



Universidad de Concepción
Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Geografía
Departamento de Geografía
Programa de Magíster en Análisis Geográfico

**ELABORACIÓN DE UNA METODOLOGÍA PARA EVALUAR
DAÑO AMBIENTAL POR INCENDIO FORESTAL MEDIANTE
VALORACIÓN DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS AFECTADOS:
CASO DE ESTUDIO INCENDIO LAS MÁQUINAS
(REGIÓN DEL MAULE).**

Trabajo Final para optar al grado de Magíster en Análisis Geográfico

Autora: Francisca Koch Espinoza
Profesor Guía: Dr. Francisco de la Barrera Melgarejo

Concepción, mayo de 2021.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	6
II. INTRODUCCIÓN	8
III. OBJETIVOS	12
3.1 OBJETIVO GENERAL	12
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
IV. MARCO TEÓRICO	13
4.1 SERVICIOS ECOSISTÉMICOS	13
4.2 LA AFECTACIÓN DE LOS INCENDIOS Y ACCIONES DE RECUPERACIÓN POST-INCENDIO	14
4.3 ANÁLISIS DE CAMBIO EN EL PAISAJE	16
4.4 EVALUACIÓN DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS	17
4.5 SERVICIOS ECOSISTÉMICOS AFECTADOS POR INCENDIOS	18
4.5.1 <i>Procesos de regulación y control de la erosión</i>	18
4.5.2 <i>Procesos de Regulación del ciclo hidrológico y flujos de agua</i>	19
4.5.3 <i>Características de los sistemas vivos que posibilitan experiencias de recreación.</i>	20
V. ÁREA DE ESTUDIO	21
VI. METODOLOGÍA	25
6.1 ANÁLISIS DE AFECTACIÓN DE LA ESTRUCTURA	25
6.2 ANÁLISIS ESPACIO TEMPORAL	26
6.3 ANÁLISIS DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS.	28
6.3.1 <i>Procesos de regulación y su efecto en la erosión suelo</i>	29
6.3.2 <i>Procesos de Regulación del ciclo hidrológico y flujos de agua</i>	33
6.3.3 <i>Características de los sistemas vivos que posibilitan experiencias de recreación.</i>	36
VII. RESULTADOS	41
7.1 ANÁLISIS DE CAMBIO	41
7.2 PROCESOS DE REGULACIÓN Y SU EFECTO EN LA EROSIÓN DEL SUELO	43
7.2.1 <i>Datos de entrada para el modelo RUSLE</i>	43
7.2.2 <i>Análisis del daño sobre servicios ecosistémicos asociados al suelo</i>	46
7.3 PROCESOS DE REGULACIÓN DEL CICLO HIDROLÓGICO Y LOS FLUJOS DE AGUA	50
7.3.1 <i>Datos de entrada al modelo Open Nspect</i>	50
7.3.2 <i>Análisis del daño sobre servicios ecosistémicos asociados al servicio de regulación hídrica.</i>	53
7.4 CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS VIVOS QUE POSIBILITAN EXPERIENCIAS DE RECREACIÓN.	57
7.4.1 <i>Áreas de valor ambiental</i>	57
7.4.2 <i>Resultados de la aplicación de la entrevista</i>	59
VIII. DISCUSIÓN	63
8.1 PROCESOS DE REGULACIÓN Y SU EFECTO EN LA EROSIÓN DEL SUELO	63
8.2 PROCESOS DE REGULACIÓN DEL CICLO HIDROLÓGICO Y FLUJOS DE AGUA	65
8.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS VIVOS QUE POSIBILITAN EXPERIENCIAS ESTÉTICAS DE RECREACIÓN.	66
IX. CONCLUSIONES	67
X. REFERENCIAS	70

XI. ANEXOS.....	76
11.1 ANEXO 1	76
11.2 ANEXO 2	76

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N ° 1: Modelo de cascada de los servicios ecosistémicos.....	14
Figura N ° 2: Incendios 2016-2017 en Chile central. A la derecha Incendio de Maquinas. Información asociada al Proyecto Fondecyt 11190530.	22
Figura N ° 3: Área de estudio, Sub- cuenca de Empedrado, Región del Maule.	24
Figura N ° 4: Escenarios definidos para el análisis del daño.	27
Figura N ° 5: Modelo de elevación Digital Alos Palsar DEM.	31
Figura N ° 6: Diagrama metodológico RUSLE.	32
Figura N ° 7: Esquema metodológico para modelar caudales.	34
Figura N ° 8: Mapa de representación del área de estudio para el ejercicio de mapeo.	37
Figura N ° 9: Metodología para la aplicación de SE Cultural, modificada de Nahuelhual et al., (2013).....	38
Figura N ° 10: Diseño de la entrevista en formato de Formulario.....	39
Figura N ° 11: Cambio de coberturas de uso de suelo tres escenarios modelados.....	42
Figura N ° 12: Mapas de datos de entrada para el modelo espacialmente explícito (Año 2016). a) Factor C: Cobertura de suelo, b) Factor K: Erodabilidad del suelo, c) Factor R: Erosividad de la lluvia, d) LS: Factor de relieve.	44
Figura N ° 13: Mapas de datos de entrada para el modelo espacialmente explícito (Año2018). a) Factor C: Cobertura de suelo, b) Factor K: Erodabilidad del suelo, c) Factor R: Erosividad de la lluvia, d) LS: Factor de relieve.	45
Figura N ° 14: Mapas de datos de entrada para el modelo espacialmente explícito (Año2020). a) Factor C: Cobertura de suelo, b) Factor K: Erodabilidad del suelo, c) Factor R: Erosividad de la lluvia, d) LS: Factor de relieve.....	46
Figura N ° 15: Aplicación modelo de RUSLE.....	48
Figura N ° 16: Niveles de erosión por periodo.....	49
Figura N ° 17: Parámetros de entrada a OpenNSPECT (Año2016). <i>a) CN: grupos hidrológicos del suelo, b) Factor K: erodabilidad del suelo, c) DEM: modelo de elevación digital del terreno, d.1) C: Factor de coberturas del suelo y e.1) ppt: precipitaciones.</i>	51
Figura N ° 18: Parámetros de cambio en escenario post incendio (2018). <i>d.2) C: Factor de coberturas del suelo y e.2) ppt: precipitaciones.</i>	52
Figura N ° 19: Parámetros de cambio en escenario post incendio (2020). <i>d.2) C: Factor de coberturas del suelo y e.2) ppt: precipitaciones.</i>	53
Figura N ° 20: Modelo de escorrentía superficial OpenNSPECT con variación de caudales. .	54
Figura N ° 21: Valores escorrentía superficial (caudales) para cada uno de los puntos.	54
Figura N ° 22: Valores de escorrentía superficial con escenario simulado 2020 (b).	56
Figura N ° 23: Áreas de Valor Natural en el área de estudio.	58
Figura N ° 24: Gráfico de Valoración de servicios culturales; oportunidades de recreación.	61
Figura N ° 25: Valoración de sitios que ofrecen oportunidades de recreación	61
Figura N ° 26: Valoración del SE Cultural; sitios que ofrecen oportunidades de recreación en el área de estudio.	62
Figura N ° 27: Valoración de la afectación de los incendios forestales en la oferta de sitios que ofrecen oportunidades de recreación.	63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N ° 1: Datos proporcionados por el proyecto Fondecyt N ° 11190530.	26
Tabla N ° 2: Estaciones utilizadas para interpolar datos de precipitaciones y Factor R	27
Tabla N ° 3: Descripción de la metodología para evaluar Servicios ecosistémicos.....	28
Tabla N ° 4: Niveles de erosión [ton/ha/año] FAO (1979).	33
Tabla N ° 5: Variación de caudales en términos de porcentaje, para en los distintos puntos de aforo definidos en la cuenca (ver Figura N ° 20).	55
Tabla N ° 6: Variación de caudales en términos de porcentaje incluyendo escenario simulado (2020 b) que incluye las precipitaciones del año 2016, para en los distintos puntos de aforo definidos en la cuenca.	56
Tabla N ° 7: Afectación de áreas de Valor Natural (Fuente: CONAF,2017.).....	58
Tabla N ° 8: Valores de calibración para coberturas de uso de suelo y curva número según textura de suelo.....	76
Tabla N ° 9: Identificación de sitios con potencial de recreación en el área de estudio	76

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen N ° 1: "Humedal Ciénagas del Name" (enero,2021).	23
Imagen N ° 2: "Humedal Ciénagas del Name" (enero,2021).	23
Imagen N ° 3: "Cerro Name".	23
Imagen N ° 4: Ruta M-450 Salida poniente Empedrado.....	23
Imagen N ° 5: Ruta M-450 Empedrado.	23
Imagen N ° 6: Río Reloca Ruta M-450	23
Imagen N ° 7: Río Reloca en Humedal costero Reloca.....	24
Imagen N ° 8: Embalse empedrado.....	24
Imagen N ° 9: Cerro Name sector humedal Ciénega del Name.....	49
Imagen N ° 10: Cerro Name ladera oriental.	49
Imagen N ° 11: Oportunidades turísticas identificadas en Cerro Name.....	60
Imagen N ° 12: Oportunidades turísticas identificadas en "Cerro Name"	60

Reconocimientos

Este trabajo forma parte del proyecto Fondecyt Iniciación N ° 11190530, titulado: "Grandes incendios forestales de Chile centro-sur y sus efectos ambientales y urbanos en el periodo 2001-2021: Elaboración de cartografía base y criterios de sustentabilidad para su integración en la planificación territorial".

Agradecimientos

Mis agradecimientos para todos los que me acompañaron en este nuevo camino de crecimiento personal y profesional. Destaco el apoyo de mi familia, especialmente a mi marido, mis hijas Lucía y Anna Florencia, mi Madre y mi Padre, quienes han comprendido y compartido conmigo mis nuevos proyectos e intereses. Especialmente Sebastián, quien además me ha apoyado en el análisis legal del daño ambiental.

Agradecer también, a mi equipo de trabajo Zañartu Ingenieros Consultores que, durante estos años, me ha apoyado con tiempo y comprensión, permitiéndome cursar con tranquilidad mis estudios y dedicarme a la investigación.

Agradecer especialmente a mi profesor guía Francisco de la Barrera por haberme incluido en su proyecto de "Grandes incendios forestales de Chile centro-sur y sus efectos ambientales y urbanos en el periodo 2001-2021: Elaboración de cartografía base y criterios de sustentabilidad para su integración en la planificación territorial", acompañándome durante este proceso, compartiendo conmigo sus conocimientos y su tiempo. Gracias también al equipo de GINSEC, por toda la dedicación y entusiasmo. Destaco también, la ayuda del Profesor Rodrigo Fuentes y Diego Muñoz, quienes compartieron información valiosa y me guiaron, con sus enormes y avanzados conocimientos en SIG.

Por último, agradecer a todos los que fueron parte de mis estudios de Magister; profesores/as, compañeros/as y personal de la UDEC, quienes a través su conocimiento y perspectiva, me han hecho sentir parte y más consiente del espacio, con una visión más amplia y transversal del sistema, generando una linda experiencia, en este nuevo paso por la Universidad y por Concepción.

Muchas gracias.

RESUMEN

Durante los meses de enero y febrero del año 2017, la zona mediterránea de Chile Central fue afectada por grandes incendios forestales que impactaron ecosistemas de alta relevancia global para la conservación de la biodiversidad. Particularmente, el complejo de incendios de "Las Máquinas" en la Región del Maule, fue uno de los de mayor impacto y afectó diferentes ecosistemas, en las comunas de Empedrado, Chanco, Cauquenes, Constitución y San Javier. Con el objetivo de evaluar el daño ambiental generado por los grandes incendios, se elaboró una metodología basada en la valoración de servicios ecosistémicos (SE) utilizando para ello técnicas de modelamiento espacio temporal para tres periodos; un periodo de referencia 2016 (pre- incendio) y dos periodos post- incendio 2018 y 2020, aplicadas a servicios de: 1) regulación del suelo y control de la erosión, utilizando para ello la ecuación revisada de pérdida de suelo universal (RUSLE) integrada a Sistemas de Información geográfica (SIG); 2) procesos de regulación del ciclo hidrológico y flujos de agua, utilizando para ello un modelo espacialmente explícito para fuentes difusas, OpenNSPECT; y 3) para la valoración de oportunidades de recreación, la aplicación de una encuesta, apoyada en un ejercicio de mapeo con el fin de visualizar la oferta de SE y recoger la apreciación de los afectados. Este análisis fue aplicado a una cuenca costera de la región del Maule, cuya afectación por causa de los incendios del 2017 fue significativa. La aplicación de esta metodología permitió evidenciar alteraciones en los escenarios post incendio, con un incremento porcentual de 252 % en las tasas medias anuales de erosión de la cuenca entre el año 2016 y 2018 y un descenso en las tasas de erosión durante el escenario 2020, relacionado con el efecto de las coberturas de suelo y el descenso en la erosividad de las lluvias (-9%). Mientras que en las dinámicas de escorrentía superficial, durante el primer periodo post incendio (2018), se evidenciaron aumentos en los caudales en torno al 60 % respecto de los valores de escurrimiento superficial referenciales al año 2016, para el segundo periodo post incendio (2020), un descenso en los caudales en torno al 33-45% respecto del año de referencia, sin embargo estos fueron también atribuibles al descenso en las precipitaciones durante este periodo y a las características estructurales del suelo. Finalmente, la metodología permitió la identificación de oportunidades de recreación, su relación con los atributos del paisaje y la valoración de afectación desde la percepción de los afectados. Determinando así, cómo los incendios forestales generaron cambios en la composición del paisaje, afectando su estructura, funcionamiento y a la vez, su capacidad o potencial para prestar servicios. De esta forma, la aplicación de una metodología basada en la valorización de los SE contribuye a la comprensión del daño ambiental, así como a la recuperación de la infraestructura espacial necesaria para el desarrollo de los ecosistemas y el bienestar humano.

Palabras clave: Daño ambiental, reparación ambiental, servicios ecosistémicos, paisaje, incendios forestales.

ABSTRACT

During the months of January and February of the year 2017, the Mediterranean area of Central Chile was affected by massive wildfires that impacted ecosystems of high global relevance for the conservation of biodiversity. In particular, the “Las Máquinas” fires complex in the Maule Region was one of the complexes with the greatest impact and affected different ecosystems in the communes of Empedrado, Chanco, Cauquenes, Constitución and San Javier. In order to evaluate the environmental damage generated by wildfires, a methodology was developed based on the valuation of ecosystem services (ES) using spatial-temporal modeling techniques for three periods; a reference period 2016 (pre-fire) and two post-fire periods 2018 and 2020, applied to: 1) soil regulation and erosion control, using the revised universal soil loss equation (RUSLE) integrated into Geographic Information Systems (GIS); 2) processes for regulating the hydrological cycle and water flows, using a spatially explicit model for nonpoint sources, OpenNSPECT; and 3) for the evaluation of recreational opportunities, the application of a survey, supported by a mapping exercise in order to visualize the supply of SE and collect the appreciation of those affected. This analysis was applied to a coastal basin in the Maule region, whose impact due to the fires of 2017 was significant. The application of this methodology allowed evidence of alterations in the post-fire scenarios, with a percentage increase of 252% in the average annual erosion rates of the basin between 2016 and 2018 and a decrease in erosion rates during the 2020 scenario, related to the effect of land cover change and the decrease in rainfall erosivity (-9%). While in the dynamics of surface runoff, during the first post-fire period (2018), there were increases in flows of around 60% with respect to the referential surface runoff values in 2016, for the second post-fire period (2020), a decrease in flows of around 33-45% compared to the reference year, however these were also attributable to the decrease in rainfall during this period and to the structural characteristics of the soil. Finally, the methodology allowed the identification of recreational opportunities, their relationship with the attributes of the landscape and the assessment of the impact from the perception of those affected. Thus, determining how wildfires generated changes in the composition of the landscape, affecting its structure, operation and, at the same time, its capacity or potential to provide services. In this way, the application of a methodology based on the valorization of ES contributes to the understanding of environmental damage, as well as the recovery of the spatial infrastructure necessary for the development of ecosystems and human well-being.

Keywords: Environmental damage, environmental repair, ecosystem services, landscape, wildfires.

I. INTRODUCCIÓN

Los incendios forestales se consideran un componente esencial en la evolución del sistema terrestre, mediante el cual se ha dado forma a la evolución de los ecosistemas y sus procesos (Bond, Woodward, and Midgley 2005; Hurteau et al. 2014; Thonicke et al., 2001). Sin embargo, las influencias antropogénicas en la actividad del fuego se han vuelto cada más pronunciadas desde finales del siglo XVIII, reflejando efectos en incendios a gran escala en el siglo XX. De esta forma, los regímenes de fuego contemporáneos se han visto cada vez más afectados por las actividades humanas y el cambio climático, planteando nuevos desafíos en términos de adaptación, planificación y diseño de paisajes naturales y urbanos (Bowman et al. 2020). Y si bien, desde la antigüedad los incendios forestales han modelado el paisaje, actuando como un agente más del ecosistema (Mataix-Solera and Cerdà 2009), jugando también un papel en el sostenimiento de la biodiversidad y la salud del ecosistema, hoy, como en muchas otras partes del mundo, el régimen de incendios (patrón, frecuencia e intensidad) ha crecido a un ritmo alarmante (Úbeda & Sarricolea, 2016).

En Chile, la ocurrencia de incendios forestales ha aumentado fuertemente en los últimos años, se estima una frecuencia media de aproximadamente 6.000 incendios forestales por año, con una afectación promedio de 70.000 hectáreas aprox. (promedio histórico 1985-2020), lo cual se ha visto incrementado en durante el último decenio, superando en algunos casos las 100.000 ha anuales, incendios que tienen su origen, casi en su totalidad, en la acción humana¹. La zona usualmente más afectada por incendios forestales en Chile corresponde a la zona central, donde existe un clima mediterráneo y domina la vegetación de tipo esclerófila (Luebert y Plischoff, 2006). En esta zona, los incendios forestales tienen un gran impacto económico y social debido a la alta densidad poblacional. Además, de que estos ecosistemas son considerados altamente vulnerables a los impactos del cambio climático, lo cual incluye cambios en el régimen de incendios forestales y sus impactos (Altamirano et al., 2013).

No todos los incendios son iguales. El impacto directo de incendios forestales a gran escala (>10.000 ha) y megaincendios (>40.000 ha) son diversos y van desde trágicas pérdidas humanas, viviendas dañadas, la pérdida de ecosistema y cambios fundamentales de sus características (De la Barrera et al. 2018).

Durante los meses de enero y febrero del año 2017, la zona mediterránea de Chile central fue afectada por incendios forestales de gran magnitud e intensidad que impactaron, entre otros aspectos, ecosistemas naturales de alta relevancia global para la conservación de la biodiversidad (Valencia et al., 2018). Se debe destacar que en esta zona se concentra el mayor endemismo asociado a grado de amenaza,

¹ Ver: <https://www.conaf.cl/incendios-forestales/incendios-forestales-en-chile/estadisticas-historicas/>

conformando uno de los 25 puntos críticos de la biodiversidad a nivel mundial (Myers et al., 2000). Según el informe técnico de la Situación de incendios forestales en Chile, elaborado por la misión de la Unión Europea en Chile el año 2017, un 80% de la superficie arrasada por el episodio de incendios estudiado se concentró en las regiones del Maule y del Biobío. En particular, los complejos de incendios de Las Máquinas (Maule) y San Antonio (Biobío) destacaron por la extensa superficie afectada (184.000 y 64.000 ha, respectivamente), la virulencia de su comportamiento y los daños causados (Castellnou et al., 2017).

Estos incendios del año 2017 se clasificaron como mega incendios y afectaron a un total de 529,974 ha con cuatro incendios individuales quemando más de 40,000 y fueron mucho más graves que cualquiera de los incendios registrados anteriormente en Chile, destacando entre los más grandes y severos del mundo (De la Barrera et al., 2018).

Particularmente, el complejo de Incendios de “Las Máquinas” en la Región del Maule, fue uno de los de mayor impacto y afectó diferentes ecosistemas en las comunas de Empedrado, Cauquenes, Constitución y San Javier. El incendio comenzó el día 20 de enero del año 2017 a 12 km al norte de la ciudad de Cauquenes y se controló el día 9 de febrero del mismo año, alcanzando una superficie de aproximadamente 184.000 ha (Valencia et al. 2018) , siendo considerado como el más grande en los últimos cincuenta años en Chile. Cabe señalar, que se trata de la mayor superficie quemada en un solo evento, de las cuales 114.000 ha se quemaron en un periodo de 14 horas la noche del 25 de enero de ese año (Valencia et al., 2018). La denominada “tormenta de fuego” afectó especialmente plantaciones forestales, bosque nativo, praderas y matorrales, terrenos agrícolas y áreas pobladas (CONAF, 2017).

En relación con las eventuales responsabilidades, los incendios registrados el verano del 2017, están revestidos de características especiales que ha llevado a los expertos a afirmar que se trata de un fenómeno sin precedentes. Los antecedentes con los que actualmente se cuenta, confirman la teoría inicial donde los incendios ocurridos no obedecen a un propósito criminal, sino que en su mayoría corresponden a un actuar negligente (Alva-Álvarez et al., 2018).

Existen diferentes estudios en la zona y evento escogidos, que buscan dilucidar el impacto de los incendios y la determinación del daño ambiental en los distintos componentes, pudiendo citar a: i) (Valencia et al., 2018) que evalúa el daño causado por los incendios del 2017 en los bosques remanentes de la región del Maule; ii) (De la Barrera et al., 2018) que evalúa la cantidad de daño a los distintos ecosistemas, así como sus efectos en la calidad del aire y la exposición de ciudades a deslizamientos e inundaciones posteriores, y iii) (Balocchi et al., 2020) que evalúa el efecto del incendio forestal en el equilibrio hidrológico de un bosque de Hualo, entre otros.

