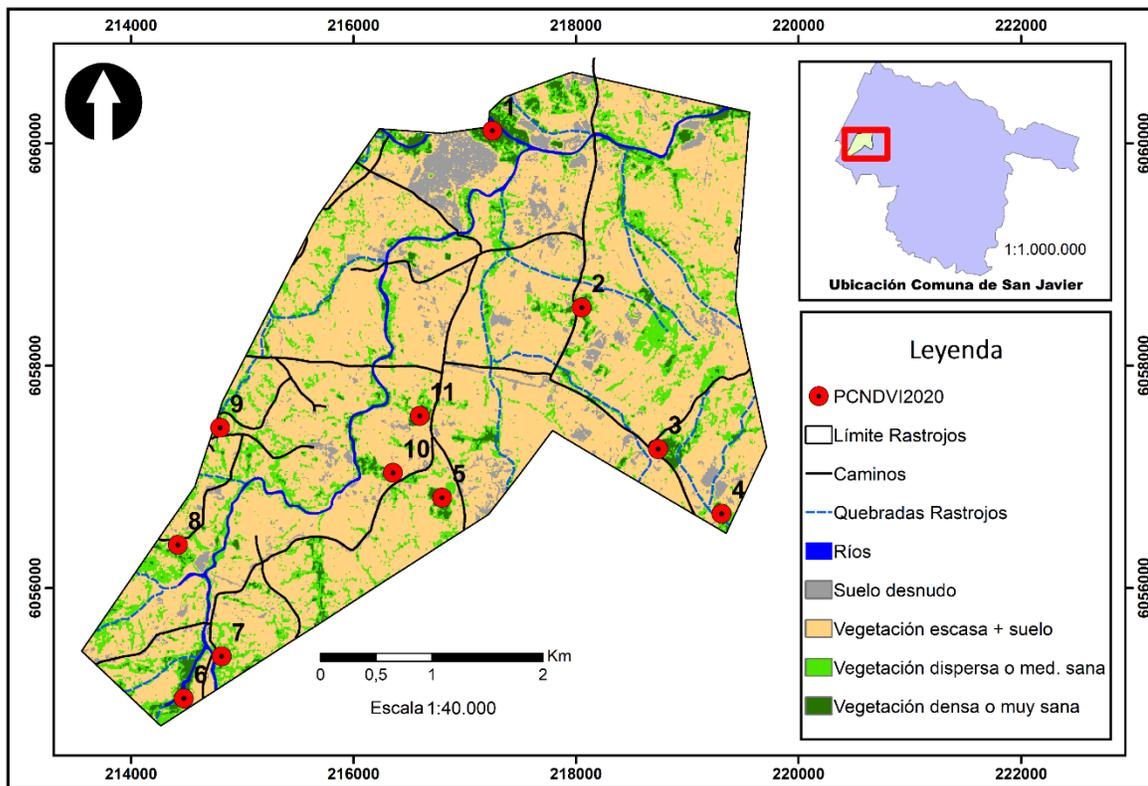


Figura 16. Puntos de control para NDVI.

Cuadro 18. Ilustraciones estado actual NDVI 2020.

dNBR	Estado actual año 2020	
Punto de Control: 1 (izq.) 2 (der.)		
Observaciones	En las imágenes anteriores se puede observar vegetación, que según el NDVI del año 2020 es de categoría vegetación densa o muy sana. En este caso es su mayoría es un tipo “plantación” según la clasificación de bosque nativo de CONAF.	
Punto de Control: 8 (izq.) 8 (der.)		
Observaciones	NDVI con una clasificación de vegetación muy densa o sana se observa en esta imagen, lo cual coincidió con el resultado. En su mayoría fue una plantación de eucalipto.	En esta imagen se puede observar una fuente de agua en medio de una vegetación media sana según el resultado de NDVI.
Punto de Control: 6 (izq.) 7 (der.)		
Observaciones	En las imágenes se observa un remanente de bosque nativo, el cual según el resultado de NDVI 2020 es una clasificación “dispersa o mediana sana”. En su mayoría el remanente se conserva bastante bien, cruzando una quebrada de invierno por su área.	

Anexo 3: Información sobre Panel de Expertos

Cuadro 19. Información Base Panel de Expertos.

Nombre	ID	Estudios	Grado Académico	Cargo Actual	Experiencia
Bárbara Arias Retamales	17.679.576-k	Superior	Biólogo con mención en recursos naturales y medio ambiente	Profesional de apoyo proyecto de restauración ecológica a escala de paisaje. Corporación Nacional Forestal	Asesor técnico en áreas relacionadas a la restauración ecológica: Reforestación con especies nativas, interacción fauna-flora, concientización e involucramiento de la comunidad, etc. Actividades de prevención de incendios forestales, vinculadas a la difusión de información y concientización
Andrés Meza A	8.164.397-0	Superior	Doctor en Ciencias Forestales	Coordinador Área de Restauración en la Corporación Nacional Forestal, Académico PUC	Conservación y manejo sustentable de bosques; Evaluación de Impacto ambiental; Manejo de áreas protegidas; Restauración ecológica
Pablo Becerra Osses	8453022-0	Superior	Doctor en Ciencias	Académico PUC	Variada investigación en recuperación y restauración post-incendio en Chile central
José Daniel Ugarte Cisternas	11.826.714-1	Superior	Ingeniero Forestal	Fiscalizador CONAF Linares	Fiscalizador y analista de planes de manejo de bosque nativo y plantaciones. Evaluador de las medidas de protección a los recursos ambientales y medidas de prevención contra los incendios forestales.