Desde la perspectiva legal, el daño ocasionado por un incendio forestal puede ser abordado mediante distintas acciones: 1) la acción por daño ambiental, ejercida por sus titulares (conforme al artículo 54 de la Ley 19.300, son las personas naturales o jurídicas, públicas o privadas, que hayan sufrido el daño, la municipalidad por hechos acaecidos en sus comunas y el Consejo de Defensa del Estado), ante Tribunal Ambiental y que busca la reparación del medio ambiente dañado; 2) la acción civil, referida a la acción de indemnización de perjuicios y que busca compensar económicamente a las personas que sufrieron daño o perjuicio con ocasión del incendio (ejercida por los afectados o sus familiares por los daños materiales o morales sufridos); 3) la acción Penal por el delito de Incendio de Bosque previsto y sancionado por el Art. 476 N°3 del código penal, en relación al Art. 22 y 22 ter, de la Ley de Bosques (Decreto 4363 Aprueba Texto Definitivo de la Ley De Bosques), que establece el delito de incendio. Y, 4) eventualmente sanciones administrativas que correspondan por incumplimiento a la normativa sectorial vigente, Resoluciones de Calificaciones Ambientales o instrucciones de la autoridad.

Para el análisis del daño ambiental, se evalúa la acción por daño ambiental que busca la reparación del medio ambiente dañado, considerando para ello dos definiciones de la Ley 19300, sobre Bases Generales del Medio Ambiente (en adelante, "Ley 19.300"): 1) lo definido en literal e) del artículo 2° de la Ley 19300 que define *Daño ambiental*, como "toda pérdida, disminución, detrimento o menoscabo significativo inferido al medio ambiente o a uno o más de sus componentes", y 2) lo definido en el literal s) de la Ley 19.300, que define reparación como "la acción de reponer el medio ambiente o uno o más de sus componentes a una calidad similar a la que tenían con anterioridad al daño causado o, en caso de no ser ello posible, restablecer sus propiedades básicas".

Asimismo, conforme al artículo 60 de la Ley 19.300 y en relación al artículo 17 n°2 de la Ley 20.600 que "Crea Los Tribunales Ambientales", son los Tribunales Ambientales quienes detentan la competencia para conocer de las demandas para obtener la reparación del medio ambiente dañado, en conformidad con lo dispuesto en el Título III de la ley N° 19.300, por cuya razón estos órganos jurisdiccionales cumplen un rol esencial para determinar cuando estamos frente a un daño y qué medidas de reparación o recuperación deben ejecutarse.

Al respecto, existen diferentes demandas por *daño ambiental*, en el caso del evento escogido por esta investigación, destaca la demanda de reparación de daño ambiental interpuesta por la I. Municipalidad de Marchigue en contra de la empresa concesionaria eléctrica CGE Distribución S.A, quien por su eventual actuar negligente al no dar cumplimiento a sus obligaciones de mantención y limpieza en la franja de protección respectiva donde se encuentra instalada su línea eléctrica, habría dado origen a los incendios que afectaron a esas comunas en enero del 2017.

En relación con la demanda, se aprecia que la empresa demandada tendría una responsabilidad por haber faltado a su deber legal establecido en la Ley general de

servicios eléctricos (DFL N°1 de 1982 de Minería, refundido y sistematizado por el Decreto Fuerza de Ley N°4 del año 2006 y sus modificaciones posteriores) que establece el deber de “mantener las instalaciones en buen estado, en condiciones de evitar peligro para las personas o cosas”. Por lo que, la empresa debía tener despejada de toda clase de material combustible su franja, dando cumplimiento a su deber legal de actuar y proceder con el debido cuidado evitando el peligro para las personas o cosas, considerando, además, que el deber de “mantención” estaba bajo el control de dicha concesionaria. En este sentido, cabe señalar que de acuerdo con lo dispuesto en el artículo 52 de la Ley 19.300 “Se presume legalmente la responsabilidad del autor del daño ambiental, si existe infracción entre otras, a las normas de protección, preservación o conservación ambiental”.

Como consecuencia del aparente actuar negligente y culposo del responsable y de acuerdo a la valoración estimada en dicha demanda, además de las pérdidas de infraestructura, siembras, animales, así como también los costos monetarios para el país, se afectó la flora, fauna de la comuna y su biodiversidad. Esto constituye una grave pérdida ecosistémica, costosa de restaurar en el transcurso del tiempo, lo cual generó un daño irreparable, vulnerando con ello la Conservación del Patrimonio Ambiental (artículo 1 de la Ley 19.300) que define además; el uso y aprovechamiento racional o la reparación, en su caso, de los componentes del medio ambiente, especialmente aquellos propios del país que sean únicos, escasos o representativos, con el objeto de asegurar su permanencia y su capacidad de regeneración, y, el principio básico del derecho establecido en el artículo 19 N°8 de la Constitución Política, como es el de vivir en un medio ambiente libre de contaminación y que establece el deber del Estado, velar para que este derecho no sea afectado y tutelar la preservación de la naturaleza.

En este sentido la demanda en cuestión, busca de forma general establecer: a) la acción o omisión de los causantes del daño; b) la culpa o dolo de los autores o causantes del daño; c) la existencia de un daño al medio ambiente; d) la relación causal entre las acciones u omisiones culposas o dolosas y el daño ambiental; y de esta forma la obligación, en conformidad de la ley, de la reparación del medio ambiente dañado, y que en particular, para este caso, resolvió la conciliación entre las partes, acordando un Plan de Reparación.

Y, aun cuando el daño al medio ambiente resulta evidente luego de los “megaincendios”, el hecho que el daño deba ser calificable de significativo constituye una exigencia mayor para su acreditación (Corral, 1996). En este mismo sentido, resulta útil considerar que conforme al artículo 63 de la Ley 19.300 “La acción ambiental y las acciones civiles emanadas del daño ambiental prescriben en el plazo de cinco años, contado desde la manifestación evidente del daño”. Por ello, no necesariamente una acción dolosa o culposa que cause daño ambiental (conforme a lo dispuesto artículo 51 de la Ley 19.300), producirá como consecuencia inmediata una manifestación evidente del mismo. De hecho, las singularidades de un daño en la materia podrían implicar que sus consecuencias afecten incluso a generaciones

futuras, aún no nacidas, que eventualmente requerirán del medio ambiente para su posterior desarrollo (Tisné, 2014).

desarrollo que satisfaga las necesidades del presente al tiempo que salvaguarda el sistema de soporte vital de la Tierra, de la que depende el bienestar de las generaciones actuales y futuras

Lo anterior, se alinea plenamente con el concepto de desarrollo sustentable que da centralidad a la salvaguarda de la naturaleza, como sistema de soporte vital del cual depende el bienestar de las generaciones actuales y futuras (Griggs, D. et al, 2013) y sustentabilidad del paisaje, que se define como "la capacidad para proporcionar constantemente y a largo plazo servicios ecosistémicos específicos, esenciales para mantener y mejorar el bienestar humano, en un contexto regional y a pesar de los cambios ambientales y socioculturales" (Wu, 2013).

Bajo esta línea de investigación y mediante el análisis geográfico, se propone desarrollar una metodología aplicada que contribuya a la evaluación del daño ambiental, utilizando la información disponible para la zona de estudio y determinando cómo los cambios en la composición del paisaje afectaron la estructura, el funcionamiento del ecosistema y a la vez, su capacidad o potencial para prestar servicios. Se espera que la aplicación de una metodología basada en la valorización de los servicios ecosistémicos contribuya a la comprensión del *Daño ambiental* y a la recuperación de la infraestructura espacial que se requiere para el desarrollo de los ecosistemas y el bienestar humano.

II. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Desarrollar una metodología aplicada para evaluar el daño ambiental causado por megaincendios, utilizando la información disponible para la zona de estudio y determinando cómo los cambios en la composición del paisaje afectaron la estructura y el funcionamiento del ecosistema y a la vez, su capacidad o potencial para prestar servicios ecosistémicos.

2.2 Objetivos específicos

- Evaluar la acción por daño ambiental, mediante técnicas de medición de la afectación provocada por incendios forestales.
- Analizar la extensión y el cambio en las coberturas del suelo en el incendio forestal "Las Máquinas", así como la afectación de los servicios ecosistémicos.
- Aplicar una metodología ajustada para determinar el daño del incendio forestal, mediante modelación espacial y temporal de servicios ecosistémicos de regulación y evaluación social de servicios culturales

III. MARCO TEÓRICO

3.1 Servicios Ecosistémicos

Los servicios ecosistémicos (SE) son las contribuciones de la estructura y función de los ecosistemas (en combinación con otros insumos) al bienestar humano. Esto implica que la humanidad depende en gran medida del buen funcionamiento de los ecosistemas y capital natural, que son la base para un flujo constante de SE de la naturaleza a la sociedad (Burkhard y Maes, 2017; capítulo 1).

Al respecto, existen diferentes apreciaciones respecto de los SE y la mayoría de ellas reconoce algún tipo de 'camino' que va desde las estructuras y procesos ecológicos hasta el bienestar de las personas. Esta idea se puede representar en términos de lo que llamamos el "modelo en cascada", como una forma de ampliar el pensamiento sobre los ecosistemas para incluir a las personas y, como tal, lo que podría describirse como un "sistema socioecológico" (Burkhard y Maes 2017; capítulo 2.3).

El flujo del ecosistema hacia la sociedad se genera a través del suministro de SE. El flujo de regreso al sistema es la influencia de la sociedad en el ecosistema, generado por impulsores y gobernanza. De esta forma, cada paso dentro del sistema está relacionado con la biodiversidad, que es el stock total o parte de nuestro capital natural, determinando así, la capacidad de autorregulación del sistema y las actitudes de la dinámica de la biodiversidad, tales como resiliencia o adaptabilidad.

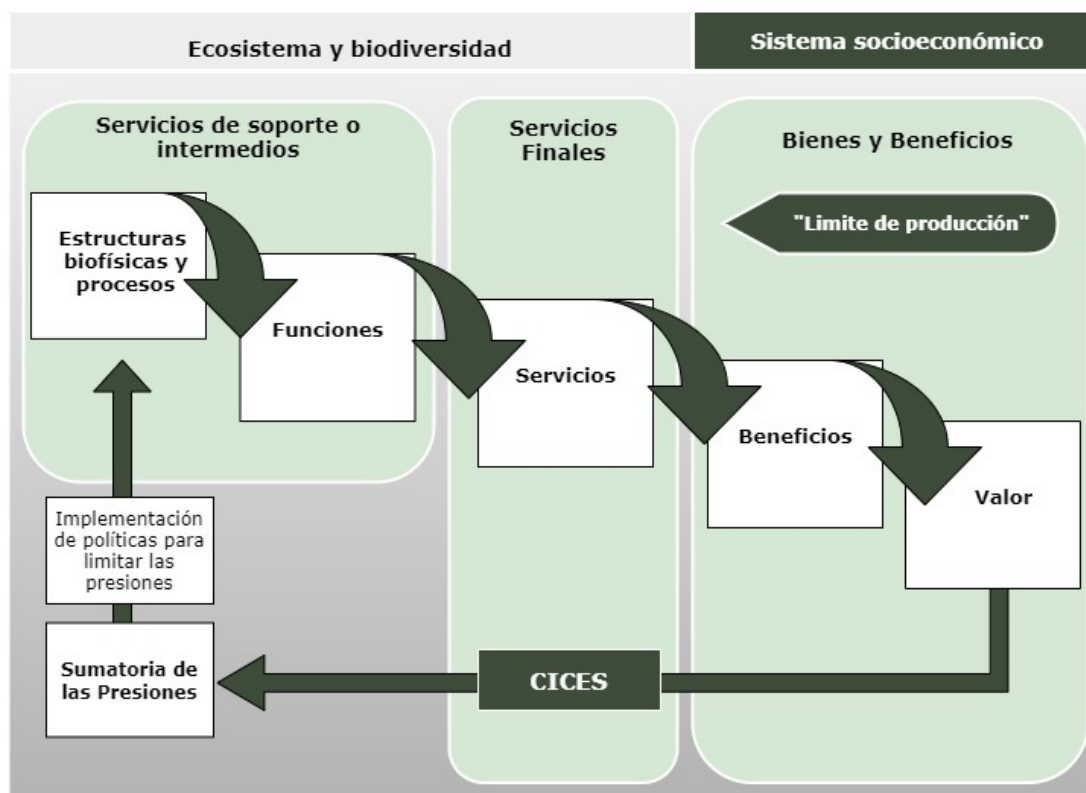
La cascada de SE² (De Groot et al., 2010, Haines-Young y Potschin, 2010; TEEB, 2010) es un concepto útil para enmarcar evaluaciones cuantitativas espacialmente explícitas de ecosistemas, SE y beneficios. Asimismo, "descomprimir" el modelo de cascada, resulta útil en la comprensión del funcionamiento de los sistemas socioecológicos. De esta forma, los SE están en el centro del modelo de cascada, en la interfaz entre las personas y la naturaleza, mientras que el lado izquierdo de la cascada captura los elementos que determinan la capacidad de un ecosistema para suministrar servicios, representados principalmente por las estructuras y procesos ecológicos. Finalmente, el lado derecho, contiene los aspectos de la demanda de estos. Además de los cambios en los valores de los beneficios que las personas emiten y los tipos de intervención que podrían realizar para proteger o mejorar la oferta de SE; esto mediante la flecha de retroalimentación.

Comprender el equilibrio entre estos elementos, está en el centro del debate contemporáneo sobre sustentabilidad y es clave para nuestra comprensión de la forma en que las personas y la naturaleza están vinculadas. Y, aun cuando las personas siempre han dependido de naturaleza, en las sociedades modernas es fácil

² <https://www.biodiversity.fi/ecosystemservices/cascade/>

perder de vista este hecho, lo cual explica gran parte de nuestro dañino comportamiento hacia el medio ambiente (Burkhard y Maes 2017; capítulo 2.3).

Figura N ° 1: Modelo de cascada de los servicios ecosistémicos.



Fuente: Adaptado de Potschin & Haines-Young (2017)

3.2 La afectación de los incendios y acciones de recuperación post-incendio

La alteración o degradación de un ecosistema se caracteriza por pérdidas en sus características originales, tales como su función o estructura, lo que puede dar lugar a un nuevo ecosistema, o restringir la persistencia del ecosistema original en el tiempo, por lo menos a escala de tiempo humana. Los factores que pueden causar la alteración de un ecosistema pueden ser discretos o recurrentes, causados por un sólo factor o multifactoriales (Jaksic & Fariña, 2015).

Los incendios forestales son considerados entonces, un factor de disturbio que altera los ecosistemas, particularmente los forestales, presentando una dimensión espacial e incidencia que se explica por el desarrollo de paisajes altamente combustibles como consecuencia de la continuidad y uniformidad espacial de la propia estructura del paisaje (Alva-Álvarez et al., 2018)

En este aspecto, los impactos del fuego pueden ser más significativos en zonas urbanas y en sus alrededores inmediatos, donde las personas ven afectados sus

sistemas de vida de manera abrupta, y en los beneficios o servicios ecosistémicos que dejan de percibir, con impactos inmediatos sobre la calidad del aire, la pérdida de infraestructura básica y la fuente de la actividad económica, que en muchos casos depende de la calidad del suelo, la calidad de las aguas y la vegetación. Al respecto, se estima que el asentamiento humano y la infraestructura incrustada en vegetación inflamable contribuyen a incendios económicamente desastrosos (Bowman et al. 2020).

Cuando las alteraciones no ocurren de manera natural, la restauración ecológica es necesaria para “encausar” el ecosistema dañado o destruido a un estado lo más parecido posible al que existía antes de la alteración y para ello es necesario conocer las condiciones previas a la alteración del ecosistema, ya que esto guiará el diseño de la restauración. Al respecto existen términos que denotan diferencias en énfasis y metodología (Jaksic and Fariña 2015), entre ellos;

- *Rehabilitación*, cuyo objetivo es la restitución de la función ecológica y no la estructura, composición o diversidad original del ecosistema, por lo cual sería posible restablecer la función ecológica de la vegetación utilizando especies exóticas al lugar, sin relación con el ecosistema original.
- La *restauración*, que busca el restablecimiento de una condición ambiental deseable para la sociedad y representativa de la condición previa a la perturbación, considerando varios objetivos, entre ellos; detener las causas que originaron la degradación, recuperar la vegetación y fauna propia de los ecosistemas históricos del área, facilitar y acelerar el proceso de sucesión ecológica, estimulando la regeneración natural, y promover acciones para la auto-recuperación que permitan al ecosistema sostener su condición en el futuro. En consecuencia, las acciones de restauración busquen generar un ecosistema más resiliente, es decir, que sea capaz de mantener su estructura, composición de especies y procesos ecológicos frente a variaciones ambientales, y que a la vez se integre dentro de un paisaje más amplio, adaptándose³.
- En cuanto a acciones de *remediación y reparación*, se considera que ambos términos referidos a actividades específicas que bien podrían ser parte de un Programa de restauración ecológica, pero con objetivos más restringidos. El término *remediación*, corresponde a la utilización de un proceso tecnológico o de ingeniería ambiental para reparar un tipo de daño específico; por ejemplo, la limpieza de un área que haya sufrido un derrame de petróleo. Y, por otro lado, la *reparación* referida a la sustitución de un ecosistema degradado por otro diferente al original mediante un trabajo de paisajismo o de ingeniería ambiental, con el fin de producir un ambiente con una condición estética o productiva deseada, y no necesariamente un ecosistema natural.

³ <https://restauracionecologica.mma.gob.cl/>

Actualmente en Chile, los daños ocasionados por los incendios del 2016-2017 han dado origen a acciones de restauración ecológica por parte del estado de Chile y privados. Es así como el año 2017, el Ministerio del Medio Ambiente creó el Comité Nacional de Restauración Ecológica (CNRE) para lograr la recuperación de los ecosistemas degradados y hoy en día se ejecutan 103 acciones de restauración en el país; 44 de ellas asociadas a incendios forestales⁴.

3.3 Análisis de cambio en el paisaje

La capacidad de los incendios forestales para modelar el paisaje, y los patrones y procesos ecosistémicos, genera múltiples efectos sobre el ecosistema, existiendo una diversidad de daños que se producen cuando el manejo del fuego es incapaz de controlar la propagación de los incendios. Como consecuencia del cambio de cobertura terrestre derivado de incendios a gran escala, se producen pérdidas de los servicios ecosistémicos que brindaban las tierras antes del incendio, siendo especialmente crítico cuando dichos incendios alcanzan áreas urbanas o áreas densamente pobladas (De la Barrera et al., 2018).

Para la evaluación del efecto del cambio de cobertura de suelo, entendemos la *cobertura del suelo* como al estado biofísico de la superficie de la tierra o las características del terreno; y el *uso de la tierra*, como la manera en que la sociedad utiliza el suelo para desarrollar actividades económicas. Por su parte, *el cambio en la cobertura del suelo* se define como la transformación de la apariencia física de un paisaje determinado y el *cambio en el uso de la tierra*, como los cambios en el manejo de la tierra y sus atributos (Montero and Viales 2015).

De acuerdo con la propuesta LUCC (Land Use/ Land Cover Change), la *cobertura del suelo* puede cambiar por dos procesos diferentes: *la conversión y la modificación*. La *conversión* referida al proceso deliberado de transformar una cobertura en otra, lo que conduce a cambios en los procesos socioeconómicos y ambientales. Y la *modificación*, referida al proceso en el cual se generan ciertos cambios en la cobertura, como resultado de transformaciones en las formas de manejo (Montero and Viales 2015).

La mayoría de las investigaciones sobre *cambio en la cobertura del suelo y uso de la tierra* se han basado en la modelación, entendiendo a los modelos como representaciones simplificadas de la realidad que se concentran en las relaciones determinantes del fenómeno estudiado. En este sentido, uno de los principales objetivos de la propuesta LUCC es obtener modelos de transformaciones regionales y globales del paisaje, para intentar predecir los cambios y el impacto de los

4

<https://gis.mma.gob.cl/portal/apps/webappviewer/index.html?id=9d2769ce2d8a40b0b1484794008a7159>

diferentes impulsores sobre la evolución de este. Los modelos sirven, por lo tanto, como un experimento para probar las nociones científicas de procesos fundamentales y para aumentar las comprensiones de las variables críticas y sus relaciones (Montero & Viales, 2015).

3.4 Evaluación de los servicios ecosistémicos

Los servicios ecosistémicos han sido clasificados mediante diferentes tipologías o formas, entre ellas, la Clasificación Internacional Común de Servicios de los Ecosistemas (CICES) considera tres categorías: servicios de provisión, regulación, culturales. Definidos los servicios de provisión, como aquellos productos que se obtienen de los ecosistemas, incluyendo los recursos genéticos, alimentos y agua potable. Los servicios de regulación, como los beneficios que se obtienen a partir de la regulación de procesos ecosistémicos, como la regulación climática, hídrica o la calidad del aire. Y los servicios culturales, como todos aquellos beneficios no materiales de los ecosistemas, como el enriquecimiento espiritual, la generación de conocimiento o recreación. Al respecto uno de los desafíos más relevantes en la evaluación de servicios ecosistémicos se relaciona con determinar la distribución espacial que estos poseen en el territorio (Esse et al. 2014).

De esta forma, el mapeo de SE y su representación espacial constituyen una herramienta muy importante para llevar los SE a una aplicación práctica. Los mapas pueden comunicar de manera eficiente información espacial compleja, resultando ser útiles para crear conciencia sobre áreas de oferta y demanda de bienes y servicios de los ecosistemas, y de este modo, la dependencia humana sobre el funcionamiento de la naturaleza (Burkhard y Maes 2017).

Mediante diversos estudios, se han definido metodologías para el mapeo de los servicios ecosistémicos, basado en distintos enfoques y criterios que permiten modelar su distribución, los servicios de regulación son los más comúnmente mapeados, seguidos de los servicios de aprovisionamiento, culturales y de apoyo (Martinez-Harms & Balvanera, 2012).