Eduardo Jara Vera	12296941-K	Superior	Ingeniero Forestal	Jefe Provincial CONAF Linares	20 años trabajando en CONAF en fomento y protección de recursos forestales. Apoyo a actividades de incendios en cuanto a prevención y combate.
Jorge Hernán Aliste Ávila	13.304.536-8	Superior	Magíster Gestión Ambiental	Extensionista Forestal (Asesor)	Asesoría y asistencia técnica a propietarios forestales, confección estudios técnicos, asesoría en pautas de protección contra incendios forestales. Asistencia en proyectos y programas de CONAF y otras instituciones (FIA, municipalidad), apoyo a CONAF en la comuna de San Javier (Rastrojos, Nirivilo, Codellima) en planes de desarrollo local, asistencia a propietarios en toda la región del Maule.
Jerry Martín Wolff Levy		Superior	Ingeniero Forestal	Encargado Departamento Fomento Forestal (I) Provincia de Linares	30 años de experiencia en asistencias técnicas y fomento en el área del secano interior de la Provincia. Protección de los recursos humanos y forestales hasta la actualidad, para la prevención de incendios forestales.

Anexo 4: Formato Encuesta Panel de Expertos

Evaluación y percepción de Impactos ambientales Post-Incendio forestal 2017, en la localidad de Rastrojos

A continuación, se presenta la matriz de evaluación de impacto ambiental utilizada en el método “Panel de Expertos” para las zonas afectadas por incendios forestales en la localidad de Rastrojos, comuna de San Javier.

Dicha matriz considera valorar y categorizar los impactos ambientales ocasionados durante el incendio forestal del año 2017. Dentro del formato se encuentra una primera parte sobre la información general del proyecto y los espacios a llenar con información general de cada uno de los expertos.

En la segunda parte se encuentran espacios de intersección, donde se define el impacto ambiental para cada uno de los factores ambientales (variables). En la primera columna se colocará si dicho factor fue afectado por el incendio (si/no); en la segunda columna se colocará un signo positivo (+) sí el impacto provocado por el incendio no afectó al medio o se colocará un signo negativo (-) si el incendio forestal afectó de manera dañina al medio; en la tercera columna se definirá la magnitud del impacto que va 1 a 9, uno (1) el más bajo y nueve (9) el mayor; en la última columna se puede agregar una descripción u observación sobre la evaluación de cada factor. En el cuadro 20 se describe cada valor de las magnitudes:

Cuadro 20. Magnitud de los impactos ambientales.

Magnitud
1 Muy bajo impacto
2-3 Bajo impacto
4-6 Moderado
7-8 Alto impacto
9 muy alto impacto

Cuadro 21. Evaluación de Impacto Ambiental-Panel de Expertos.

I. PANEL DE EXPERTOS
Proyecto de graduación: Propuesta para la gestión ambiental – territorial de zonas afectadas por incendios forestales en la localidad de Rastrojos comuna de San Javier.
Estudiante: Josué Daniel Zúniga Medina
Magíster en Gestión Ambiental Territorial, Facultad de Ciencias Forestales
Universidad de Talca

Descripción de Proyecto: El estudio consiste en analizar los impactos ambientales (severidad del incendio) sobre el suelo y la vegetación, así como la evolución espacio-temporal de la restauración del paisaje post incendios forestales en la Localidad de Rastrojos, Comuna de San Javier. Posteriormente, se elaborará un análisis entre los resultados obtenidos de la evaluación ambiental y el análisis SIG/Teledetección ambiental de la recuperación de la cobertura vegetal, para al final proponer unidades de gestión ambiental que sirva de base para el ordenamiento y restauración del territorio.

Nombre completo:

Identidad (RUT):	Grado Académico:
Título Obtenido:	Ocupación Actual:

Breve descripción de experiencia relativa a protección forestal y gestión de incendios forestales:

II. FACTORES AMBIENTALES, IMPACTOS Y MAGNITUDES				
Factor Ambiental (Variable)	Afectado por incendios (Sí/No)	Impacto Positivo, Nulo o Negativo	Magnitud del impacto (ver escala abajo del cuadro)	Breve descripción del impacto / Observaciones
Agua: Cambios en el ciclo hidrológico de ríos y quebradas				
Agua: Disponibilidad de agua				
Suelo: Nivel de erosión				
Suelo: Modificación de los usos de suelo				
Flora: Afectación de la vegetación				
Flora: Afectación del Bosque Nativo				
Fauna: Diversidad de especies locales				
Fauna: Abundancia de especies locales				
Social: Calidad de vida de la población				

Paisaje: Cambios en el paisaje y el ecosistema				
Social: Afectación de Viviendas				
Otros				

Magnitudes: Calificar de 1 a 9: donde **1** es muy *bajo impacto* hasta **9** que corresponde a muy *alto impacto*.

Anexo 5: Puntos de control para verificación de usos de suelo actual

Cuadro 22. Puntos de control usos de suelo.

PC	Usos de suelo	
	Cord x	Cord y
0	218335	6059379
1	217312	6057813
2	217146	6058236
3	217040	6059270
4	215120	6057573
5	215167	6057487
6	214786	6055817
7	214520	6055117
8	214138	6055573
9	219048	6059563
10	214815	6055387

Usos de suelo	Estado actual año 2020	
Punto de Control: 3 (izq.) 4 (der.)		
Observaciones	En la imagen de la izquierda se observa un uso de suelo perteneciente a matorral y en la imagen de la derecha a un uso de suelo para plantación forestal joven.	

Punto de Control: 7 (izq.) 8 (der.)		
Observaciones	Imágenes del territorio de Rastrojos con usos de suelo pertenecientes a Plantaciones forestales y terrenos agrícolas.	

Figura 17. Imágenes visita de campo.

Anexo 6: Mapas generados (criterios) para la creación de propuesta de Unidades de Gestión Ambiental

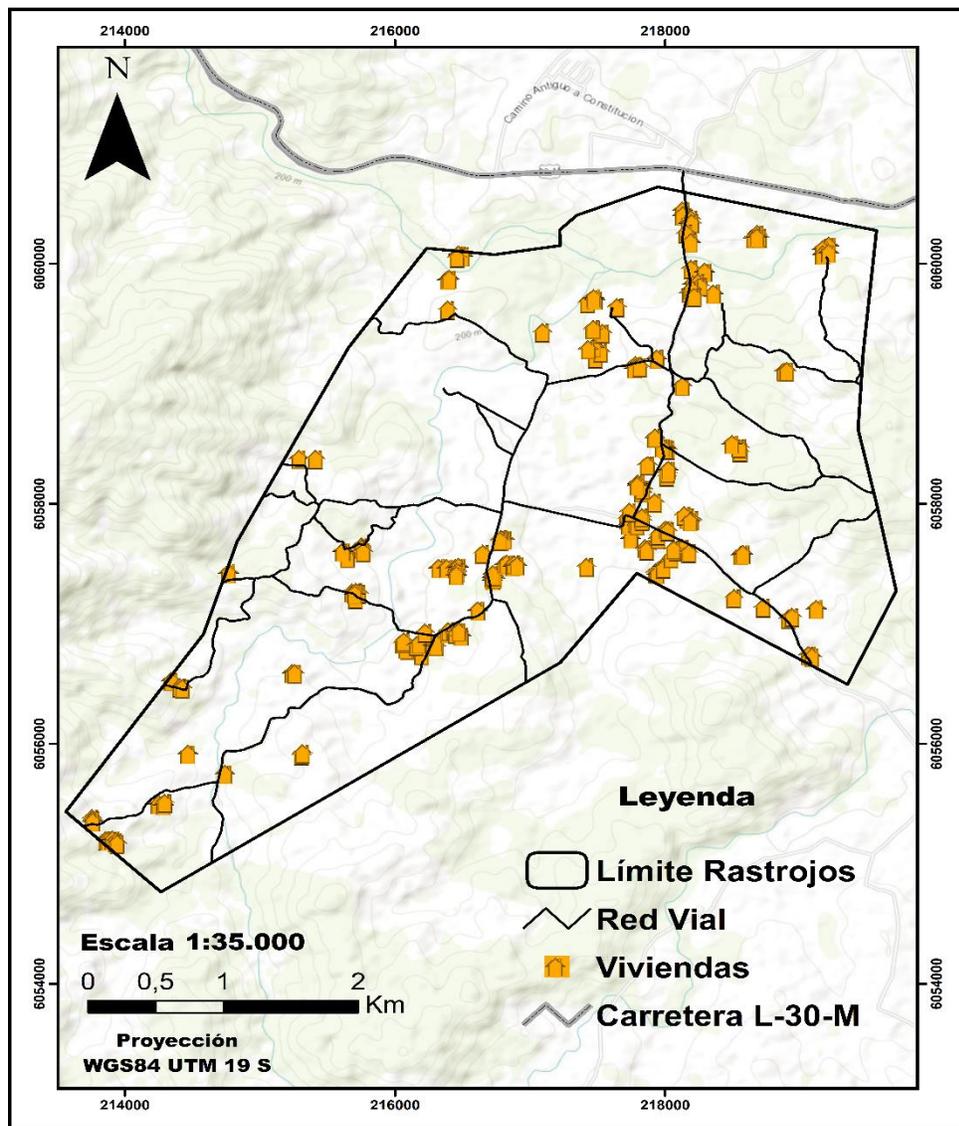


Figura 18. Urbano-rural Localidad de Rastrojos.