El mapeo de ecosistemas es aplicable a todas las escalas espaciales y temporales, a través de múltiples métodos de modelamiento y mapeo de servicios ecosistémicos, cuyas aproximaciones varían de acuerdo con el tipo de servicio, la disponibilidad de datos, la escala espacial de análisis y el objetivo del estudio (Maes et al. 2012). En este aspecto, se considera que una de las brechas más importantes en el mapeo de servicios ecosistémicos, tiene relación con un marco metodológico que integre variables biofísicas y la valoración perceptual de los actores locales presentes en el territorio, determinando así el nivel o valor de importancia de cada servicio (Esse et al., 2014).

Las interacciones entre escalas espaciales y temporales son relevantes a la hora de estudiar las perturbaciones del paisaje provocadas por el fuego, ya que permiten identificar los patrones de cambio en el régimen de incendios, proporcionando descripciones en su frecuencia, duración o estacionalidad. Estas propiedades están directamente condicionadas con los causantes del fuego (clima, combustible y topografía), los cuales no son estacionarios en el tiempo ni en el espacio y su conocimiento es fundamental para la correcta gestión de incendios (Falk et al., 2007).

3.5 Servicios ecosistémicos afectados por incendios

Los incendios afectan múltiples servicios ecosistémicos. En la literatura se han estudiado los efectos sobre la regulación del ciclo hidrológico y del flujo de agua (Balocchi et al. 2020); protección contra inundaciones y regulación del clima global, mediante la contribución de concentraciones de gases de efecto invernadero (Parrington et al. 2017; de la Barrera et al. 2018; Bowman et al. 2019); mantenimiento de especies y hábitats (Valencia et al. 2018), efectos en la calidad del suelo (Litton and Santelices 2003; Mataix-Solera and Cerdà 2009; Parise and Cannon 2012; Úbeda and Sarricolea 2016), entre otros.

En este trabajo se revisarán tres servicios ecosistémicos que satisfacen dos criterios, el primero es que son SE relevantes porque son severamente afectados por incendios, y el segundo es que existen metodologías para evaluarlos y representarlos de forma espacial.

3.5.1 Procesos de regulación y control de la erosión

Este servicio ecosistémico de regulación de la calidad del suelo (o protección del suelo) está asociado a evitar la erosión, que es la pérdida del suelo por la acción de los agentes naturales tales como el agua, viento y hielo. En terrenos cubiertos por vegetación casi no hay remoción de las partículas del suelo, o es tan leve, que se compensa con el aporte que proviene del material de origen subyacente. La erosión puede ser natural en el largo plazo, pero es grave cuando comienza cuando la mano del hombre altera estos procesos y además lo acelera, dejando expuestos los suelos, por cambio en las coberturas, a la acción directa de las gotas de lluvia y al arrastre posterior por las aguas de escurrimiento superficial. Esta acción origina una pérdida apenas perceptible, pero permanente de la porción más fina del suelo que corresponde a la parte orgánica y con minerales que forman la base de intercambio de nutrientes entre la solución del suelo y la cubierta vegetal.

Esta pérdida repercute en su baja fertilidad y producto de sus limitaciones, cambia su capacidad de uso, reduciéndose al empleo forestal, limitado o solo para la vida silvestre, e inhabilitado para el uso agrícola. Consumado así, el proceso lleva al abandono del suelo, por cuanto ya no es capaz de alimentar a la población actual, que tiende a emigrar de las áreas erosionadas, desplazándose a zonas que presentan

mejores condiciones, tanto agrícolas como económicas. Además, el suelo es arrastrado hacia las áreas más bajas, depositándose y formando sedimento inerte que desmejora las tierras de cultivo. Los elementos finos son arrastrados muy lejos, hasta llegar al mar, no sin antes embancar en ríos y puertos. El material arenoso es devuelto por el mar en la playa, donde al secarse, el viento lo arrastra hacia el interior del continente, formando allí las dunas litorales, comunes en toda la costa de Chile (IREN, 1965).

Cabe señalar que cuando el suelo se degrada, la capacidad del suelo para prestar diversos servicios resulta gravemente dañada. Además, cuando la degradación alcanza niveles graves, puede desembocar en la desertificación, un fenómeno que no sólo afecta a zonas áridas y que previsiblemente se acentuará debido al cambio climático. Además de cumplir funciones de producción de biomasa y fibra, alimentación, reciclado de nutrientes y filtración de aguas, banco de genes y archivo de nuestro patrimonio geológico y arqueológico, el suelo es fundamental para el ciclo planetario del carbono, constituyendo el segundo reservorio de materia orgánica en importancia, después de los océanos (Comunidades Europeas, 2009).

La erosión de los suelos en Chile constituye en la actualidad uno de los problemas ambientales más significativos del sector silvoagropecuario (Bonilla et al. 2010), especialmente porque el recurso suelo resulta ser no renovable a escala humana y es altamente vulnerable a actuaciones antrópicas y condiciones de variabilidad y cambio climático global. Sumado a ello, se deben considerar las importantes exigencias ambientales de los mercados internacionales en la producción de recursos naturales y los actuales desafíos del país en el campo del manejo sustentable, sujeto a la "Convención Internacional de lucha contra la desertificación" de las Naciones Unidas (CIREN 2010).

3.5.2 Procesos de Regulación del ciclo hidrológico y flujos de agua

Este servicio ecosistémico de regulación hídrica se refiere a la proporción de las precipitaciones que pueden ser interceptadas e infiltradas en napas subterráneas, contribuyendo al constante flujo de agua como escorrentía superficial. El proceso de regulación hídrica comienza con la intercepción de la precipitación incidente por el dosel de la vegetación, donde una gran proporción se pierde por evaporación. El agua residual de esta etapa fluye a través del escurrimiento fustal, acoplándose a la precipitación directa la cual no es interceptada y llega directamente al suelo, donde una proporción fluye como escurrimiento superficial, otra se infiltra y se almacena en el suelo, quedando disponible para las plantas y el resto se acumula en napas subterráneas. Por ende, la regulación y almacenamiento de agua dependerá de estos procesos circunscritos al balance hídrico, donde el tipo de vegetación (v.g., tasas de evapotranspiración) y las características físicas del suelo (v.g., infiltración) condicionan la capacidad de regulación (Jullian C. et al. 2018).

El flujo de agua a través de un paisaje puede estar influenciado por los siguientes procesos naturales, todos los cuales contribuyen al almacenamiento de agua y por lo tanto a la reducción de la escorrentía superficial: interceptación por la vegetación, almacenamiento en cuerpos de agua superficiales, infiltración y retención en el suelo y percolación a los depósitos de agua subterránea. Además de estos procesos, la cantidad de agua que se pueda retener también se verá afectada por la pendiente del paisaje y por el grado de permeabilidad del suelo. Las pendientes más pronunciadas promoverán una escorrentía superficial más rápida, mientras que las áreas más planas permiten un mayor tiempo para la infiltración del agua. La retención de agua en la vegetación, las masas de agua superficiales, el suelo y el lecho rocoso (depósitos de agua subterránea) se consideran factores de almacenamiento del paisaje, que en su combinación representarían la retención relativa del agua del paisaje o, más bien, la capacidad del ecosistema para proporcionar la regulación del agua como un servicio (Burkhard y Maes 2017; Capítulo 5.5.1).

Entre los efectos que genera un incendio en la cobertura vegetal de los suelos, provoca cambios en los procesos de interceptación, infiltración de las lluvias y en la evapotranspiración. Además, luego de los incendios, la estructura del paisaje tiende a homogenizarse; los flujos del agua y nutrientes se ven alterados, la proporción de suelo desnudo, y por lo tanto la escorrentía y la producción de sedimentos, provocando todo ello un aumento del riesgo por inundaciones y deslizamientos muy superior al de las cuencas no quemadas (Kane et al., 2013).

3.5.3 Características de los sistemas vivos que posibilitan experiencias de recreación.

Estos servicios culturales se consideran productos de ecosistemas intangibles que permiten una variedad de actividades experimentales e intelectuales. El enfoque de estas prácticas como SE surge al identificar las características de los ecosistemas que posibilitan beneficios para disfrutar. Esto es coincidente con otras clasificaciones que lo denominan directamente como "servicios de recreación" para referirse al placer recreacional de las personas derivado de los ecosistemas naturales o cultivados o como SE cultural de uso directo, donde las personas usualmente eligen pasar su tiempo de ocio en ecosistemas con características específicas que permiten, facilitan o apoyan esas actividades o sentimientos (Arriagada and Aguayo Arias 2018).

El uso de estos SE ha ido en aumento, pero la capacidad de los ecosistemas de proveer beneficios culturales ha ido disminuyendo significativamente en el último siglo. La degradación de estos beneficios se ha manifestado a través de cambios en los ecosistemas o por medio de cambios en la sociedad que reduce el reconocimiento o aprecio de la gente de esos beneficios culturales, considerando que, además, se ha presentado una disminución en la cantidad y calidad de los paisajes naturales estéticamente agradables.

Se estima que la rápida pérdida de ecosistemas y paisajes de valor cultural puede contribuir a trastornos y la marginación social. Sin embargo, dentro de los servicios culturales, los SE de recreación y turismo están generalmente en buenas condiciones y en crecimiento, pero el mal manejo de las actividades turísticas y recreativas pueden eventualmente reducir la capacidad que tienen los ecosistemas de proveer estos servicios (Arriagada & Aguayo Arias, 2018).

Desde la perspectiva de SE la evaluación espacial de la recreación y el ecoturismo ha seguido diferentes enfoques, dentro de ellos el mapeo de valores de recreación y paisaje a través de la participación de las partes interesadas. Aun así, la evaluación de los SE es subjetiva y cargada de valor, ya que cada individuo o cada grupo de individuos tiene diferentes sistemas de valores y demandas (MEA, 2005). Al respecto existe una clara distinción entre las condiciones del ecosistema (funciones), su contribución directa (servicios) y las ganancias en bienestar que generan (beneficios), todos ellos aspectos fundamentales para una adecuada evaluación de SE (Burkhard y Maes 2017).

Los atributos que influyen en la provisión de servicios culturales se relacionan con las dimensiones ecológicas (ecosistema y paisaje) e institucional (territorio), las que definen la magnitud y distribución espacial de la recreación y el ecoturismo. La dimensión del ecosistema comprende los componentes físicos, biológicos y químicos que al interactuar permiten que el ecosistema realice ciertas funciones. Las funciones del ecosistema, a su vez, determinan la capacidad del sistema para proporcionar servicios y beneficios a los usuarios humanos (Haines-Young & Potschin, 2010). A su vez, la dimensión del paisaje se entiende como una construcción humana y existe en la medida en que alguien la interpreta para desarrollar un propósito (por ejemplo, económico, estético o recreativo). Finalmente, la dimensión territorial representa los esfuerzos que las instituciones encarnan para poner en valor atractivos naturales que brinden más facilidades a los recreacionistas para disfrutar de los lugares (Nahuelhual et al., 2013).

IV. ÁREA DE ESTUDIO

Los mayores eventos en términos de afectación provocada por los megaincendios del año 2017 se concentraron en la zona central del país (33°-37° S), afectando principalmente las regiones de O'Higgins, Maule y Biobío.

Particularmente, el complejo de incendios denominado como "Las Máquinas" en la Región del Maule, fue uno de los de mayor impacto, afectando diferentes ecosistemas, principalmente costeros, de las comunas de Cauquenes, Constitución, Chanco, San Javier y Empedrado. En razón a su superficie, esta última comuna, resulta ser una de las más afectada en términos de extensión con 48.216 ha

equivalente al 85% de su superficie, lo anterior de acuerdo con un análisis realizado por imágenes Sentinel 2 en el marco del proyecto Fondecyt 11190530.

Para el análisis del *daño ambiental*, se seleccionó como área de estudio la subcuenca costera del Río Reloca y Estero Empedrado (Ver imágenes N°1 a la N°8), que nace en los derrames occidentales de la Cordillera de la Costa, denominada en este punto "Cerro Name" (ver **Imagen N ° 3**) en la comuna de Cauquenes, con una elevación aproximada de 835 m y cuyo cauce principal, nace en el desagüe del "Humedal Ciénagas del Name" (ver **Imagen N ° 1; Imagen N ° 2**) ; 35°45´S; 72°13´O, que yace al lado oeste del mismo cerro.

Figura N ° 2: Incendios 2016-2017 en Chile central. A la derecha Incendio de Maquinas.
Información asociada al Proyecto Fondecyt 11190530.

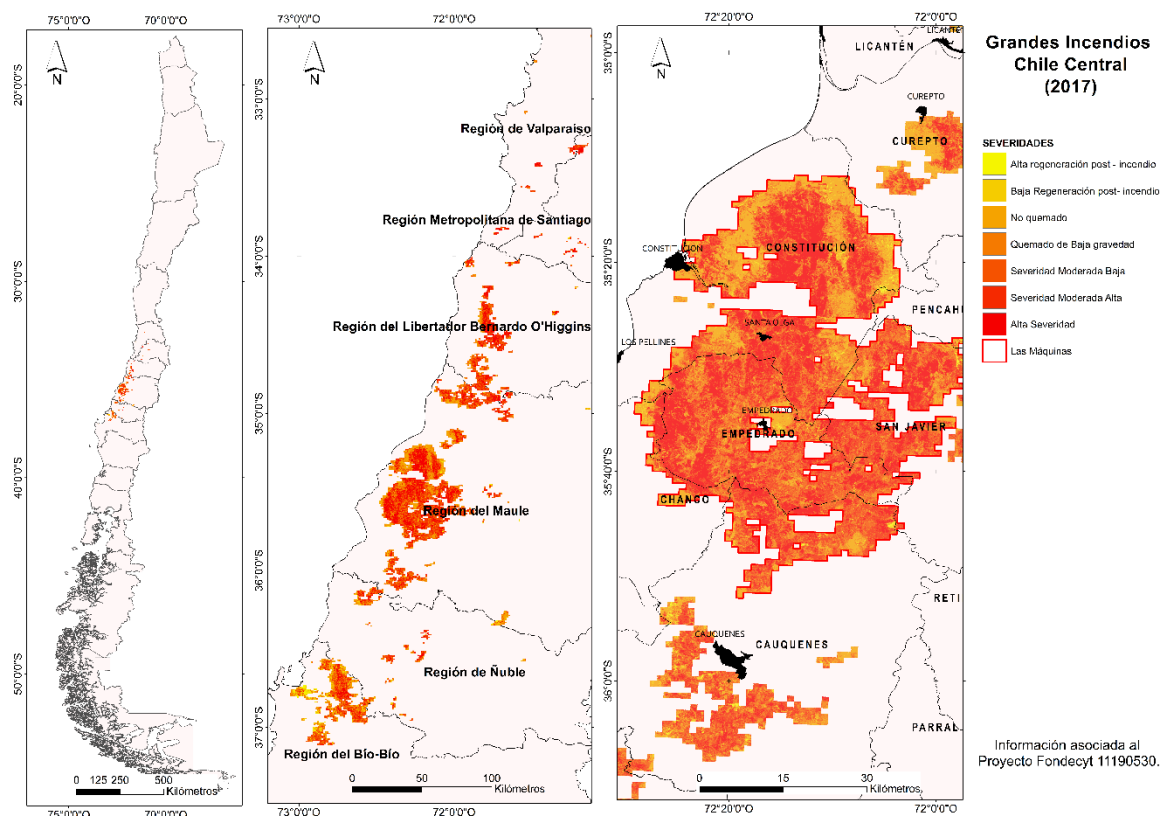




Imagen N ° 1: "Humedal Ciénagas del Name" (enero,2021).



Imagen N ° 2: "Humedal Ciénagas del Name" (enero,2021).



Imagen N ° 3: "Cerro Name".



Imagen N ° 4: Ruta M-450 Salida poniente Empedrado.



Imagen N ° 5: Ruta M-450 Empedrado.



Imagen N ° 6: Rio Reloca Ruta M-450



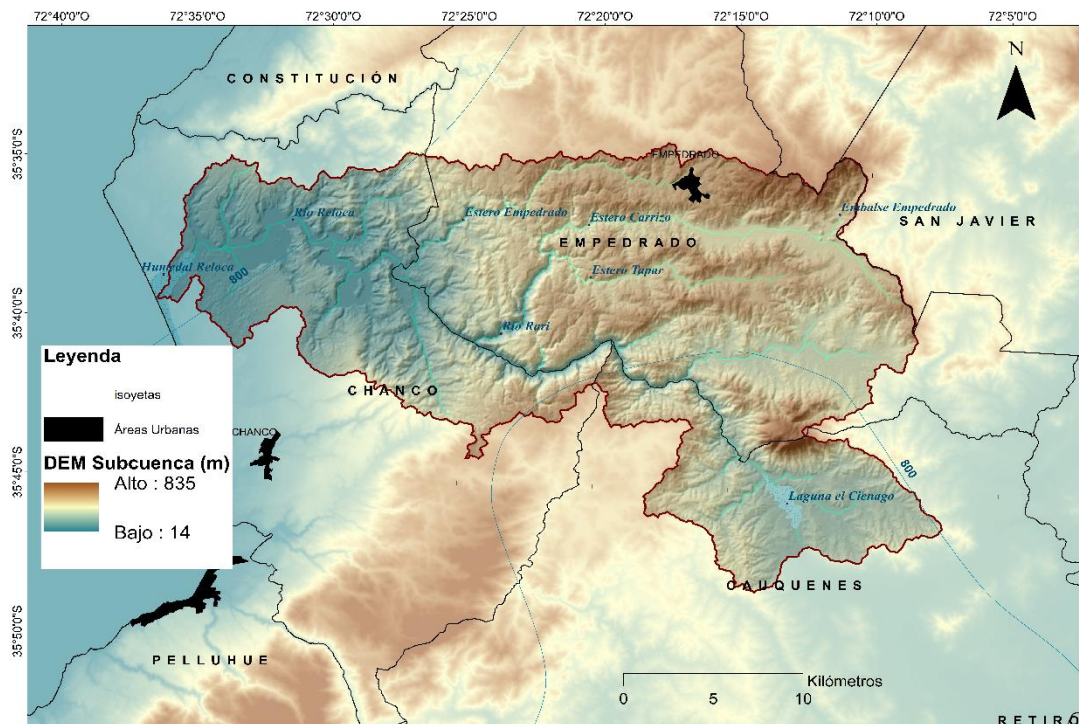
Imagen N ° 7: Rio Reloca en Humedal costero Reloca.



Imagen N ° 8: Embalse empedrado

La subcuenca costera posee una superficie aproximada de 618 km² y su cauce principal el Río Reloca (ver **Imagen N ° 6**; **Imagen N ° 7**) tiene una longitud aproximada 64 km, con una densidad de drenaje relativamente baja, se desarrolla en dirección poniente, pasando por la comuna de Empedrado, para finalmente desembocar en el “Humedal estuarino de Reloca”, en la comuna de Chanco. Su régimen pluvial es esporádico, asociado a quebradas y esteros que escurren principalmente desde el Cerro el Name (Solano Asta-Buruaga y Cienfuegos, 1899; (Ramírez et al., 2014).

Figura N ° 3: Área de estudio, Sub- cuenca de Empedrado, Región del Maule.



La zona posee un clima mediterráneo (Csb) templado con estación seca en verano de condiciones térmicas suaves e influencia costera, según la clasificación de Köppen-Geiger modificada por Sarricolea et al. (2017). El régimen pluviométrico es irregular, extendiéndose los meses secos (cuando la evaporación es mayor que la precipitación) desde octubre a marzo y los meses húmedos (con mayor precipitación que evaporación) desde abril a septiembre, en esta última época con heladas frecuentes (Novoa & Villaseca 1989).

En cuanto a su medio humano, se estima que el área de estudio contaría con una población aproximada de 50.000 personas, correspondientes a la población comunal de las comunas de Cauquenes, Chanco y Empedrado (Censo 2017). La actividad económica de la comuna de Empedrado está casi exclusivamente relacionada con la actividad forestal, considerando el acceso a bonificaciones por concepto del DFL701 administrado actualmente por CONAF (PLADECO Empedrado, 2014-2018), mientras que en Cauquenes el desarrollo económico, es en torno a la agricultura y el comercio.

V. METODOLOGÍA

5.1 Análisis de afectación de la estructura

La cobertura del suelo y sus usos son los principales determinantes de la estructura, funciones y dinámica de la mayoría de los paisajes en el mundo (Esparza 2017) y la teledetección facilita la discriminación de diferentes tipos de cobertura del suelo, mediante las diferentes combinaciones de bandas multiespectrales sensibles a cada tipo de estructura. Al respecto, las imágenes satelitales contribuyen a estudiar la estructura y dinámica del paisaje, junto con el impacto de los incendios en la vegetación (Navarro et al., 2008).

Considerando los daños en los ecosistemas que dejaron los incendios que afectaron a la Región del Maule en el verano de 2016-2017, se consideró como base del análisis la información disponible y proporcionada por el proyecto de investigación, correspondiente a las clasificaciones de suelos para los periodos analizados, junto con las áreas de incendiadas, determinadas mediante al cálculo de índices espectrales, NBRI, Normalized Burn Ratio o índice normalizado del área quemada, todos ellos calculados en la plataforma de Google Earth Engine, utilizando imágenes Sentinel 2 (Mancilla, 2020).

Tabla N ° 1: Datos proporcionados por el proyecto Fondecyt N ° 11190530.

DATOS	FUENTE DE DATOS
Clasificación de uso de suelo (periodo 2016)	Imagen Sentinel 2 Periodo 2016-02-01; 2016-03-31
Clasificación de uso de suelo (periodo 2018)	Imagen Sentinel 2: Periodo 2018-01-01; 2018-01-31.
Clasificación de uso de suelo (periodo 2020)	Imagen Sentinel 2: Periodo 2020-02-01; 2020-03-31
Áreas Incendiadas (NBRI)	Imagen Sentinel 2: índices NBRI y NDVI

5.2 Análisis espacio Temporal

Para la determinación del daño ambiental, fue necesaria la definición de un estado de referencia, previo al impacto provocado por el incendio forestal, lo que estuvo condicionado a la disponibilidad de datos, principalmente hidrológicos para el área de estudio.