Fuente: Elaboración propia mediante datos del IDE Chile y Centro de Geomática de la Universidad de Talca.

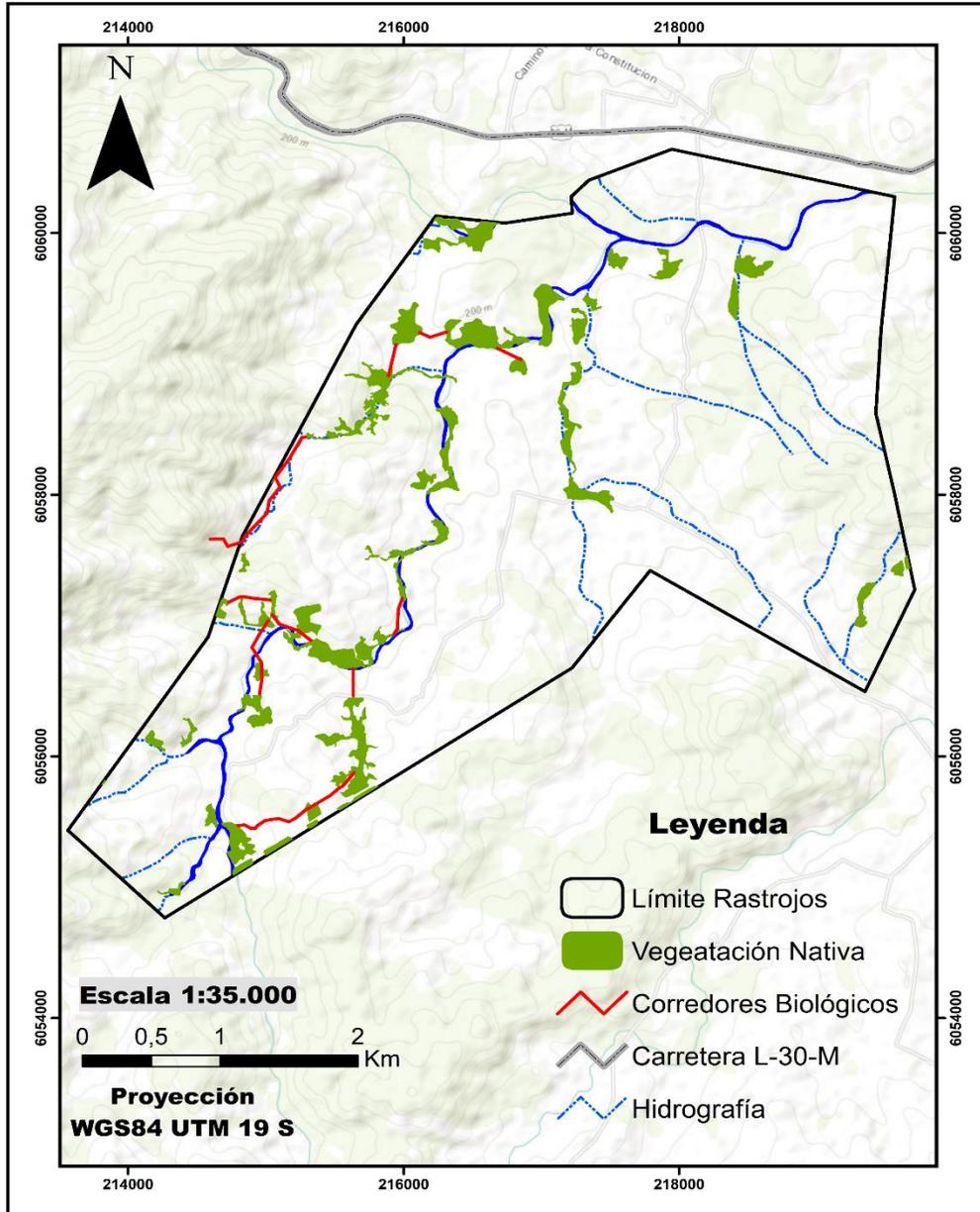


Figura 19. Áreas prioritarias para la conservación: Bosque nativo y corredores biológicos.

Fuente: Elaboración propia a partir de información proporcionada por el proyecto PYT-2017-0733 “Piloto de Innovación Territorial en Restauración Post incendio, Región del Maule”. Estudio: Factibilidad de conexión de fragmentos de interés de conservación a través de corredores biológicos en un área rural de Chile central.