De esta forma, se consideraron tres escenarios para la representación del cambio provocado por el incendio de enero del 2017: (1) Un escenario inicial, previo al impacto, correspondiente al año 2016; (2) Un escenario representativo de la condición inmediata post- incendios, en este caso el año 2018; y (3) un escenario posterior al impacto, año 2020. (Ver **Figura N ° 4**).

Las diferentes clases de uso de suelo/coberturas fueron extraídas de la clasificación supervisada realizada en la plataforma Google Earth Engine, en base a imágenes satelitales Sentinel 2, con una resolución de 10 metros, agregando también los índices NBRI y NDVI para ayudar en la precisión de las clasificaciones, esto para los años 2016, 2018 y 2020 respectivamente.

Mediante el análisis de cambio de coberturas, fue posible identificar unidades homogéneas del paisaje, comprender su funcionamiento y con ello la determinación de los componentes afectados. Las clases de coberturas o usos seleccionados para el área de estudio fueron; matorrales, bosque nativo, suelo agrícola, plantaciones, suelos con escasa o nula vegetación, suelos impermeables, praderas, áreas quemadas de baja/alta intensidad, cuerpos de agua y humedales.

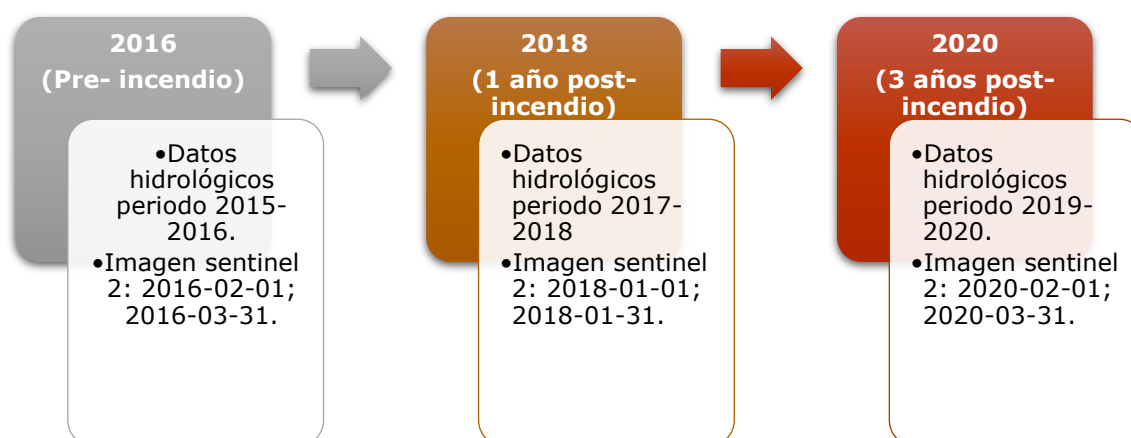
Los datos pluviométricos para el área de estudio fueron obtenidos a partir de los datos de estaciones de la Dirección General de Aguas (DGA) y de la red agrometeorológica del instituto de investigaciones agropecuarias (INIA); utilizando valores de precipitación mensual obtenidos de estaciones meteorológicas

representativas para el área de estudio, cuyos valores fueron interpolados mediante método IDW en ArcGIS.

Tabla N ° 2: Estaciones utilizadas para interpolar datos de precipitaciones y Factor R

N °	Nombre de la Estación	Latitud	Longitud
1	LA ESTRELLA	35.78° S	72.19° O
2	LOS HUINGANES EN CURYPEUMO	36.02° S	71.98° O
3	RIO CLARO EN RAUQUEN	35.45° S	71.73° O
4	RIO LONCOMILLA EN LAS BRISAS	35.62° S	71.77° O
5	NIRIVILO	35.54° S	72.09° O
6	RIO MAULE EN FOREL	35.41° S	72.21° O
7	MELOZAL	35.79° S	71.77° O
8	CONSTITUCION	35.34° S	72.42° O
9	PUTU	35.22° S	72.28° O
10	QUELLA	36.06° S	72.09° O
11	EL ALAMO	36.11° S	72.42° O
12	GUALLECO	35.25° S	71.98° O
13	TUTUVEN EMBALSE	35.90° S	72.38° O
14	PARRAL	36.19° S	71.83° O
15	CHANCO	35.70° S	72.51° O
16	CAUQUENES	35.71° S	72.11° O

Figura N ° 4: Escenarios definidos para el análisis del daño.



5.3 Análisis de servicios ecosistémicos.

La selección de SE a analizar consideró los daños en los ecosistemas que dejaron los incendios que afectaron a la Región del Maule en el verano de 2016-2017 y la información del proceso de "Planificación ecológica de la infraestructura ecológica de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos y programa regional de prioridades de restauración ecológica en el contexto de los incendios de la temporada 2016-2017: aplicación en Región de Maule". En dicho trabajo se identificaron tres objetivos de restauración para la Región del Maule, (1) Recuperar la provisión de servicios ecosistémicos hídricos, (2) Recuperar la productividad de suelo y (3) Recuperar la funcionalidad de los ecosistemas para proveer hábitat (Echeverría et al. 2018). Se seleccionaron para el siguiente análisis, dos servicios de regulación y uno cultural, éste último, capaz de recoger la percepción de las personas del lugar.

De este modo, para los SE de regulación hídrica y de suelo, se acudió al uso de modelos espacialmente explícitos, lo que permitió explicar de manera más realista los posibles mecanismos que se generan en la distribución de un servicio ecosistémico. En cuanto a los SE culturales, la utilización de una encuesta aplicada a actores relevantes del área de estudio, apoyado en un ejercicio de mapeo, permitió identificar oportunidades de recreación para el área de estudio, así como la valoración en su afectación.

Finalmente, durante los días 18, 19 y 20 de enero del año 2021 se visitó el área de estudio, con el objeto de identificar algunos de los efectos evaluados mediante los modelos generados, tales como el reconocimiento de áreas erosionadas y la presencia de cursos de agua, así como la aplicación una encuesta a actores del área de estudio.

Los detalles metodológicos para cada uno de los métodos se definen en los siguientes capítulos.

Tabla N ° 3: Descripción de la metodología para evaluar Servicios ecosistémicos

Servicios ecosistémicos (SE)	Tipo SE	Método
Procesos de regulación y control de la erosión	Regulación	Modelo RUSLE
Regulación del ciclo hidrológico y los flujos de agua	Regulación	Modelo Open Nspect
Características de los sistemas vivos que permiten experiencias de recreación.	Culturales	Encuesta de valoración de servicios culturales.

5.3.1 Procesos de regulación y su efecto en la erosión suelo

El mapeo de la protección del suelo se basa en gran medida en el mapeo de la erosión del suelo. Para esto la ecuación revisada de pérdida de suelo universal (RUSLE) (Renard et al. 1997), estima las pérdidas de suelo anuales, como el valor promedio de un periodo representativo de años, que se producen en una parcela o superficie de terreno debido a la erosión superficial, laminar y en regueros, ante determinadas condiciones de clima, suelo, relieve, vegetación y uso del suelo. (González Del Tanago, 1991).

La aplicación de la ecuación considera a las precipitaciones como el principal agente activo de erosión superficial, estableciendo así que las pérdidas de suelo anuales son directamente proporcionales al índice de erosividad de las lluvias, relacionado con la energía cinética de cada lluvia y su intensidad máxima. De esta forma, las mismas condiciones de erosividad de las lluvias podrán producir erosiones diferentes según las características del suelo donde actúan, reconociendo una serie de características propias del suelo que determinarán su erodabilidad vulnerabilidad a la erosión, relacionadas con su textura, estructura, contenido de materia orgánica y permeabilidad.

Asimismo, el suelo expuesto a las mismas lluvias sufrirá intensidades de erosión distintas según se encuentre en la parte alta, media o baja de la ladera, y según su pendiente. Finalmente, la erosión dependerá también, del tipo de vegetación que protege el suelo, las prácticas de cultivo, entre otras. En este sentido, se considera que tanto la acción del relieve como de la cubierta vegetal, matizarán la acción erosiva de las lluvias sobre cada suelo, dando por resultado tasas de erosión distintas en cada caso (Gonzalez del Tanago, 1991).

El modelo de RUSLE es ampliamente utilizado para proporcionar información útil y estimar la pérdida de suelo promedio anual, lo que integrado a Sistemas de Información Geográfica (SIG) ha demostrado ser un método efectivo para estimar la magnitud y la distribución espacial de la erosión del suelo (Nasir y Selvakumar, 2018: 1122).

Con el modelo RUSLE se puede estimar la tasa anual promedio de pérdida de suelo y se puede establecer la distribución espacial, bajo un enfoque cuantitativo y consistente para estimar la erosión del suelo y establecer su distribución espacial en distintos sistemas y escenarios de cambio (Farhan & Nawaiseh, 2015).

De esta forma, la aplicación de la ecuación universal de pérdida de suelo revisada RUSLE en los tres escenarios definidos (ver **Figura N ° 4**), utilizó el grado y distribución espacial de la pérdida de suelo en la cuenca, como indicador del daño ambiental provocado por los incendios forestales.

La pérdida por erosión de suelo se predijo celda por celda (tamaño 30x30 m) y antes de ello las características físicas de estas celdas tales como la pendiente, uso de suelo y tipo de suelo, todo lo cual afecta los procesos de erosión del suelo en las diferentes celdas de la cuenca. Dicho procedimiento se considera esencial para crear un entorno de análisis espacial uniforme para el modelado de SIG. Así, la pérdida promedio anual de suelo (*A*) en toneladas por año, se cuantificó usando *RUSLE*, expresada mediante la siguiente ecuación (Renard et al.1997):

$$A = R \times K \times LS \times C \times P \text{ (Ecuación } \textit{RUSLE})$$

Donde **A** representó el valor promedio de las pérdidas de suelo anuales [Ton/ha/año] en función del índice de erosividad de la lluvia **R**, la erodabilidad del suelo **K**, un factor de relieve **LS**, un factor de cubierta vegetal **C** y factor de prácticas de conservación de suelos **P**, los cuales se describen a continuación:

- La Erosividad de la lluvia, Factor *R* a [MJ mm ha⁻¹ hr⁻¹ año⁻¹] que explica la incidencia de la cantidad e intensidad de lluvia sobre la pérdida y arrastre del suelo, para lo cual se trabajó con el índice modificado de Fournier, propuesto por Arnoldus (1980) y método de interpolación IDW (ArcGIS 10.4).

$$IFM = \sum_{i=1}^{12} \frac{P_i^2}{P}$$

Donde:

IFM: Índice modificado de Fournier

P_i: Precipitación del mes *i* en mm

P: Precipitación total anual, en mm

Los datos pluviométricos se obtuvieron de estaciones de la Dirección General de Aguas (DGA) y de la red agrometeorológica del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA); utilizando valores de precipitación mensual obtenidos de 16 estaciones meteorológicas representativas para el área de estudio, para los periodos hidrológicos (2015-2016;2017-2018;2019-2020).

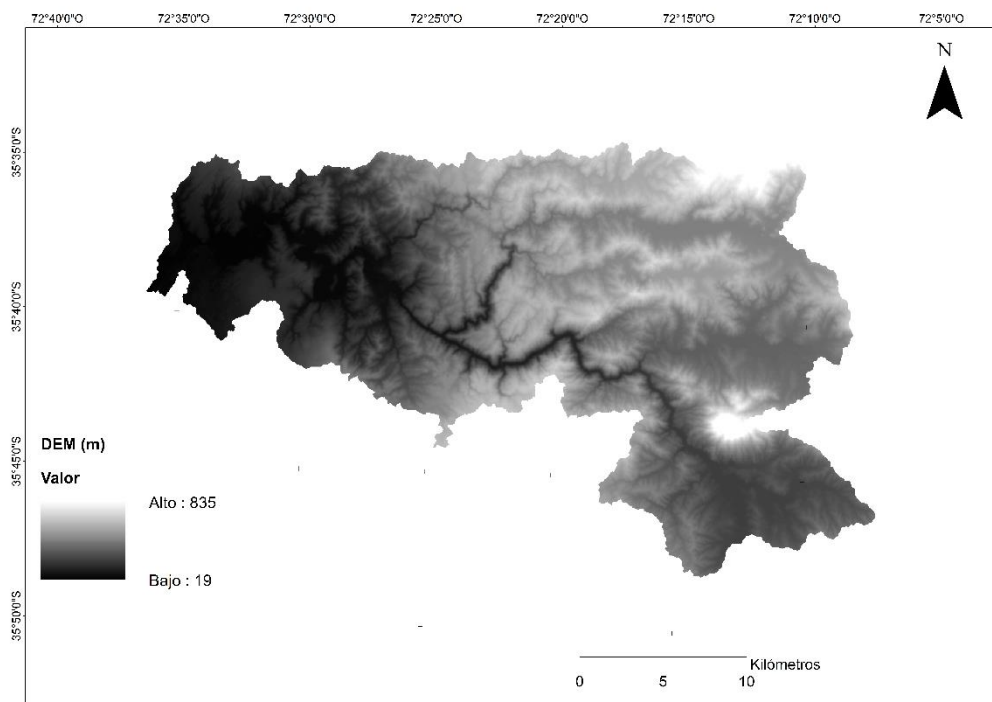
- La erodabilidad del suelo *K* [(ton ha⁻¹) / (MJ mm ha⁻¹ hr⁻¹)], explica que tan susceptible a erosionarse es un suelo, lo cual está directamente relacionado con sus características fisicoquímicas. El factor *K*, se obtuvo a partir de las series de suelo de la Región del Maule, extraídas del estudio agrológico de suelos (CIREN, 1997) y calculado mediante la ecuación y nomograma propuestos por Wischmeier y Smith (Wischmeier y Smith 1978; Mannaerts 1999).

$$K = \frac{\left[\left(2.1 * 10^{-4} * (12 - OM) * M^{1.14} + 3.25(S - 2) + 2.5(P - 3) \right) \right]}{100}$$

Donde K es el Factor de erodabilidad de suelo [(ton ha-1) / (MJ mm ha-1 hr-1)], donde OM corresponde al % de Materia orgánica, S es el Código de estructura de suelo, P el Código de permeabilidad y M el Producto entre las fracciones de tamaño de las partículas primarias del suelo (% limo+% arena muy fina) *(100-% arcilla).

- La influencia del relieve se expresó a través del factor topográfico (LS), adimensional, resultante de la combinación de la inclinación de la pendiente (S) relacionada con el efecto del gradiente de la pendiente sobre la erosión, con la longitud de la pendiente (L) definida como la distancia horizontal atravesada desde el origen del flujo superficial hasta el punto donde ocurre la deposición. Así, a medida que aumenta la longitud de la pendiente (L) e inclinación de la pendiente (S), la pérdida total por erosión del suelo por unidad aumenta, como resultado de la acumulación progresiva de escorrentía en la pendiente descendente. Para ello se trabajó con un modelo digital de elevación del terreno (MDT), Imagen ALOS PALSAR DEM procesada en ArcGIS 10.4

Figura N ° 5: Modelo de elevación Digital Alos Palsar DEM.

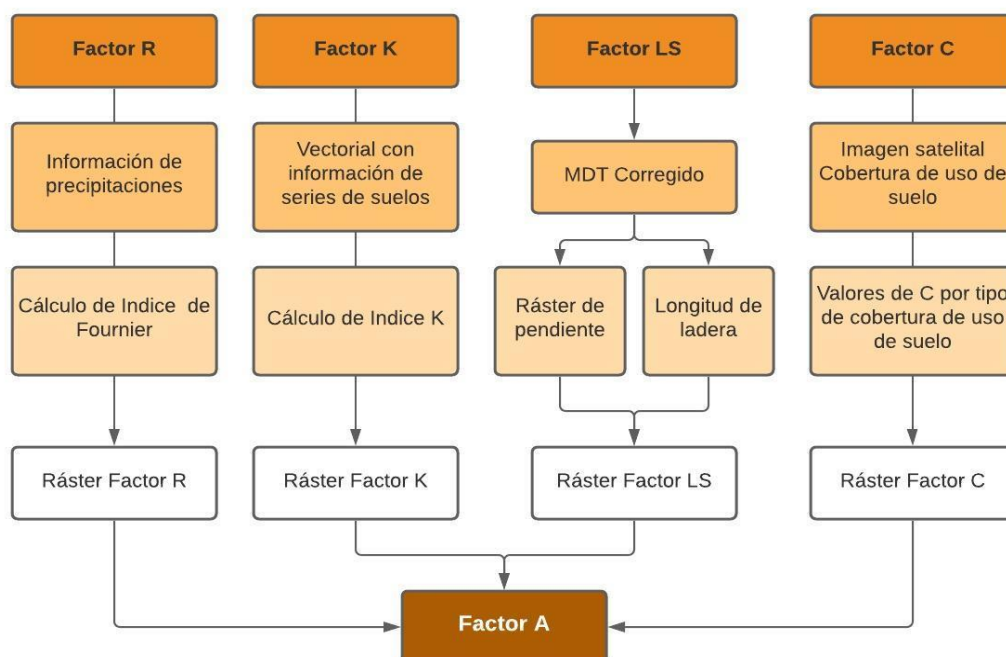


- El factor de cubierta vegetal (C) adimensional, se relaciona con la cubierta vegetal y con el grado de protección que otorga cada cobertura en relación con la pérdida de suelo, la cubierta vegetal normalmente disipa la energía cinética de las gotas de lluvia antes de impactar la superficie del suelo. Valores más cercanos a 0, resultan ser más efectivos y los cercanos a 1, asociados a suelo desnudo, menos efectivos. Las coberturas fueron obtenidas a través de imágenes satelitales Sentinel 2, reclasificadas por método supervisado. Los valores del factor C, para cada una de estas clases fueron estimados a partir de diversos trabajos realizados en Chile, considerando para ello los trabajos de (Fuentes, 2013) y (Cubillos, 2020) (Ver Anexo1: **Tabla N ° 8:** Valores de calibración para coberturas de uso de suelo y curva número según textura de suelo.).

- El factor de prácticas de control y conservación de suelos (P) que, para efectos de este trabajo, fue asignado un valor de 1, dado a que no existe información para la zona.

Finalmente, la ecuación fue aplicada a la cuenca del área de estudio a través de la multiplicación de capas de mapas de factores en un SIG, generando la distribución espacial de la pérdida por erosión de suelo y las severidades, lo anterior en tres escenarios distintos (2016-2018-2020), representativos para evento escogido en el área de estudio, evaluando así el impacto de los incendios del 2017 en cambio de coberturas y de esta forma, en la pérdida de suelo. Con software ArcGIS 10.4.se procesaron los distintos factores de la ecuación.

Figura N ° 6: Diagrama metodológico RUSLE.



En relación con la determinación del daño ambiental, se realizará un análisis cuantitativo para los valores de A [ton/ha/año] obtenidos en los distintos periodos o escenarios determinados; A 2016; A 2018; A 2020. Lo anterior a través de la variación porcentual en las tasas de erosión promedio y la determinación de los distintos niveles de erosión para los periodos observados (Itzel 2013; Vidal, 2014):

Tabla N ° 4: Niveles de erosión [ton/ha/año] FAO (1979).

Nivel	A [ton/ha/año]	Descripción
Muy grave	>200	Procesos erosivos extremos
Grave	50-200	Procesos erosivos graves y muy graves.
Moderada	10-50	Procesos erosivos leves y moderados.
Leve	0-10	Niveles de erosión bajos y pérdidas de suelo que pueden ser tolerables.

Finalmente, los resultados de la metodología aplicada fueron revisados en terreno, con el fin de lograr identificar los espacios con mayor nivel de erosión de acuerdo con el modelo y su situación actual.

5.3.2 Procesos de Regulación del ciclo hidrológico y flujos de agua

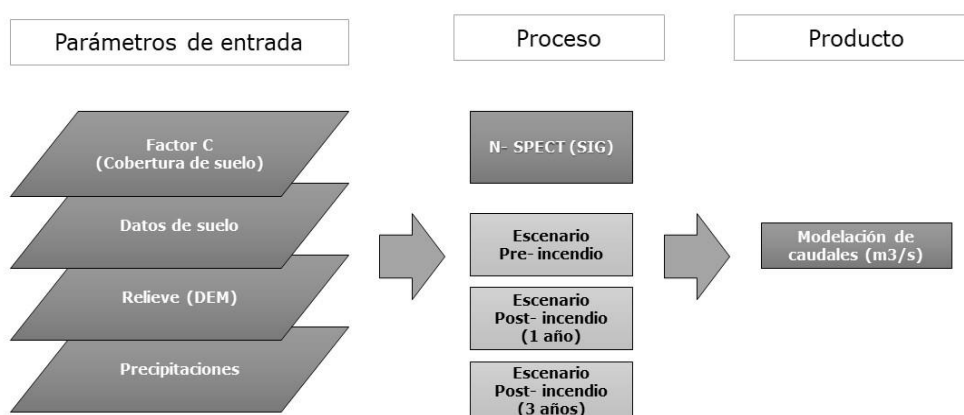
Para la evaluación de este servicio ecosistémico de regulación hídrica se requirió la modelación del sistema hidrológico-terrestre del área de estudio, con el objeto de mapear los volúmenes de escorrentía superficial. El modelo hidrológico, buscó representar los procesos involucrados en la distribución de la lluvia y la generación de caudales de la cuenca hidrográfica abastecedora del recurso (Esparza, 2017).

El modelo espacialmente explícito utilizado, corresponde a la herramienta en versión de código abierto NSPECT (*Nonpoint Source Pollution and Erosion Comparison Tool*) para la comparación de erosión y contaminación para fuentes difusas, desarrollado por la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de los Estados Unidos (NOAA, por sus siglas en inglés). OpenNSPECT opera como complemento del software también de código abierto MapWindow GIS. La herramienta está diseñada para ser aplicable tanto a áreas costeras como áreas no costeras, permitiendo simular la erosión, la contaminación y la acumulación de flujo terrestre. Las características de OpenNSPECT⁵ permite mapear los volúmenes de escorrentía superficial, así como también contaminantes y cargas totales de sedimentos, además de analizar escenarios e impactos de cambio de uso de la tierra, permitiendo cartografiar su distribución espacial en la tierra y en la interfaz costera (ValuES, 2019).