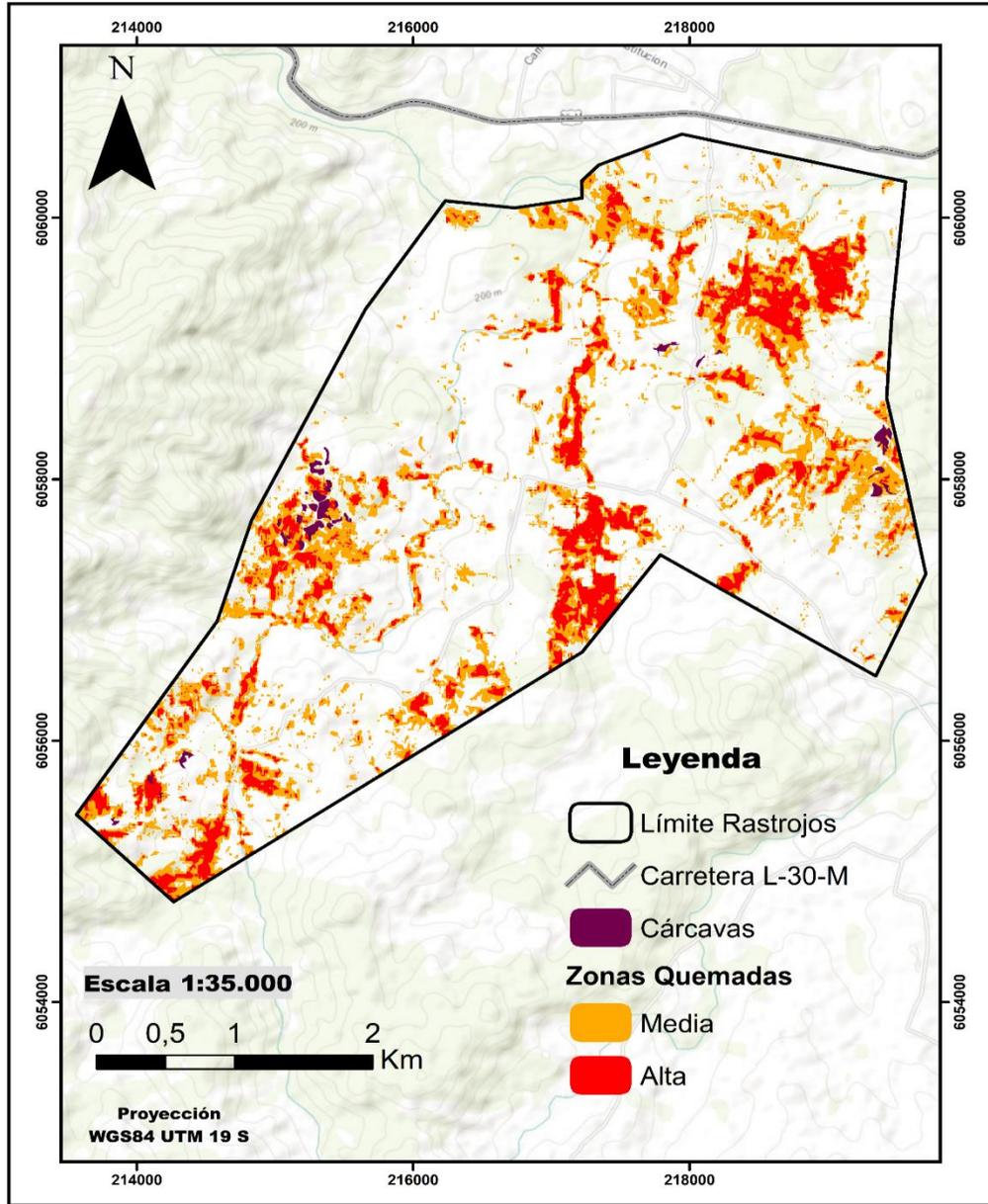


Figura 20. Áreas prioritarias para la restauración: Zonas de incendios y zonas de cárcavas.

Fuente: Elaboración propia a partir de estudio, análisis de la severidad del incendio año 2017 mediante el Índice Diferenciado Normalizado de Área Quemada (dNBR) y proyecto PYT-2017-0733 “Piloto de Innovación Territorial en Restauración Post incendio, Región del Maule”.