⁵ <https://coast.noaa.gov/digitalcoast/tools/opennspect.html>

Para el análisis espacio temporal de este servicio ecosistémico de regulación hídrica, se evaluó el efecto del cambio de coberturas de suelo provocado por los incendios forestales, y su efecto sobre la escorrentía superficial originada en el área de estudio, evidente en los pixeles de mayor acumulación. El análisis es realizado en los tres escenarios definidos para esta metodología (ver **Figura N ° 4**). La aplicación del modelo se realizó en base a la metodología desarrollada por Fuentes et al. (2017), Campos (2019) y Muñoz (2019).

Figura N ° 7: Esquema metodológico para modelar caudales.



5.3.2.1 Parametrización de N-SPECT

a) Factor de Cobertura de suelo (C)

La cubierta vegetal es el elemento natural de protección del suelo frente a la fuerza erosiva de las precipitaciones, controlando no sólo la energía con la que llegan las gotas de lluvia a la superficie del suelo, sino la velocidad de la escorrentía superficial (Gonzalez del Tanago, 1991, p. 22).

El factor de cobertura es definido como la proporción de pérdida de suelo de la tierra en condiciones específicas de vegetación o mantillo a la correspondiente pérdida del suelo labrado y desnudo. Una cubierta más densa ralentiza el agua y evita que fluya por una pendiente, llevando rápidamente sedimentos. Cuanto más bajo es el factor, mejor es la cubierta vegetal para prevenir la erosión. Cuanto más alto sea el factor, más erosión resultará en esa área. Por ejemplo, los pastizales generalmente tienen un factor de cobertura mucho más bajo que la tierra desnuda porque la vegetación ayudará a prevenir la erosión del suelo.

Los valores de los coeficientes de cada una de las clases de uso de suelo/coberturas, fueron estimados a partir de diversos trabajos realizados en Chile, considerando para

ello los trabajos de (Fuentes R., 2013) y (Cubillos, 2020) (Ver **Anexo 1; Tabla N ° 8**).

b) Datos de suelo

De acuerdo con los requerimientos del software, los datos de suelo fueron proporcionados a través de un archivo shapefile representando las unidades de suelo o series de suelo presentes en el área de estudio, incluyendo dos tablas de datos necesarios para ejecutar OpenNSPECT. La tabla que contiene los atributos hidrológicos del grupo de suelos y la tabla de horizontes que contiene el factor K descrito en el capítulo anterior (ver capítulo 5.3.1, Factor K).

b.1 Grupos hidrológicos de suelo

Este parámetro está relacionado con el método de la curva número desarrollado por el Servicio de Conservación de Recursos Naturales de Estados Unidos. El grupo hidrológico es un atributo que se deduce a partir de la textura de cada una de las series de suelo y se asigna de acuerdo con las tasas de infiltración del suelo, información proveniente del estudio agrológico de suelos de la región del Maule (CIREN 1997). Para efectos del software, estos se agrupan en cuatro categorías, de la A (valor 1) a la D (valor 4), basadas en la infiltración decreciente (A = infiltración alta, D = infiltración muy lenta).

b.2 Factor de Erodabilidad del suelo (K)

El Factor K del suelo corresponde a la cantidad de suelo perdido por unidad de energía erosiva en la lluvia $[(\text{ton ha}^{-1}) / (\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ hr}^{-1})]$, asumiendo una parcela de investigación estándar. Este factor permite cuantificar la susceptibilidad de las partículas del suelo, al desprendimiento y movimiento por el agua y corresponde al utilizado en la RUSLE (Ver **Capítulo 5.3.1**), la erodabilidad del suelo dependerá de la capacidad de infiltración del suelo y su estabilidad estructural.

Una baja capacidad de infiltración causaría mayor escorrentía superficial y es menos probable que la superficie se estanque, lo que hace que el suelo sea más susceptible a las salpicaduras. Algunas de las propiedades que crean un alto valor de factor K son altos contenidos de limo y arcilla, o suelo impermeable (NOAA, 2014).

c) Relieve

Para representar el relieve de la cuenca y calcular la dirección y acumulación de flujo, se utilizó un ráster de elevación, modelo de elevación digital del Terreno ALOS PALSAR DEM, correspondiente a una imagen satelital de alta resolución obtenida

partir de información SAR, con una resolución de 30 metros, la cual es uno de los múltiples recursos cartográficos disponibles dentro de los productos del satélite ALOS de Agencia Japonesa de Exploración Aeroespacial (JAXA), que capturó imágenes radar entre 2006 y 2011.

d) Precipitaciones

Los datos de precipitaciones mensuales fueron recogidos desde las estaciones meteorológicas (pluviométricas) de la Dirección General de aguas (DGA) y de la red agrometeorológica del instituto de investigaciones agropecuarias (INIA), utilizando valores de precipitación mensual obtenidos de 16 estaciones meteorológicas representativas para el área de estudio, para los periodos hidrológicos (2015-2016;2017-2018;2019-2020). Los valores de precipitaciones fueron espacializados mediante método de interpolación IDW en ArcGIS.

Para la determinación del daño ambiental, se realizó el análisis de cambio entre los distintos periodos estudiados, a través de la estandarización de los caudales como porcentaje, para comparar los valores obtenidos en los escenarios post incendio con respecto al escenario de referencia, utilizando la siguiente ecuación (Esparza 2017; Schürmann, A. et al. 2017;):

$$V\% = \frac{(ESC - REF)}{REF} * 100$$

Donde:

V%: % en la variación de caudal

REF: Escenario referencial Pre- incendio

ESC: Escenario Post-incendio

Finalmente, la aplicación de la metodología fue revisada terreno, con el fin de lograr identificar la red hídrica del lugar y el escurrimiento superficial de sus aguas.

5.3.3 Características de los sistemas vivos que posibilitan experiencias de recreación.

La metodología para evaluar este servicio ecosistémico cultural utilizó algunos aspectos de los trabajos de (Arriagada and Aguayo Arias 2018; Martnez-Harms and Balvanera 2012; Nahuelhual et al. 2016) y consistió en el análisis y evaluación de los servicios ecosistémicos del área de estudio, a través de técnicas de mapeo e identificación de dichos servicios, por medio de la relación entre elementos estructurales del paisaje que al interactuar con el ser humano permiten la provisión de servicios ecosistémicos, en este caso, culturales.

En este aspecto, existen diferentes enfoques para el mapeo y evaluación de SE, dentro de ellos los métodos de valor comunitario que han incluido medidas espaciales de valores sociales y otras percepciones de lugar obtenidas a través de encuestas de preferencias a mapas de ES que integran sistemáticamente estas percepciones con datos biofísicos. Distinguimos el tipo de información disponible entre los datos primarios, obtenidos por los autores tales como; datos de campo, entrevistas, datos del censo, entre otros. Y los datos secundarios, fácilmente disponibles de fuentes externas tales como; datos de cobertura terrestre, bases de datos geográficas, datos de teledetección, entre otros (Martnez-Harms and Balvanera 2012).

La representación espacial del área se basó en un mapa impreso del área de estudio (ver **Figura N ° 8**), en tamaño A3, a escala 1: 350.000, elaborado específicamente para estos fines y que enseña algunos de los elementos o atributos biofísicos del paisaje, utilizando para ello la información disponible tales como datos de áreas protegidas, zonas turísticas, sitios prioritarios, bienes nacionales protegidos, red vial, entre otros, cuya información se encuentra disponible en portales web tales como; IDE Chile, registro nacional de áreas protegidas del MMA⁶ y mediante imágenes digitales geo etiquetadas de plataformas tales como Google Earth (earth.google.com), Google mapas, redes sociales y otras. Además de una revisión de los Planes y programas desarrollados para el territorio en cuestión.

Figura N ° 8: Mapa de representación del área de estudio para el ejercicio de mapeo.



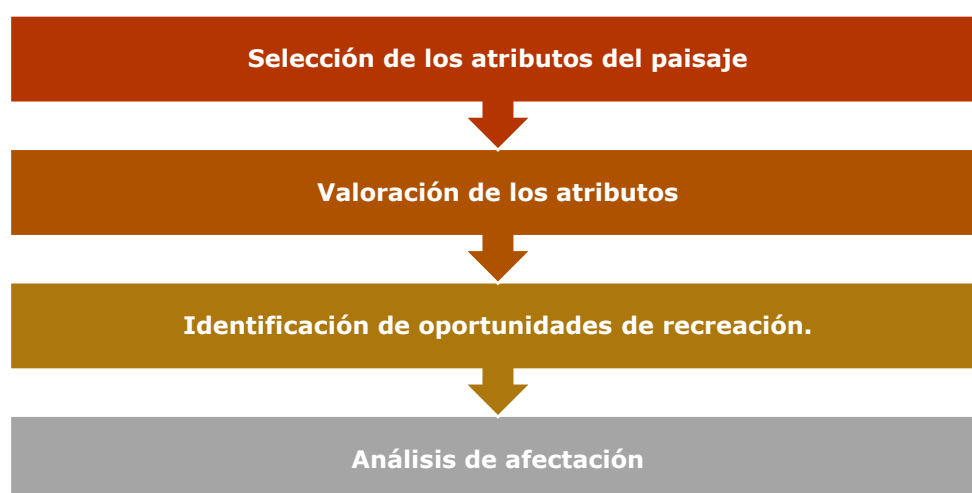
⁶ <http://areasprotegidas.mma.gob.cl/>

La valoración de los diferentes atributos se realizó mediante técnicas participativas a través de la elaboración de una entrevista diseñada específicamente para estos fines, para ser aplicada a representantes locales del área de estudio, lo anterior con el fin de conocer la oferta de SE culturales y la percepción de éstos en relación con el impacto generado por los incendios forestales.

La oportunidad recreativa, fue definida como una mezcla particular del entorno natural (del paisaje físico) y las actividades recreativas que dependen de éste para su realización. (MEA 2005, Chan et al.2011).

La metodología aplicada para la valoración del SE Cultural de recreación, considero algunos aspectos de la metodología propuesta por Nahuelhual et al. (2013), adaptada de la siguiente forma;

Figura N ° 9: Metodología para la aplicación de SE Cultural, modificada de Nahuelhual et al., (2013).



5.3.3.1 Diseño, prueba y aplicación de la entrevista

El diseño y aplicación de la entrevista, se realizó en dos modalidades; (1) una entrevista online utilizando para ello la aplicación de Google Workspace; "Formularios", enfocada a un público general relacionado con el área de estudio y (2) la misma entrevista aplicada de forma personal a actores relevantes del territorio, ambas modalidades acompañadas de un ejercicio de mapeo, para el reconocimiento del área de estudio.

Figura N ° 10: Diseño de la entrevista en formato de Formulario⁷



Encuesta sobre Oportunidades de Recreación en el área de Empedrado y cuenca del Río Reloca (Región del Maule)

Durante el verano del año 2017 Chile central fue afectado por grandes incendios forestales. En particular, el incendio "Las Máquinas" en la Región del Maule fue uno de los de mayor impacto y afectó diferentes ecosistemas en las comunas de Empedrado, Cauquenes, Constitución y San Javier. Aún cuando los efectos sobre la vegetación, los suelos productivos, el medio humano y construido resultan evidentes y cuantificables, existen otro tipo impactos, que pueden ser valorados mediante la experiencia pasada y actual de los interesados en el territorio como planificadores, científicos o habitantes locales.

Esta encuesta tiene como objetivo identificar los sitios naturales que permiten oportunidades de recreación, tanto para los residentes de la zona, como para quienes la visitan. Lo anterior, para determinar su posible afectación a causa de los grandes incendios del año 2017.

Esta encuesta forma parte del trabajo final de Magister de Francisca Koch Espinoza (Francisca.koch.e@gmail.com), guiada por el profesor Francisco de la Barrera de la Universidad de Concepción (fdelabarrera@udec.cl), y que se enmarca en el proyecto Fondecyt Iniciación 11190530 "Grandes incendios forestales de Chile Centro-Sur y sus efectos ambientales (GINSEC)", cuyo responsable es Francisco de la Barrera.

La entrevista se estructuró en 3 secciones de 10 preguntas, cada etapa se describe a continuación:

- En la primera etapa se presentaron los objetivos de la investigación, seguidos de la identificación de los participantes (género, nivel educativo, edad, comuna de residencia y datos de contacto) y su voluntad de participar de manera libre y voluntaria, declarando estar informado de que los resultados de la investigación serán utilizados con fines científicos, asegurándose el anonimato de los encuestados.
- La segunda etapa, buscó el reconocimiento del área de estudio mediante un ejercicio de mapeo, identificando la relación de los participantes con el territorio.
- La tercera etapa, tuvo por objetivo identificar oportunidades de recreación para el área de estudio y valorar la oferta recreativa. En este sentido las preguntas buscaron capturar valores basados en la experiencia pasada y actual de los interesados con su territorio, permitiendo a los participantes expresarse libremente sobre estas cuestiones y cualquier otro tema que pudiera ser de su interés. Lo anterior, explorando si existe o no una relación entre los elementos particulares del paisaje biofísico, con la oportunidad de recreación.

⁷ Ver entrevista completa en: <https://forms.gle/PmqgNJ5xCMDBohXr8>

Para la identificación de actividades recreativas, estas se agruparon como; i) actividades deportivas en un ambiente natural o en la naturaleza (ej. ciclismo, escalada, pesca, etc.), ii) gastronómica con productos de la zona (ej. hongos, frutos, semillas, etc.), iii) esparcimiento al aire libre y actividades de contemplación (ej. caminata, paseos, ir al río, etc.) iv) culturales y tradicionales asociadas a la naturaleza del lugar (ej. festividades en cerros), v) espirituales (ej. meditación, sitios religiosos, animitas, memoriales, etc.) y otras.

Los elementos particulares del paisaje relacionados con las oportunidades de recreación seleccionados para el área de estudio fueron clasificados en; cursos de agua tales como ríos y esteros, cuerpos de agua como lagos, lagunas, humedales y/o embalses, elementos del relieve tales como cerros y quebradas, caminos, rutas y/o senderos, áreas pobladas y medio construido, vegetación natural, vegetación con fines productivos, borde costero, playas y dunas.

Para el análisis espacial y la construcción de un criterio espacial, se utilizaron los datos de cobertura terrestre, datos de teledetección y bases de datos geográficas para lograr espacializar los elementos particulares del paisaje y generar su posterior valoración sobre estos.

Se incluyó, además, la valoración en base a la percepción de los entrevistados, sobre la afectación a la oferta de oportunidades de recreación a causa directa de los Incendios forestales.

Para la prueba de la encuesta de valoración del servicio cultural se realizó una aplicación de forma online, durante el mes de enero-febrero 2021 y otra de forma presencial durante los días 18, 19 y 20 de enero 2021. Mediante la aplicación de la entrevista, se recogió la percepción de los entrevistados y su conocimiento en el área del estudio, para la identificación de servicios ecosistémicos culturales.

VI. RESULTADOS

6.1 Análisis de cambio

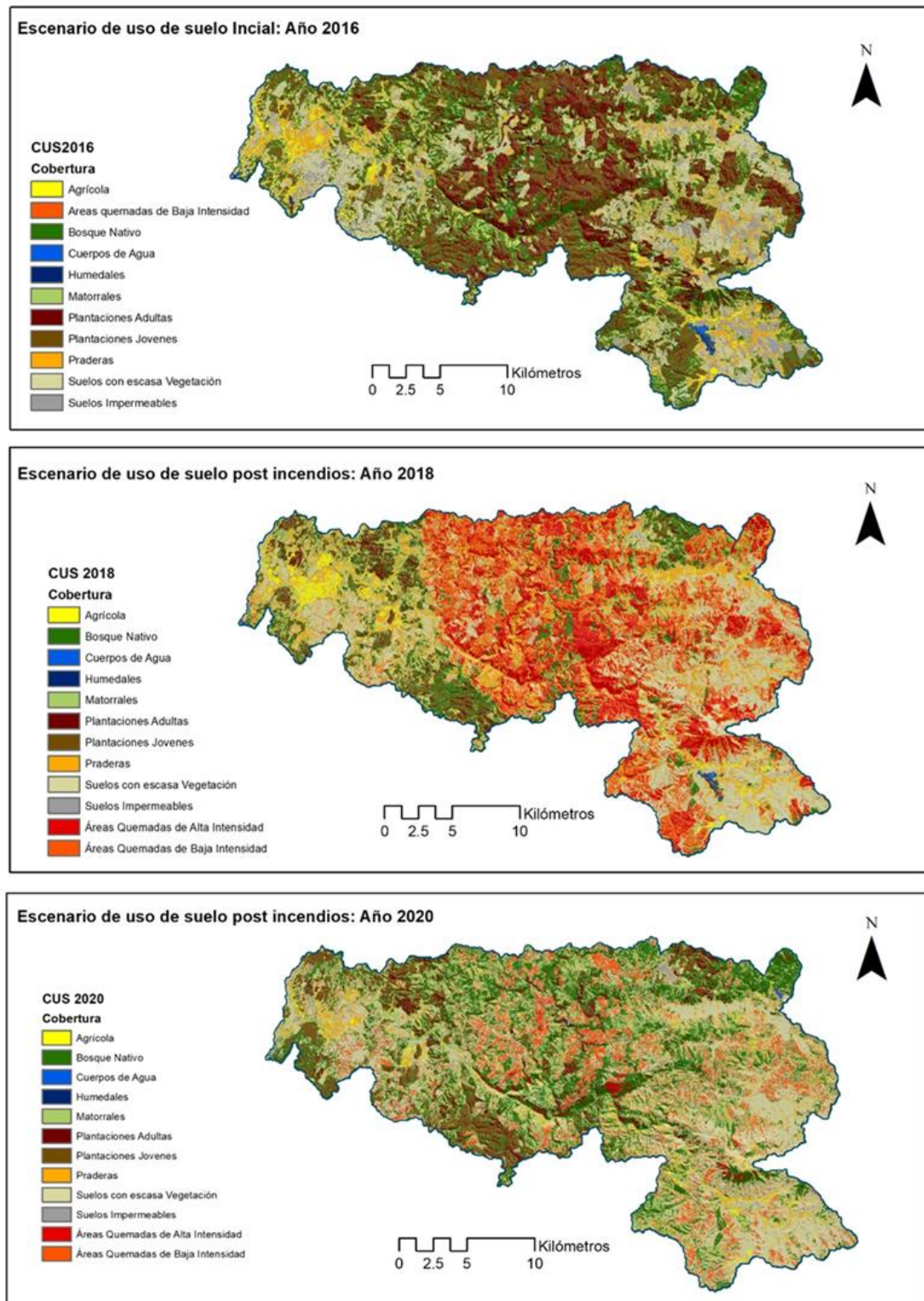
A partir de los mapas de cobertura y uso de suelo elaborados para los distintos periodos estudiados (ver **Figura N ° 11**), se logró observar la condición previa al incendio forestal (año 2016), donde la cuenca presentó una cobertura vegetal dominada principalmente por plantaciones forestales (39%) y bosque nativo (17%), además de otros usos presentes tales como; suelos descubiertos o de escasa vegetación (22%), agrícolas (10%), matorrales (7%) y otros (5%).

En base al escenario post- incendio definido (año 2018), las coberturas más abundantes, además de las áreas incendiadas que al 2018 totalizaban el 37% del área de estudio, corresponden a suelos descubiertos (23%), matorrales (10%) y otros, principalmente. Cabe señalar que, en cuanto a la afectación y severidad de los incendios del 2017 en términos de superficie, se estima que el "Incendio de Maquinas" afectó un 62% del área de estudio, con un total de 38.301 ha de áreas quemadas (información en base a imágenes Sentinel 2 proporcionada por el proyecto Fondecyt N°11190530). Sin embargo, en razón a los datos hidrológicos disponibles para el área de estudio, necesarios para la ejecución de los modelos utilizados, se consideró el periodo 2018 como el más representativo del escenario post-incendio.

A partir de los incendios forestales, el proceso de cambio en la cuenca corresponde la transformación de los suelos quemados de alta y baja intensidad, por suelos desnudos o de escasa vegetación y matorrales, estos últimos producto del crecimiento de la vegetación. Por su parte, tanto el bosque nativo como las plantaciones forestales presentan una rápida regeneración y forestación, en cuanto a las superficies de uso agrícola, se observa una disminución en estos suelos.

El área de estudio fue visitada durante el mes de enero 2021, recorriendo distintos puntos de la cuenca y verificando su condición posterior al evento, donde la mayor parte de los puntos visitados corresponden a plantaciones jóvenes de rápido crecimiento.

Figura N ° 11: Cambio de coberturas de uso de suelo tres escenarios modelados



6.2 Procesos de regulación y su efecto en la erosión del suelo

6.2.1 Datos de entrada para el modelo RUSLE

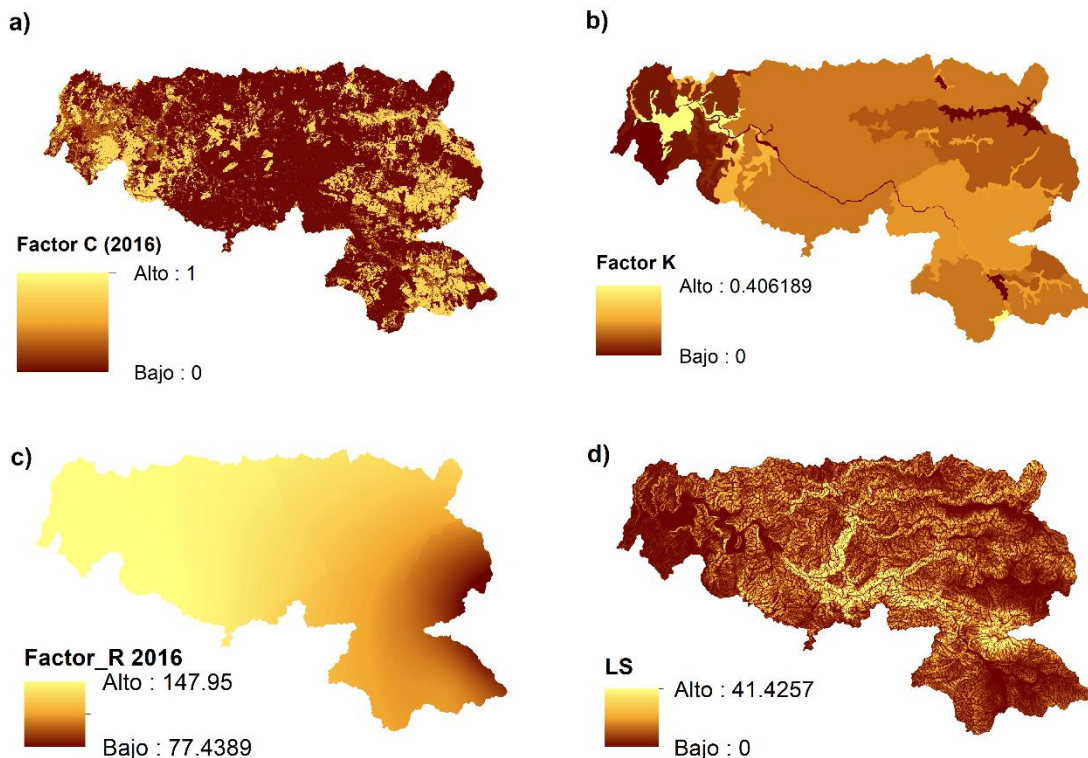
6.2.1.1 Primer periodo, pre - incendio (Año 2016)

Los datos de entrada al modelo RUSLE, para determinar la condición referencial, previa a los incendios forestales (al año 2016) corresponden a:

- a) El factor C, que presenta valores cercanos a 0 para la mayor parte del área de estudio, dando cuenta del buen grado de protección de las coberturas de uso de suelos ante la erosión hídrica.
- b) La erodabilidad del suelo (Factor K) que explica la gran susceptibilidad a la erosión que presenta la cuenca, cuyos valores de K variaron entre 0 (asociados a cursos y cuerpos de agua) y 0.406189 [(ton ha⁻¹) / (MJ mm ha⁻¹ hr⁻¹)], cuyos valores más altos estuvieron asociados a las Series de suelo; *Buchupureo* ocupando la terraza litoral baja, formada por sedimentos aluviales transportados desde la cordillera de la costa; *Miramar* correspondiente a suelos sedimentarios de origen aluvial que ocupan una posición baja, plana y deprimida lo cual impide el normal escurrimiento de las aguas durante los meses de invierno; *Villaseca* suelos sedimentarios de origen lacustrino, de topografía plana, delgado y pobre drenaje, con un nivel freático que fluctúa entre los 20-40 cm de profundidad, cuya ubicación corresponde a una parte del humedal "Ciénaga del Name". Mientras que gran parte de la cuenca, principalmente el área más afectada por los incendios forestales estuvo asociada a las series de suelo *Asociación Constitución* de textura franco arcillo arenosa, que ocupa preferentemente el sector más alto y vertiente occidental de la Cordillera de la Costa, con pendientes complejas que varían entre 8 y más de 50%; *Asociación Treguaco* de textura franco arcillo limosa que ocupa los sectores altos y vertiente oriental de la Cordillera de la Costa; *Asociación Pocillas* de textura franco arcillo limosa y permeabilidad moderada, que ocupa una posición de cerros y coluvios dentro la Cordillera de la Costa con pendientes complejas entre 5 y más del 50%; y *Asociación Cauquenes* de textura arcillosa, que ocupa una posición topográfica de cerros y lomajes de la formación granítica de la Cordillera de la Costa, suelos que además han sido históricamente muy cultivados, lo que ha ocasionado diversos y avanzados grados de erosión y cuya vegetación natural es principalmente en base a espino (*Acacia Caven*) y litre (*Lithrea cáustica*), (CIREN, 1997), todos ellos con valores promedio de K de 0.217188 [(ton ha⁻¹) / (MJ mm ha⁻¹ hr⁻¹)].
- c) La intensidad de las lluvias (Factor R) presentó valores más altos en la costa que al interior la cuenca, con valores medios para toda el área de estudio de 129 [MJ/ha*mm/h].
- d) El Factor de relieve LS, que para el área de estudio presentó valores relativamente altos, sobre todo en la parte superior de la cuenca (LS máx

=41.42), principalmente influenciados por la topografía de la Cordillera de la Costa, que en el área de estudio presenta cerros, quebradas y pendientes fuertes en torno a los 50°.

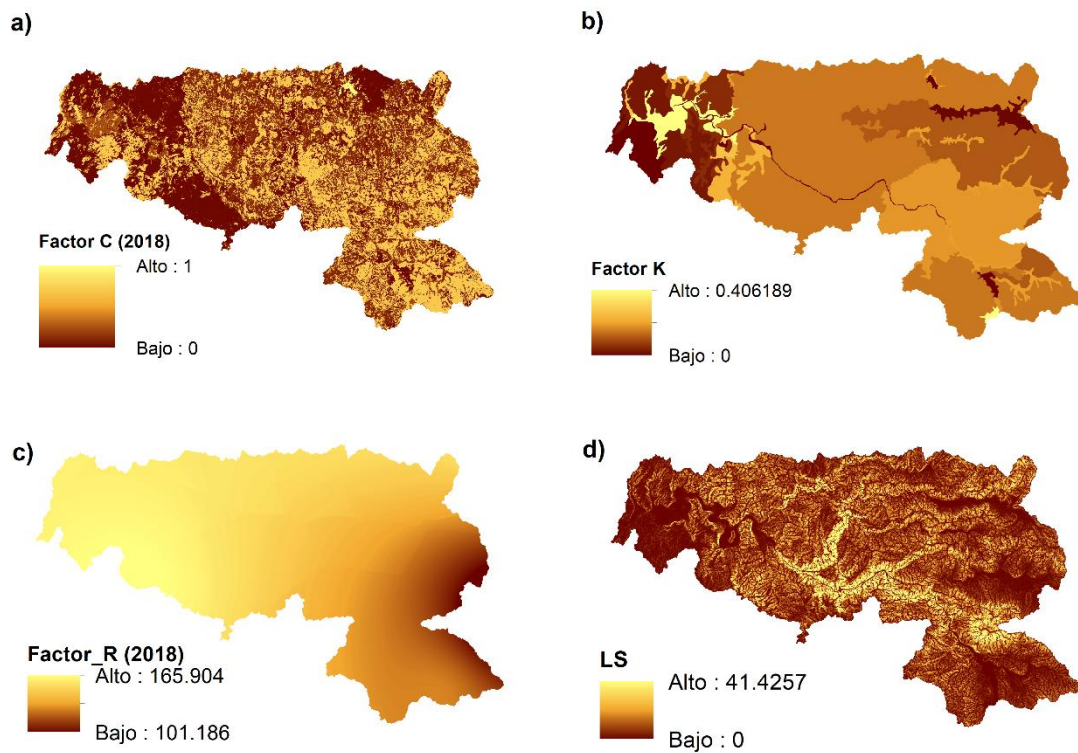
Figura N ° 12: Mapas de datos de entrada para el modelo espacialmente explícito (Año 2016). **a)** Factor C: Cobertura de suelo, **b)** Factor K: Erodabilidad del suelo, **c)** Factor R: Erosividad de la lluvia, **d)** LS: Factor de relieve.



6.2.1.2 Segundo periodo, situación post- incendio (Año 2018)

Durante el segundo periodo, que representa el escenario más próximo después de los incendios, se observó un gran cambio asociado a: **a)** los valores de cobertura (Factor C) que durante este periodo presentaron valores más cercanos a 1 en las áreas incendiadas, dando cuenta del grado de desprotección de los suelos, producto de la pérdida o disminución en las coberturas vegetacionales, **b)** la erodabilidad del suelo, que se mantiene constante durante todos los periodos, al igual que **d)** LS que representa las características propias del relieve. En cuanto a **c)** que representa la intensidad de las lluvias, existe un leve aumento con valores medios de 166 [MJ/ha*mm/h] equivalentes a un cambio porcentual del 29% respecto de los valores medios del año de referencia.

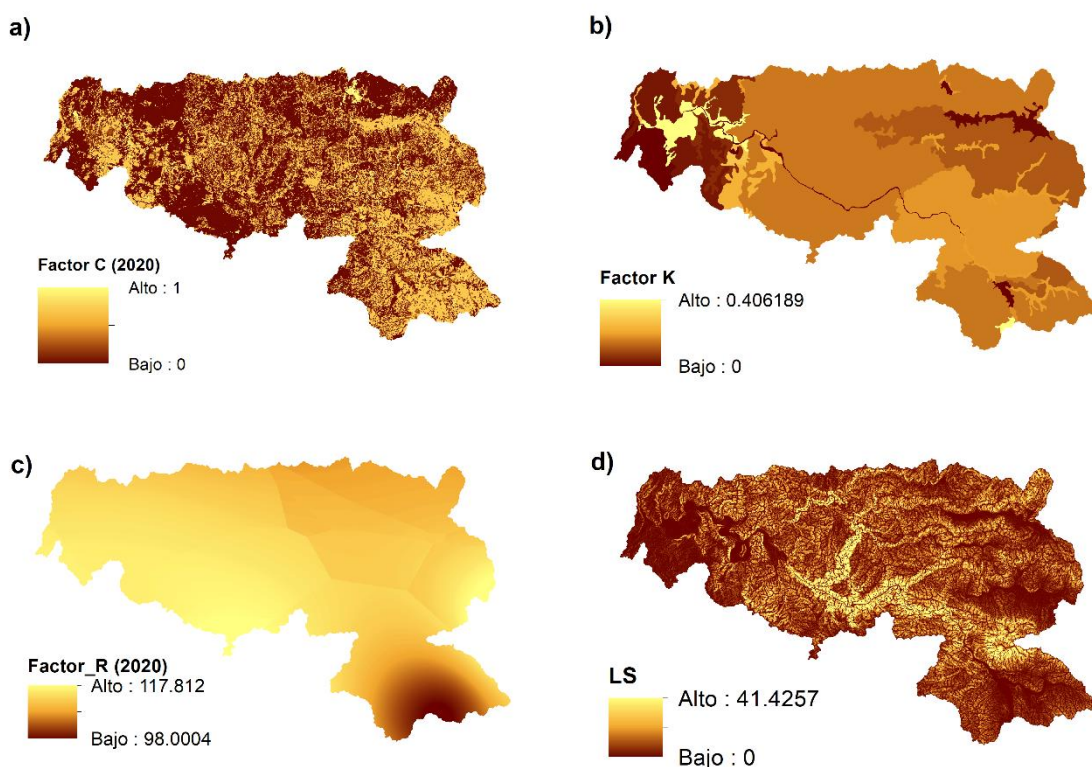
Figura N ° 13: Mapas de datos de entrada para el modelo espacialmente explícito (Año 2018). **a)** Factor C: Cobertura de suelo, **b)** Factor K: Erodabilidad del suelo, **c)** Factor R: Erosividad de la lluvia, **d)** LS: Factor de relieve.



6.2.1.3 Tercer periodo, situación post- incendio (Año 2020)

Finalmente, durante el último periodo post- incendio: **a)** se presenta cierta recuperación en los valores de C principalmente asociado al crecimiento de la vegetación, en el caso de **b) y d)** nuevamente se consideran constantes, y **c)** la intensidad de las lluvias presenta un descenso, con valores medios de 111 [MJ/ha*mm/h] equivalentes a un cambio porcentual de -14% respecto de los valores medios del año referencial.

Figura N ° 14: Mapas de datos de entrada para el modelo espacialmente explícito (Año2020). a) Factor C: Cobertura de suelo, b) Factor K: Erodabilidad del suelo, c) Factor R: Erosividad de la lluvia, d) LS: Factor de relieve.



6.2.2 Análisis del daño sobre servicios ecosistémicos asociados al suelo

Tras aplicar la ecuación universal de pérdida de suelos revisada (RUSLE), se logró valorar la erosividad del suelo a través del Factor A, cuyos valores para el primer periodo 2016, fluctuaron entre los 0 – 814 [ton ha-1año-1], con una media de 10,64 [ton ha-1año-1], espacializados los valores en distintas celdas de la cuenca (tamaño 30x30 m).

Durante el segundo periodo los valores de A fluctuaron entre 0-970 [ton ha-1año-1], con una media de 37,49 [ton ha-1año-1], concentradas en zonas de directa relación con la ocurrencia de incendios forestales. **Los resultados permiten evidenciar un incremento porcentual de 252 % en las tasas medias anuales de erosión de la cuenca entre el año 2016 y 2018, considerando como factor preponderante entre un año y otro, el cambio de cobertura de suelo, por el efecto directo de los incendios forestales y un aumento en los valores de erosividad de las lluvias R (+ 29%).**

En el tercer periodo, los valores de A fluctuaron entre los 0-729 [ton ha-1año-1], con una media de 22,72 [ton ha-1año-1]. **Los resultados durante el tercer periodo permiten evidenciar un descenso en las tasas de erosión, relacionado con el efecto de las coberturas de suelo principalmente el crecimiento de la vegetación, sin embargo, el descenso en las tasas de erosión también guarda relación con los valores de erosividad de las lluvias Factor R que durante el periodo presente un descenso (-9%).**

Los mapas de pérdida de suelo nos entregan información relevante en cuanto al comportamiento espacial de los servicios de regulación y su efecto en la calidad de los suelos, influyen en esta capacidad, el factor topográfico y las características de erodabilidad del suelo, con valores promedio de K de 0.217188 [ton ha h ha-1 MJ -1 mm-1]. El comportamiento climático presenta variaciones durante los periodos analizados, que pudieran contribuir en las tasas de erosión hídrica, sin embargo, se estima que potenciado con el cambio en la cobertura de suelo se generan impactos negativos significativos en las tasas de pérdida de suelo.

Con el objetivo de valorar el daño ambiental en términos de superficie, se realizó una reclasificación del factor A en 4 niveles de erosión [ton ha-1año-1]: nivel 1 de 0 a 10, nivel 2 de 10 a 50, nivel 3 de 50 a 200, nivel 4 mayor a 200 (ver **Tabla N ° 4**).

En atención a los resultados, se estima que al año 2016 la cuenca presentaba en la mayor parte del área (84%), niveles de erosión relativamente bajos (erosión leve) entendidas como pérdidas de suelo que podrían ser tolerable. **Sin embargo, a partir de los incendios los niveles de erosión suben considerablemente (900% en los niveles de erosión grave; 130% en niveles de erosión moderada).** A partir del tercer año post- incendio, se observa cierta recuperación a través de los modelos de erosión, asociada principalmente al crecimiento de la vegetación que genera un efecto en la regulación del suelo, además del descenso en los valores de R. (ver **Figura N ° 16**).

En la visita a terreno realizada durante el mes de enero del 2021, se observaron algunas de las áreas de mayor nivel de erosión de acuerdo con el modelo (Ver **Imagen N ° 9; Imagen N ° 10**). La mayoría de las áreas aún se encuentran desprovistas de vegetación con probables procesos de erosión, mientras que en otros sectores la erosión actual, resulta no ser del todo aparente, por cuanto actualmente se encuentran protegidos por algún tipo de cubierta vegetal, mediante especies de rápido crecimiento.

Figura N ° 15: Aplicación modelo de RUSLE

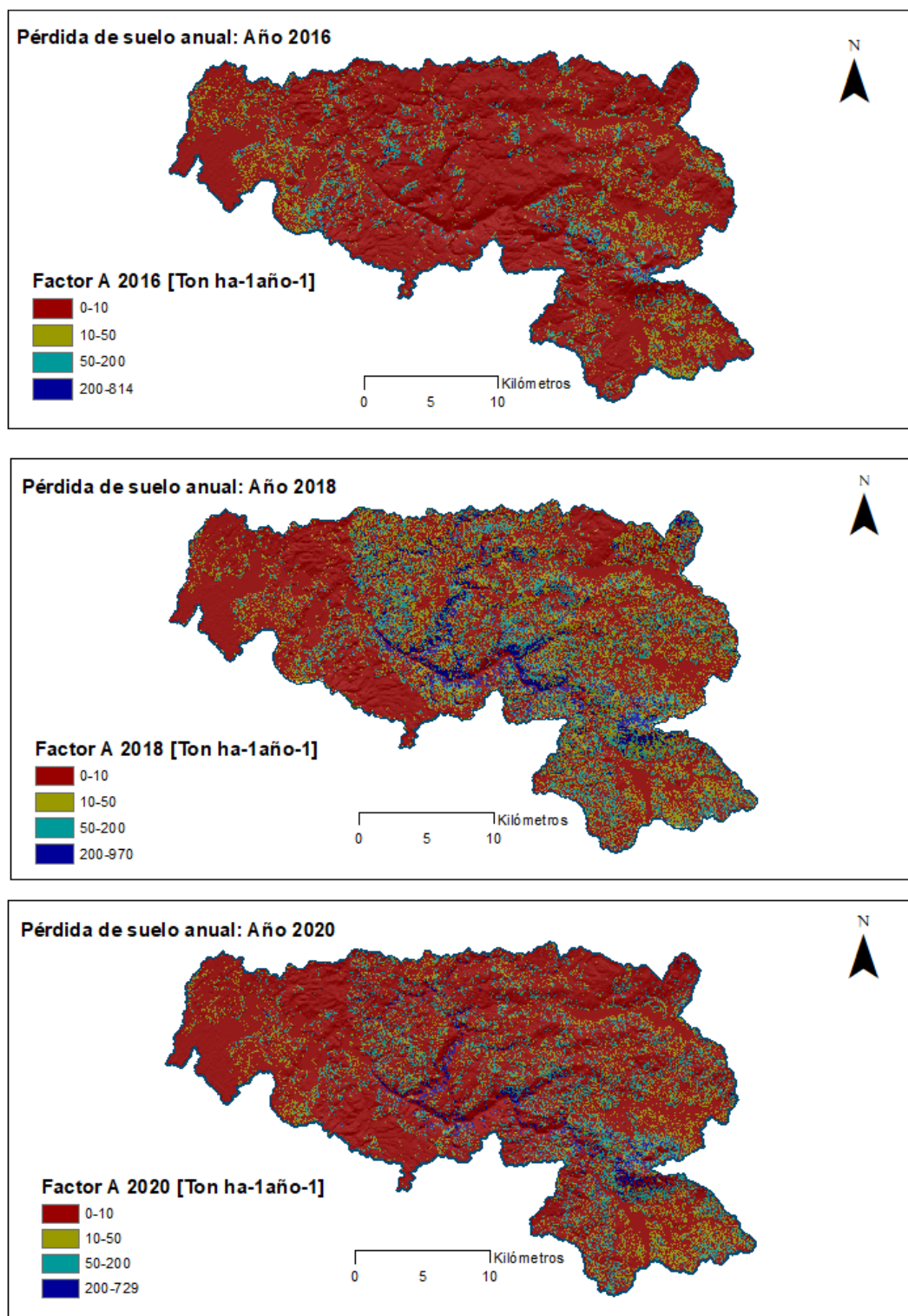


Figura N ° 16: Niveles de erosión por periodo.

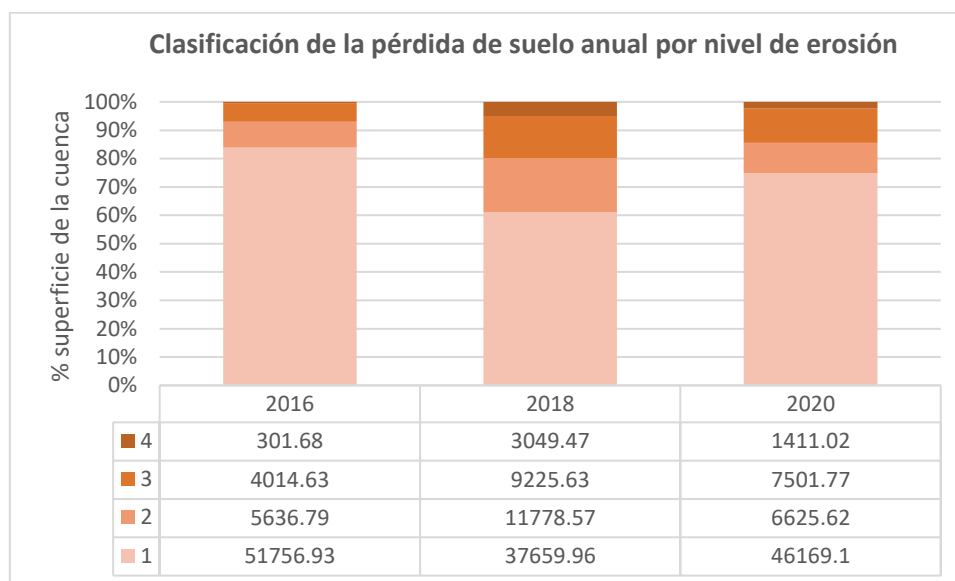


Imagen N ° 9: Cerro Name sector humedal Ciénega del Name.

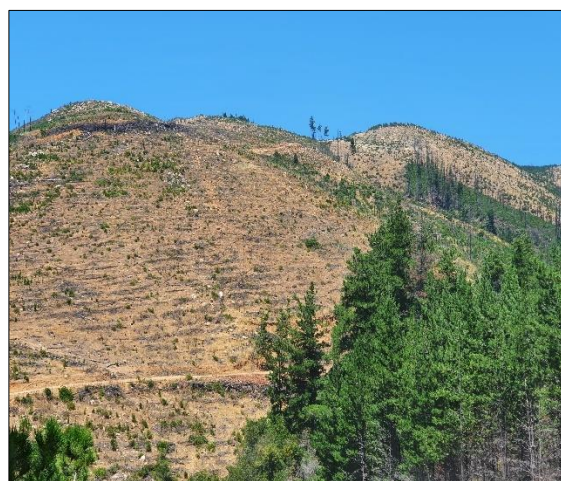


Imagen N ° 10: Cerro Name ladera oriental.