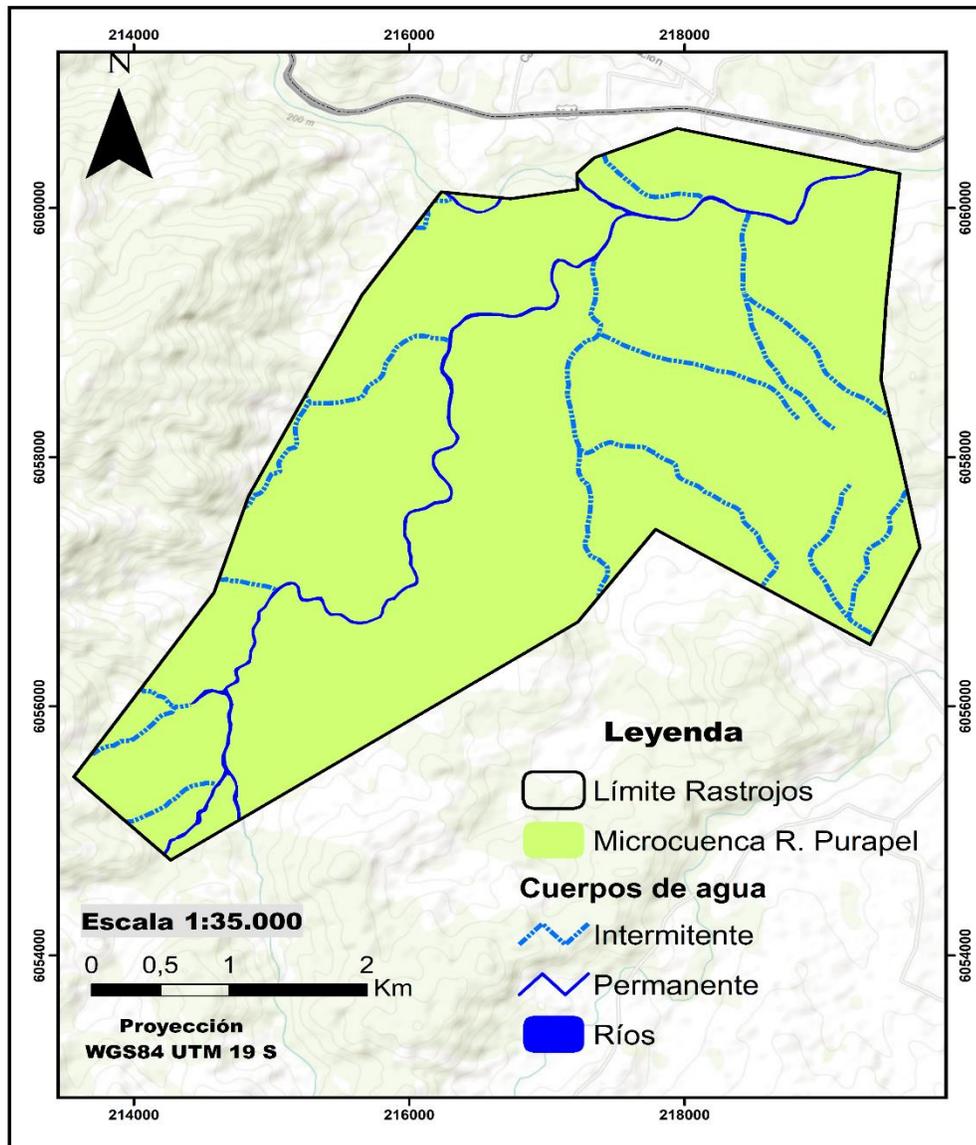


Figura 21. Fuentes de agua y microcuencas Rastrojos.

Fuente: Elaboración propia a partir de información proporcionada por IDE Chile y Centro de Geomática Universidad de Talca.