6.3 Procesos de regulación del ciclo hidrológico y los flujos de agua

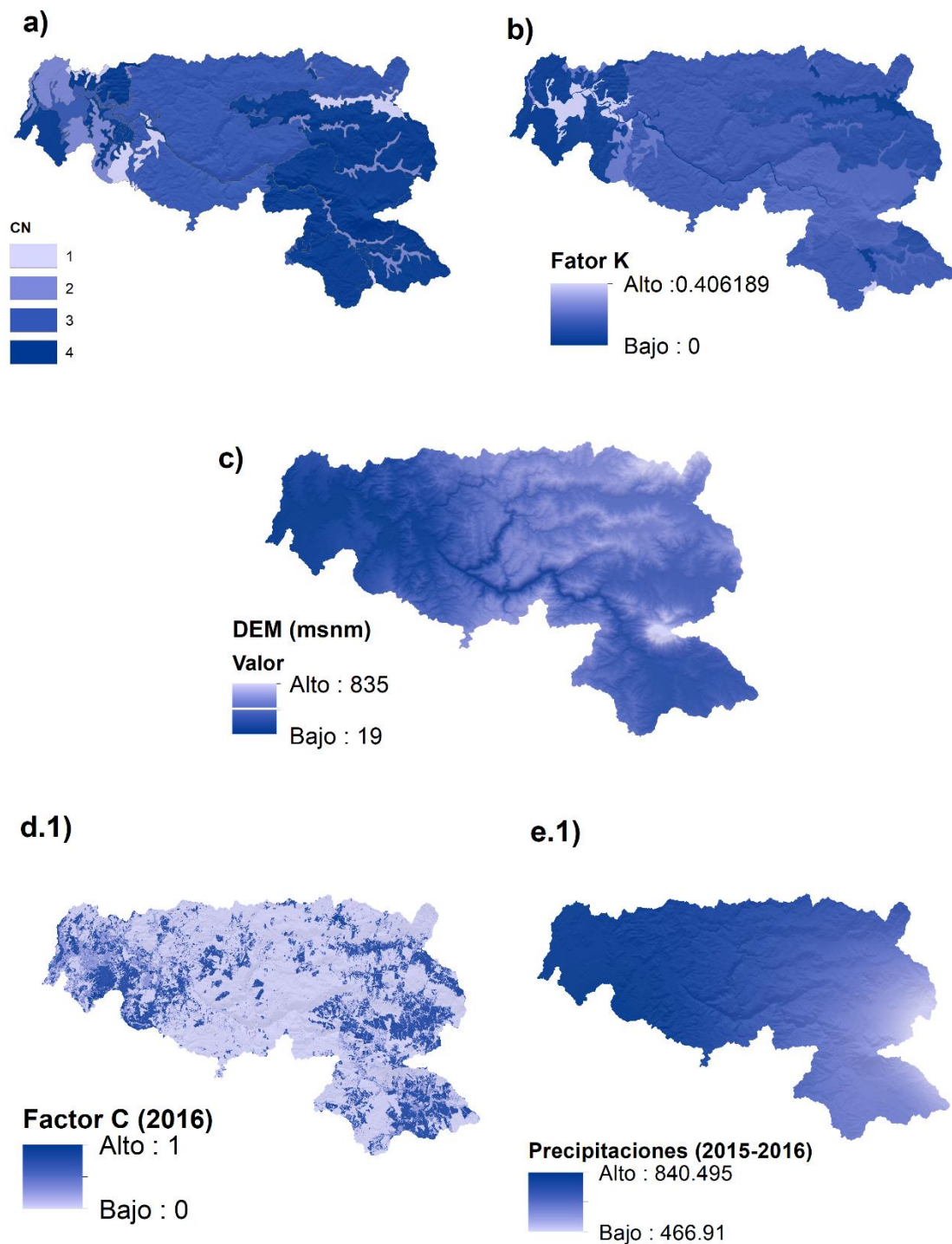
6.3.1 Datos de entrada al modelo Open Nspect

6.3.1.1 Primer periodo, pre - incendio (Año 2016)

Los datos de entrada al modelo fueron ingresados a la interfaz del software MapWindow GIS, que a través de su extensión OpenNSPECT donde se ingresan los parámetros de entrada necesarios para la ejecución del modelo. Los mapas requeridos fueron previamente preparados y ajustados en ArcGIS 10.4.1, para posteriormente ejecutar el modelo.

De acuerdo con la metodología, los parámetros de entrada se definen en la siguiente figura, donde **a)** corresponde a los valores de los grupos hidrológicos de suelos, presentando suelos con tasas de infiltración más lentas y permeabilidad moderada en la parte alta de la cuenca asociadas principalmente a su textura arcillo limosa a arcillosa, cuya permeabilidad va mejorando en la parte media de la cuenca dadas sus características franco arcillo arenosa para finalmente presentar permeabilidades más heterogéneas en su parte baja, **b)** la erodabilidad del suelo representada en el Factor K que explica la gran susceptibilidad a la erosión que presenta la cuenca, cuyos valores de K variaron entre 0 y 0.406189 [(ton ha-1) / (MJ mm ha-1 hr-1)], corresponden a la misma condición analizada en la RUSLE (Ver Capítulo 6.2.1.1 b) Factor K), **c)** modelo de elevación digital del terreno con alturas máximas de 835 msnm, **d.1)** correspondiente a los valores C para el escenario 2016 con valores más cercanos a 0 dando cuenta de la buena cobertura en el área de estudio y **e.1)** el escenario de precipitación para el año hidrológico respectivo 2015-2016, que presenta una media de 714 mm para el área de estudio.

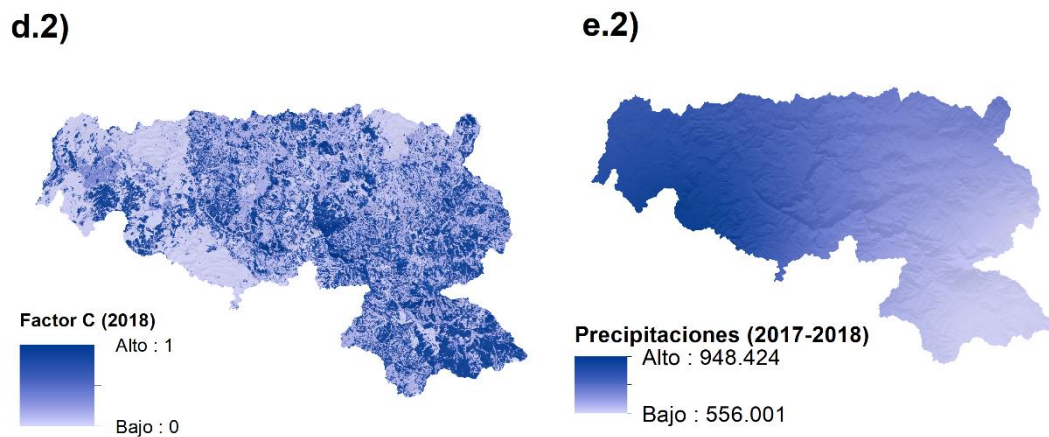
Figura N ° 17: Parámetros de entrada a OpenNSPECT (Año2016). a) CN: grupos hidrológicos del suelo, b) Factor K: erodabilidad del suelo, c) DEM: modelo de elevación digital del terreno, d.1) C: Factor de coberturas del suelo y e.1) ppt: precipitaciones.



6.3.1.2 Segundo periodo, situación post- incendio (Año 2018)

Durante el segundo periodo se mantiene la condición expuesta en a), b) y c), con cambios manifestados en d.2) coberturas de suelo que presentan valores más cercanos a 1 producto de las áreas incendiadas y e.2) precipitaciones del año hidrológico 2017-2018 que presenta una media de 715 mm para el área de estudio, condición que varía en un 0.14% respecto de las precipitaciones medias del año referencial.

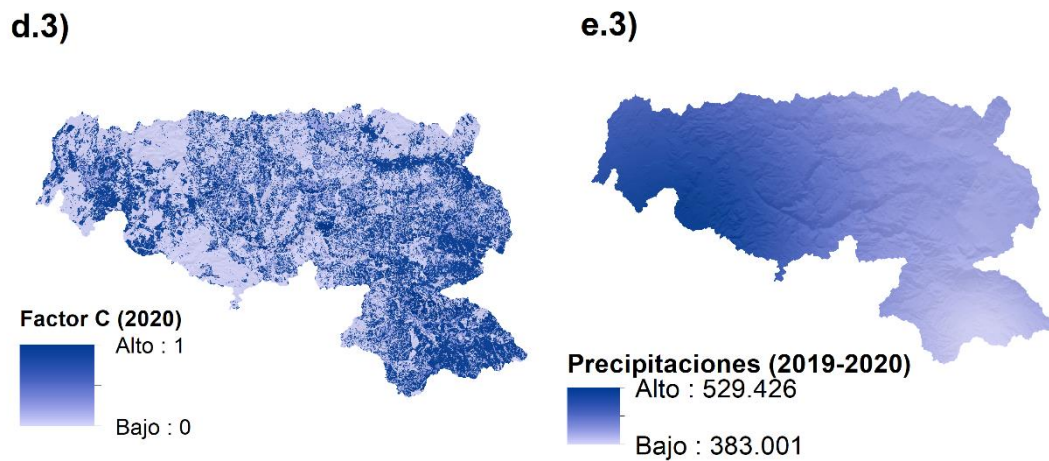
Figura N ° 18: Parámetros de cambio en escenario post incendio (2018). d.2) C: *Factor de coberturas del suelo* y e.2) ppt: *precipitaciones*.



6.3.1.3 Tercer periodo, situación post- incendio (Año 2020)

Durante el tercer periodo se mantiene la condición expuesta en a), b) y c), con cambios manifestados en d.3) coberturas de suelo asociados a suelos desnudos o con escasa vegetación y e.3) precipitaciones del año hidrológico 2019-2020 que presentan una media de 440 mm para el área de estudio, situación que varía en un -38% respecto de la condición de referencia.

Figura N ° 19: Parámetros de cambio en escenario post incendio (2020). d.2) C: Factor de coberturas del suelo y e.2) ppt: precipitaciones.



6.3.2 Análisis del daño sobre servicios ecosistémicos asociados al servicio de regulación hídrica.

Mediante el uso de la herramienta de modelación OpenNspect, fue posible mapear los volúmenes de escorrentía de agua superficial para los distintos escenarios pre y post- incendio definidos. El producto, corresponde a un mapa de acumulación de flujos, con valores de escorrentía para los distintos escenarios modelados, que permite medir en los pixeles con mayor acumulación de caudal, para cada subcuenca definida por el modelo.

Para la evaluar los cambios en la dinámica de escorrentías antes y después de los incendios, se utilizaron distintos puntos de aforo para las subcuencas presentes en el área de estudio, con 11 puntos a lo largo de la cuenca, cuyas variaciones en los caudales promedio (m^3/s) para los tres periodos, se presentan a continuación.

Figura N ° 20: Modelo de escorrentía superficial OpenNSPECT con variación de caudales.

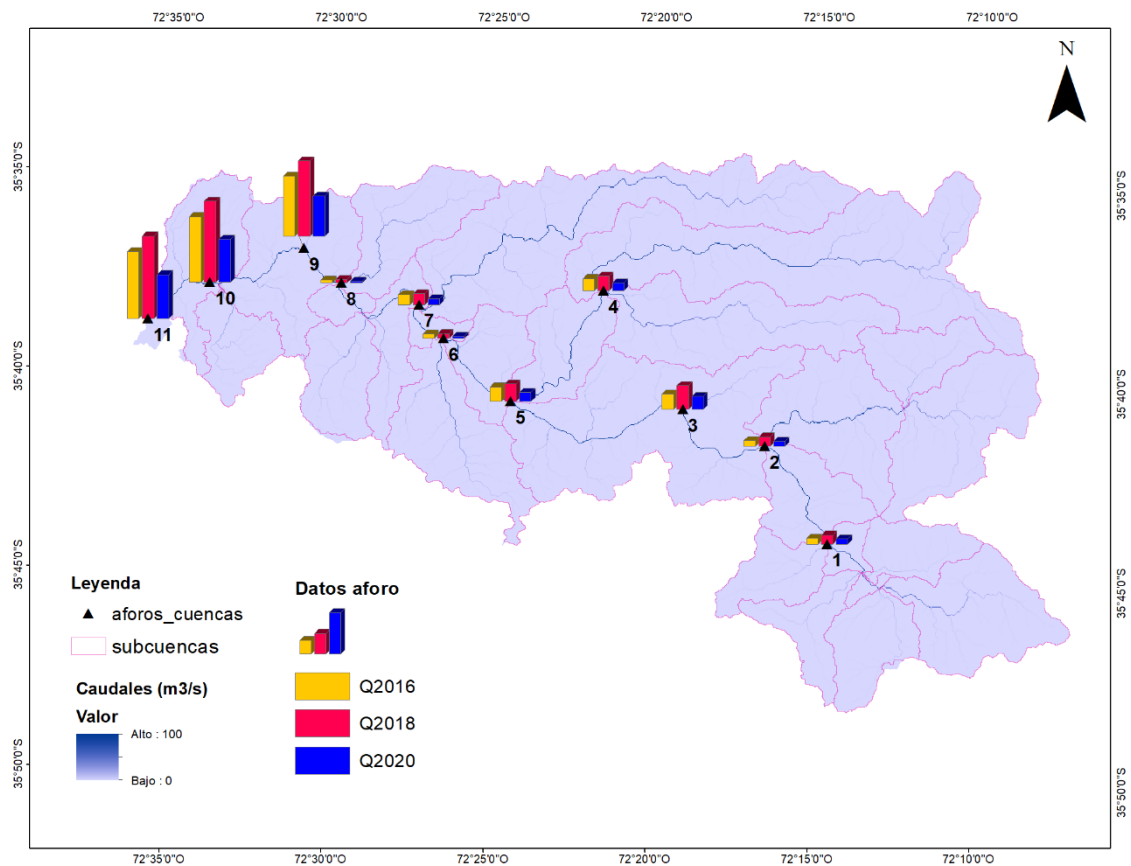
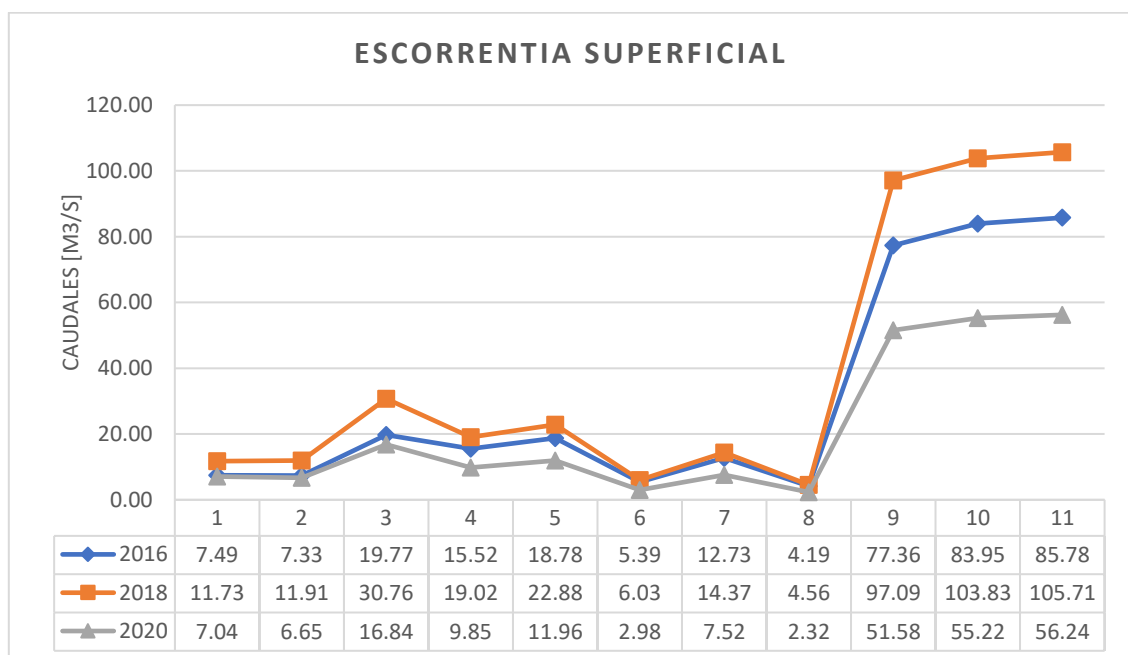


Figura N ° 21: Valores escorrentía superficial (caudales) para cada uno de los puntos.



De acuerdo con los datos obtenidos del modelo, se observa un aumento de los caudales durante el primer escenario post- incendio (2018), mientras que durante el segundo periodo post- incendio (2020), la escorrentía decrece por debajo de los valores referenciales del escenario inicial (2016) ver **Tabla N ° 5**.

En el escenario post-incendio (2018), los mayores aumentos en caudales (%) se presentan en parte alta de la cuenca con variaciones en torno al 60 % respecto de los valores de escurrimiento superficial referenciales al año 2016, posteriormente en el escenario 2020, la mayor disminución de caudales se observa en la parte media- baja de la cuenca con descensos en los caudales referenciales que fluctúan entre un 33-45% respecto del año de referencia 2016.

Tabla N ° 5: Variación de caudales en términos de porcentaje, para en los distintos puntos de aforo definidos en la cuenca (ver **Figura N ° 20**).

Puntos	% ΔQ [m ³ /s] (1 año) ↑	% ΔQ [m ³ /s] (3 años) ↓
1	56,5	-6,1
2	62,6	-9,2
3	55,5	-14,9
4	22,5	-36,5
5	21,8	-36,3
6	11,9	-44,7
7	12,9	-40,9
8	8,8	-44,5
9	25,5	-33,3
10	23,7	-34,2
11	23,2	-34,4

La aplicación del modelo da cuenta de alteraciones significativas en las capacidades de la regulación hídrica de la cuenca, lo anterior producto del cambio de coberturas ocasionado por los incendios. Sin embargo, durante el segundo periodo post-incendio, las alteraciones pueden estar también relacionadas con el régimen de precipitaciones que durante este periodo presentaron un descenso.

Para obtener información más certera sobre la dinámica de escorrentía superficial y aislar la variable de cobertura de la precipitación, se simula un escenario (2020b) manteniendo estables las condiciones de precipitación, utilizando para ello las precipitaciones del año de referencia (2016).

De esta forma los resultados obtenidos durante el periodo (2020) bajo condiciones constantes en las precipitaciones, dan cuenta del sustento de la condición post incendio inicial, con un aumento en los valores de escorrentía en torno al 30-50% respecto de los valores referenciales al año 2016 con

mayor impacto en la parte alta de la cuenca. Asimismo, las escorrentías superficiales estarían asociadas también, a suelos menos permeables en la cabecera de la cuenca, mientras que las variaciones más bajas a suelos de permeabilidad moderada.

Figura N ° 22: Valores de escorrentía superficial con escenario simulado 2020 (b).

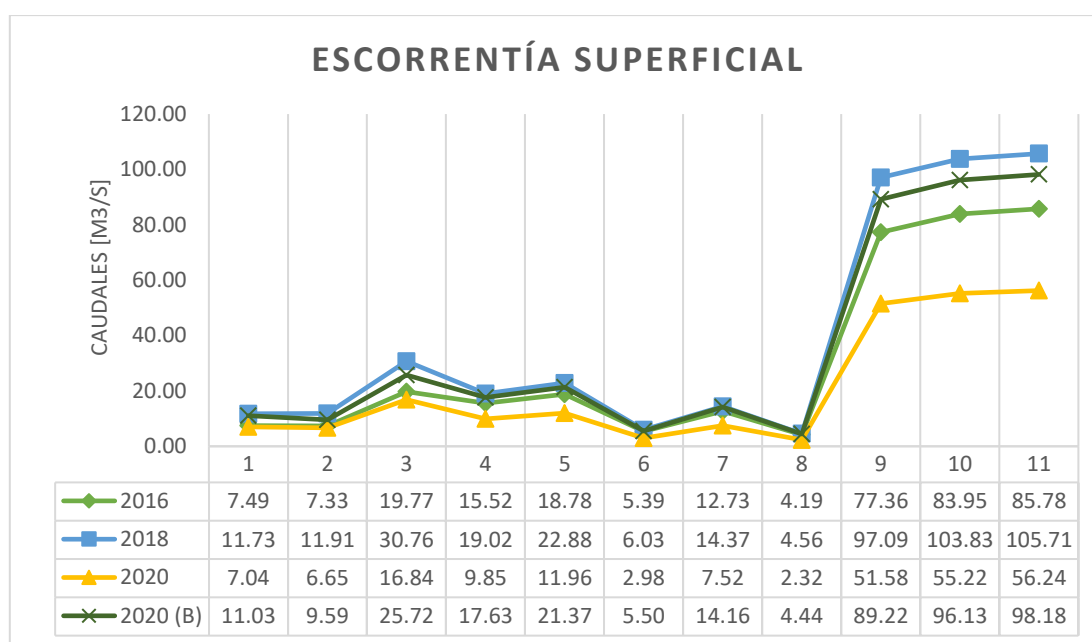


Tabla N ° 6: Variación de caudales en términos de porcentaje incluyendo escenario simulado (2020 b) que incluye las precipitaciones del año 2016, para en los distintos puntos de aforo definidos en la cuenca.