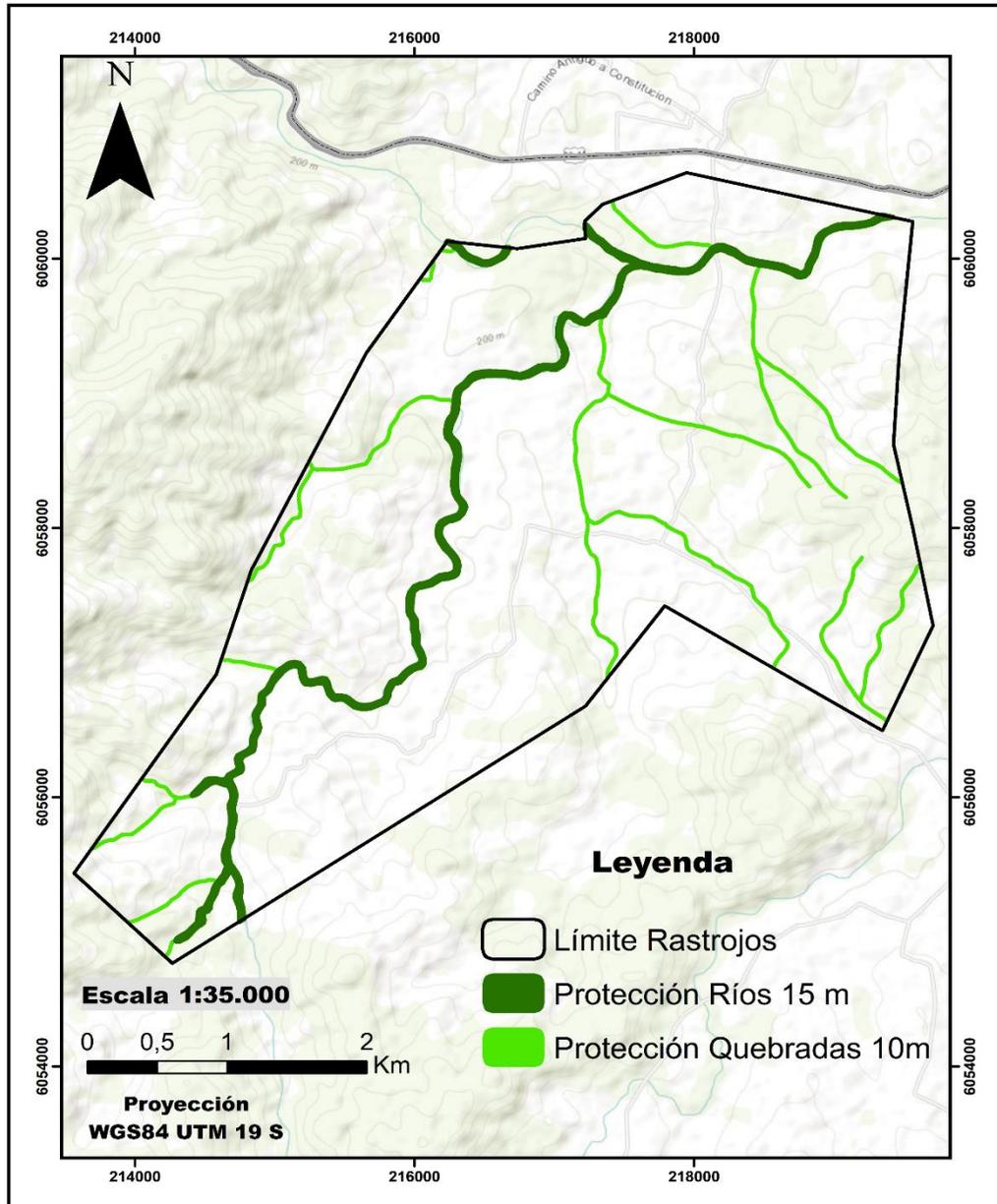


Figura 22. Áreas prioritarias para la protección: Fuentes de agua.

Fuente: Elaboración propia a partir de información proporcionada por IDE Chile y Centro de Geomática Universidad de Talca.

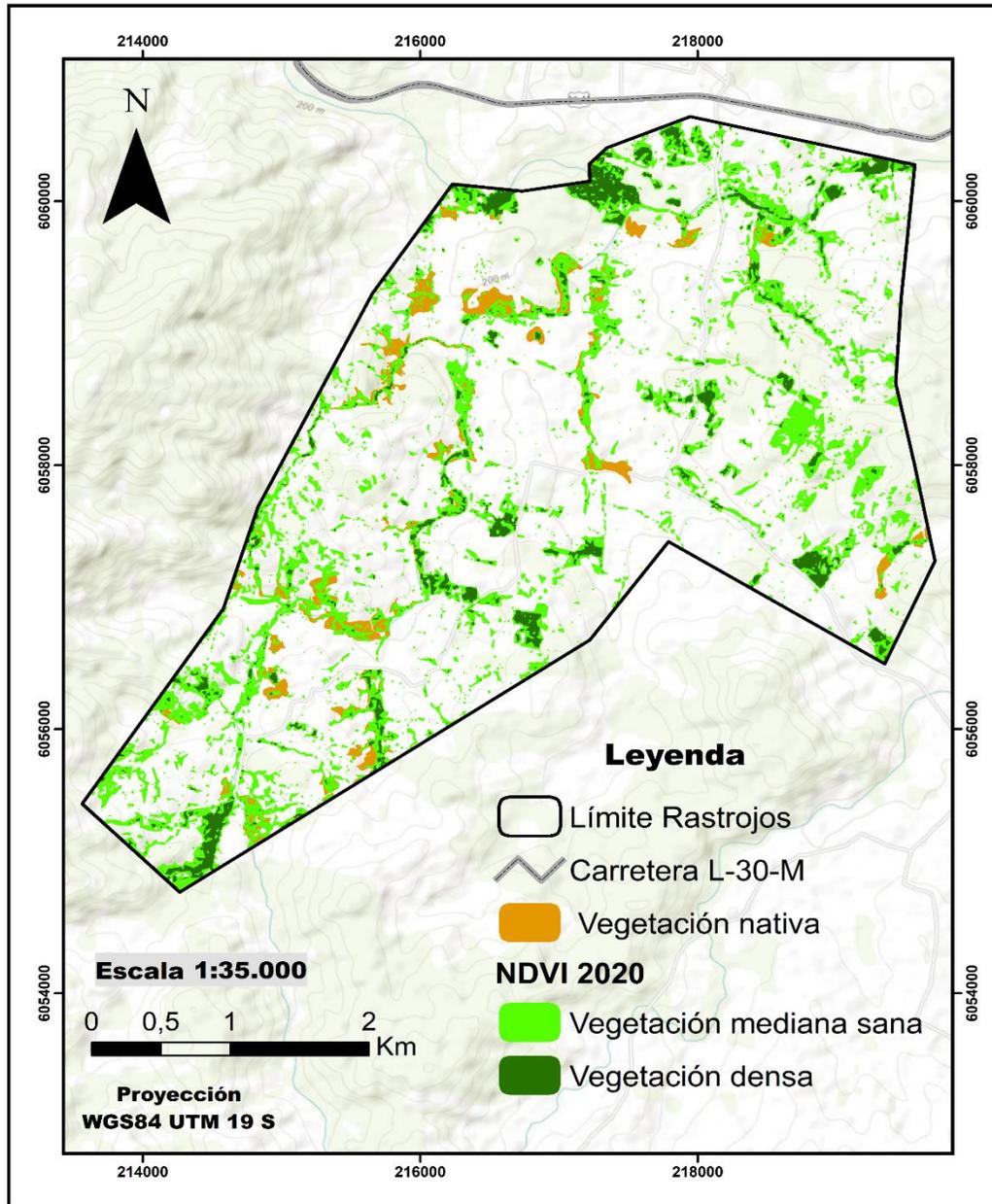


Figura 23. Áreas de vegetación primaria y secundaria según Índice NDVI.

Fuente: Elaboración propia a partir del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), el cual se obtuvo en este estudio para los años 2016-2020.

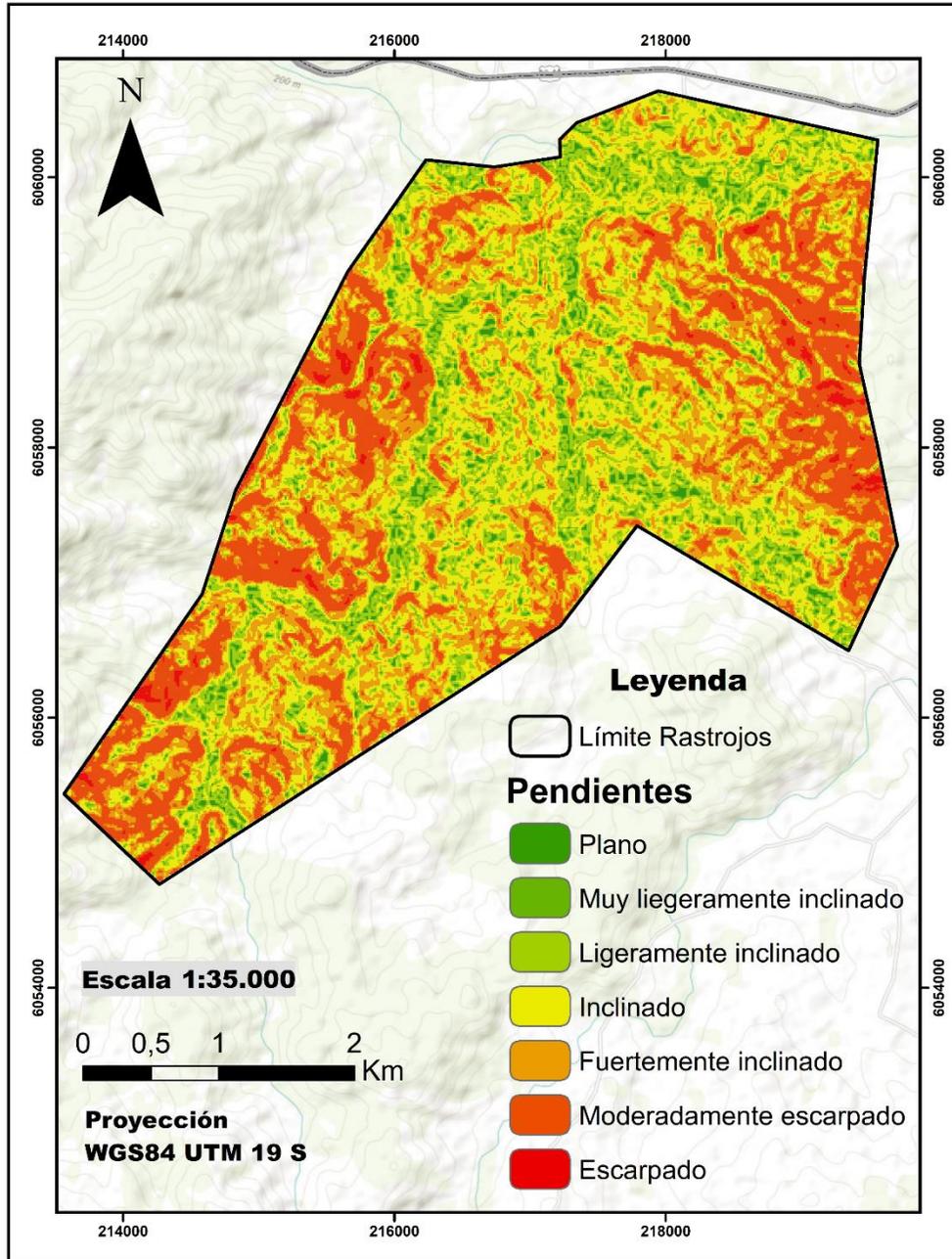


Figura 24. Pendientes Rastrojos.

Fuente: Elaboración propia a partir de información proporcionada por IDE Chile y Centro de Geomática Universidad de Talca.