Puntos	% ΔQ (1 año)	% ΔQ (3 años)	% ΔQ (3 años) b
1	56,5	-6,1	47,3
2	62,6	-9,2	30,8
3	55,5	-14,9	30,1
4	22,5	-36,5	13,6
5	21,8	-36,3	13,8
6	11,9	-44,7	2,1
7	12,9	-40,9	11,2
8	8,8	-44,5	6,0
9	25,5	-33,3	15,3
10	23,7	-34,2	14,5
11	23,2	-34,4	14,5

6.4 Características de los sistemas vivos que posibilitan experiencias de recreación.

6.4.1 Áreas de valor ambiental

Dentro de los atractivos turísticos naturales destaca el Cerro Name y su humedal contiguo el "Ciénaga del Name", éste último humedal prioritario para la conservación de la biodiversidad biológica en Chile ⁸, que comprende una superficie aproximada de 200 ha y que se caracteriza por poseer un extenso totoral, abundante vegetación acuática sumergida, que alimenta numerosas especies de aves acuáticas además de conformarse como lugar de paso para varias especies migratorias (Ramírez et al. 2014). Este Humedal de agua dulce, que se alimenta de las aguas lluvias y de arroyos que escurren principalmente desde el cerro Name, posee además un área de amortiguación, con vegetación, también objeto de protección, entre ellas bosque espinoso mediterráneo interior de *Acacia Caven* y *Lithrea caustica*.

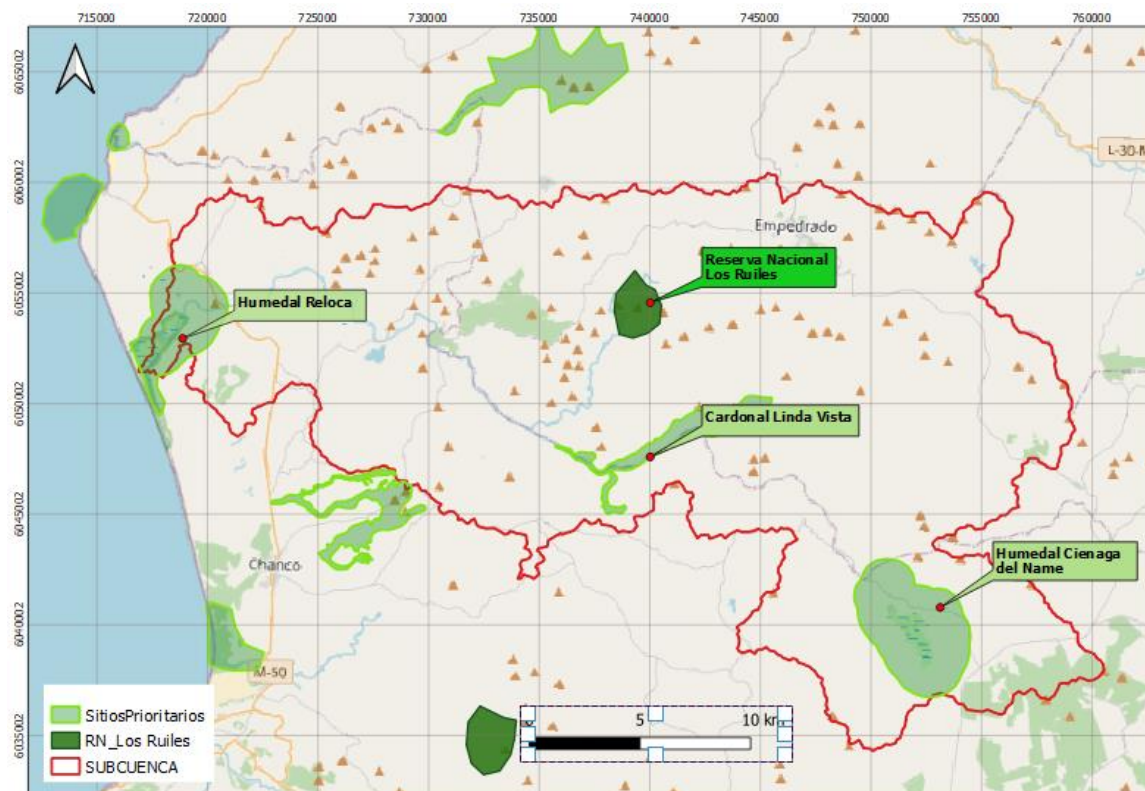
En la parte media de la cuenca por su lado norte, se ubica una parte de la Reserva Nacional Los Ruiles, que incluye dos predios de propiedad fiscal, uno de ellos en la comuna de Empedrado, sector "El Fin", con una superficie de 16,4 ha y Los Ruiles en la comuna de Chanco, con 28.6 ha, completando entre ambos 45 ha, de acuerdo con el decreto N°94 del Ministerio de Agricultura, del 13 de julio de 1982, que dio vida legal a la Unidad. La Reserva cubre oficialmente una superficie de 45 ha, pero que, para efectos del Plan de Manejo respectivo, considera una superficie de 324,7 ha, dada la adquisición de 13 nuevos predios, casi todos colindantes para incorporarlos al patrimonio protegido del Estado. (Plan de Manejo Reserva Nacional Los Ruiles, 2014).

Por su parte en la parte media de la cuenca por su lado sur, se encuentra el Sitio prioritario para la conservación denominado Cardonal Linda Vista, con una superficie de 707 ha y cuyo objeto de prioridad es la protección del Bosque caducifolio mediterráneo costero de *Nothofagus glauca* y *Azara petiolaris*, Bosque caducifolio mediterráneo costero de *Nothofagus glauca* y *Persea lingue* y Bosque esclerofilo mediterráneo costero de *Lithrea caustica* y *Azara integrifolia*.

Por último, en la parte baja de la cuenca, en su desembocadura al océano pacífico, se encuentra el Santuario de la Naturaleza (Decreto N ° 1613, 2005) Humedal de Reloca, humedal costero que presenta una baja accesibilidad ya que es un recinto privado que no cumple con los requerimientos de libre acceso solicitados, además de poseer una la falta de equipamiento, interpretación y señalética (PLADECO Chanco, 2015).

⁸ <http://bdrnap.mma.gob.cl/buscador-rnap/#/busqueda?p=1255>

Figura N ° 23: Áreas de Valor Natural en el área de estudio.



Cabe señalar que la afectación de estos lugares a causa del incendio de máquinas fue prácticamente total, salvo el Humedal costero de Reloca que estuvo fuera del área de afectación.

Tabla N ° 7: Afectación de áreas de Valor Natural (Fuente: CONAF,2017.)

Nombre	Categoría	Superficie total [ha]	Superficie afectada %
Reserva Los Ruiles	<i>SNASPE</i>	17,8	100
Cardonal Linda Vista	<i>Sitio prioritario para la Conservación</i>	707	100
Humedal Ciénaga del Name	<i>Sitio prioritario para la Conservación</i>	2160	98,5
Humedal Reloca	<i>Santuario de la Naturaleza</i>	0	0

6.4.2 Resultados de la aplicación de la entrevista

6.4.2.1 Valoración de oportunidades de recreación y su relación con el ambiente natural.

Se realizó un total de 6 entrevistas (2 entrevistados de manera presencial y 4 online) donde los entrevistados correspondieron a (1) un representante local (Juntas de vecinos), (2) un funcionario municipal que realiza planificación local, (3) un representante de empresa turística de la zona, (4) una recolectora de hongos, (5) un representante microempresarial del área de estudio y (6) un habitante y trabajador de la zona.

El reconocimiento del área de estudio se realizó mediante la utilización de un mapa de la cuenca estudiada **Figura N ° 8**, mediante el cual el 100% de los entrevistados, informó reconocer los límites planteados para el área de estudio.

De acuerdo con la percepción de los entrevistados, los principales atractivos del área de estudio se vinculan con actividades culturales y tradicionales asociadas a la naturaleza del lugar. Entre ellas, elementos de carácter cultural que se constituyen como potenciales atractivos, tales como las actividades gastronómicas con productos de la zona, la recolección de hongos en sitios con vegetación del tipo productiva, las fiestas típicas populares religiosas; tales como la fiesta del Oro Verde, fiesta de la Purísima, fiesta de la Vendimia, la *Trilla a Yegua suelta* y otras fiestas familiares asociadas a siembra y cosecha, tales como la “*Chuchoca en hoyo*”⁹.

Entre las actividades de esparcimiento al aire libre, destaca por gran parte de los entrevistados el reconocimiento de la flora y vegetación natural del lugar, entre ellas se menciona al *Hualo o roble Maulino* en categoría de conservación casi amenazada y más escaso aún el *Ruil En peligro* (RCE vigente al 2021)¹⁰ de las cuales además se mantienen ejemplares en la Plaza de Empedrado y su *Museo Manuel Arellano*.

La especie de *Hualo o Roble Maulino* en particular se relaciona también con la historia del lugar relatada por uno de los entrevistados respecto de la construcción de embarcaciones llamadas “*Faluchos Maulinos*” contruidos con esta madera de roble, que los astilleros de la época del siglo XIX sacaban de los cerros, logrando gran grado de especialización en la construcción de ellos, formando parte de los vestigios actividad portuaria antepasada emblemática del lugar.

⁹ Ver registro disponible en <https://vimeo.com/272844600>

¹⁰ <https://clasificacionespecies.mma.gob.cl/>

Otras actividades de esparcimiento al aire libre se relacionan con el avistamiento de aves que visitan los sitios con mayor naturalidad, entre ellos el "Humedal ciénaga del Name" sitio prioritario para la conservación y "Humedal Reloca" que goza de categoría "Santuario de la Naturaleza".

Por último, las actividades deportivas en ambiente natural se realizan en cauces naturales, los cerros (principalmente el "Cerro Name") y la costa. Entre las más frecuentes destacan los paseos en bicicleta, caminatas, senderos y las comunes "cabalgatas" asociadas a "rutas turísticas" presentes en el área de estudio, esta actividad en particular aprovecha las características del relieve y contiene múltiples variaciones y valoraciones, desde una cabalgata turística tradicional y estacional, hasta el más exclusivo y potencial turismo ecuestre internacional.



Imagen N ° 11: Oportunidades turísticas identificadas en Cerro Name.



Imagen N ° 12: Oportunidades turísticas identificadas en "Cerro Name"

Desde la percepción de los entrevistados (ver

Figura N ° 25) los elementos más valiosos del paisaje son atribuidos a: el relieve, el borde costero, la vegetación con fines productivos asociada a la recolección de hongos silvestres, áreas pobladas y cuerpos de agua, principalmente referidos a Humedales presentes en el lugar, entre otros, se considera el paisaje cultural inmaterial campesino y la mezcla de campo y mar.

Figura N ° 24: Gráfico de Valoración de servicios culturales; oportunidades de recreación.

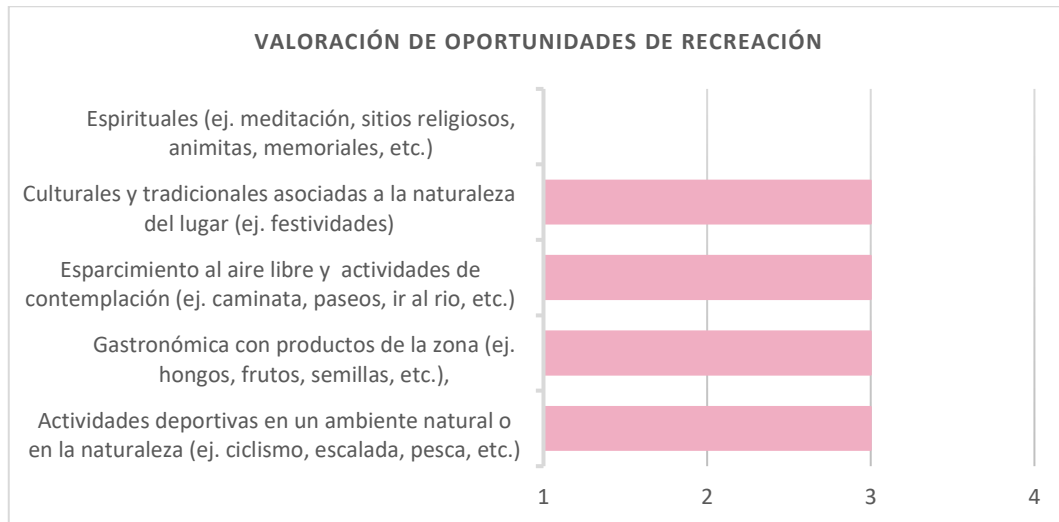
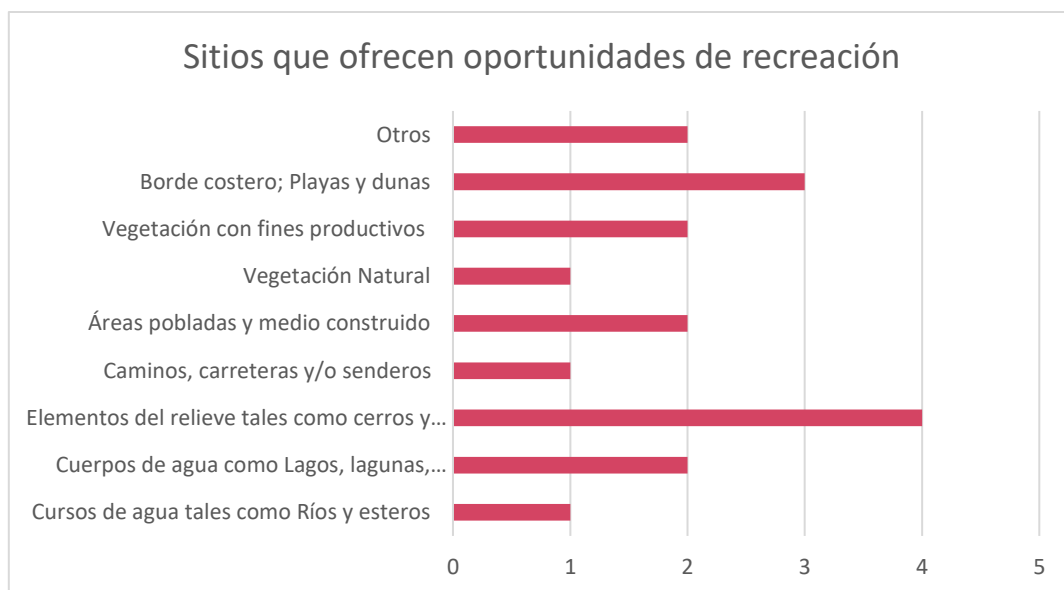
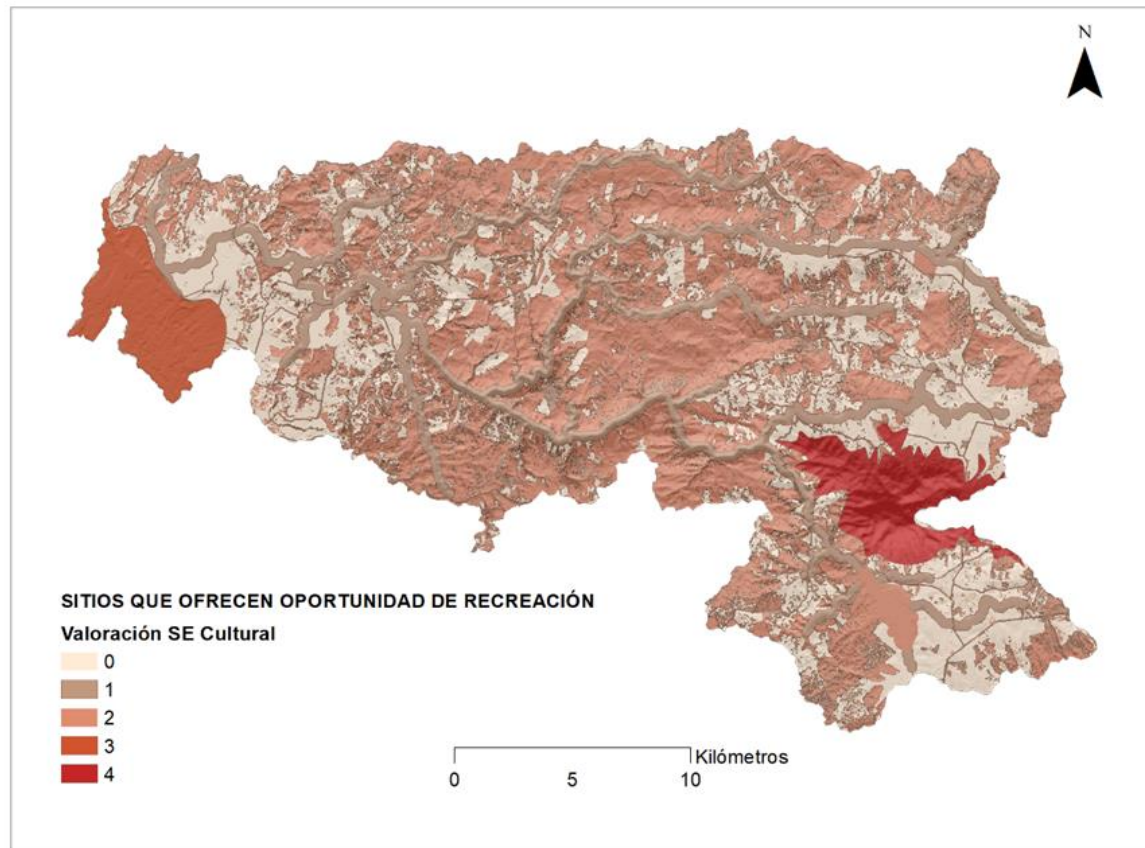


Figura N ° 25: Valoración de sitios que ofrecen oportunidades de recreación



Los resultados obtenidos, permiten espacializar los atributos paisajísticos del área de estudio (**Figura N ° 25**), visualizando en una escala del 0 al 4, la valoración realizada por los entrevistados.

Figura N ° 26: Valoración del SE Cultural; sitios que ofrecen oportunidades de recreación en el área de estudio.

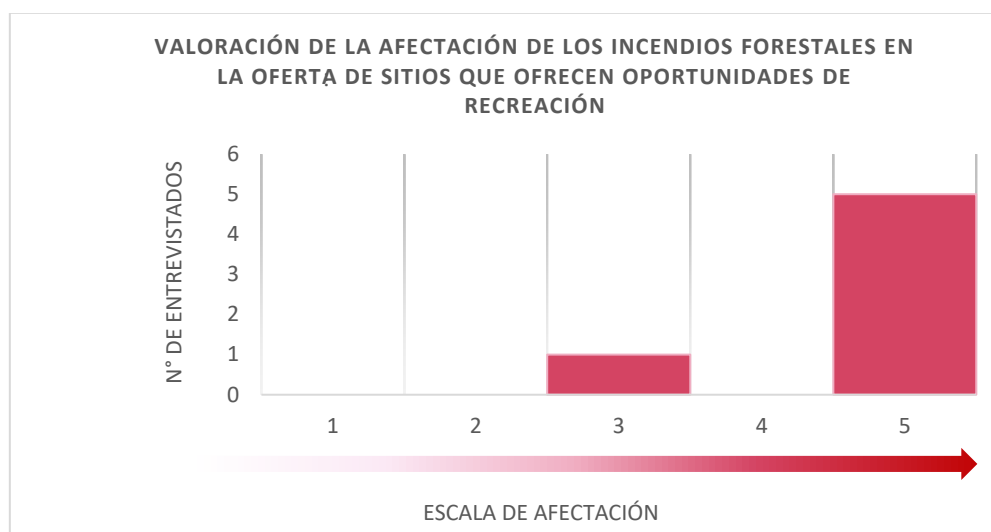


- ***Valoración del Impacto de los incendios***

De todos los entrevistados, la mayor parte declaró haber realizado actividades de recreación en el área de estudio, principalmente deportivas, gastronómicas y culturales, otorgando una valoración media-alta, a la oferta recreativa del área de estudio.

En cuanto a la afectación de los incendios forestales a la oferta de sitios que ofrecen oportunidades de recreación, la mayoría de los entrevistados valoró la afectación con la mayor escala, determinando que existe afectación y que estos servicios culturales disminuyen severamente, desde su apreciación (ver Figura N ° 27). Cabe señalar que acuerdo con el análisis espacial, la mayor parte del área de estudio fue afectada por los incendios forestales, a excepción del área costera.

Figura N ° 27: Valoración de la afectación de los incendios forestales en la oferta de sitios que ofrecen oportunidades de recreación.



En este aspecto, aun cuando se reconoce la afectación, principalmente en cuanto a la belleza escénica del lugar, algunos de los entrevistados, reconocieron que la presión de la actividad forestal solo permite usos compatibles con esa cobertura. En este aspecto, los incendios generan una respuesta por parte del estado y privados, mediante acciones de recuperación ambiental y la habilitación de infraestructura básica afectada por los incendios, lo que además potencia otras actividades de subsistencia tales como la agricultura, además del interés de organizaciones, algunas de ellas internacionales, en el área de estudio. **Lo anterior, se percibe como una liberación de áreas y nuevas oportunidades para el territorio.** Aun así, preocupa el abandono del lugar, dado a que la población es mayor y el uso forestal con financiamiento estatal, no abre mayores oportunidades a los jóvenes.

VII. DISCUSIÓN

7.1 Procesos de regulación y su efecto en la erosión del suelo

La degradación de los suelos es un problema de larga data en Chile, con diversos impactos negativos sobre la provisión de servicios ecosistémicos. La degradación de suelos tiene como expresión la reducción en la calidad de este, la que se expresa de distintas maneras y está conectada con otros problemas ambientales como la pérdida de biodiversidad, el cambio climático y la contaminación, entre otros (Universidad de Chile, 2020).

La erosión en Chile es un fenómeno difícil de cuantificar, donde la mayoría de las investigaciones existentes a escala nacional, se han realizado en base a metodologías de percepción remota mediante el uso de imágenes satelitales con muy pocos datos en terreno (Centro de Información de Recursos Naturales 2010; IREN, 1979).

En este sentido, la metodología aplicada (RUSLE) integrada a herramientas de Sistemas de información geográfico (SIG), corresponde a un modelo empírico o indirecto, donde la pérdida de suelo está expresada como masa por unidad de área por unidad de tiempo y es una función del efecto combinado de seis factores: Factor de erosividad de la lluvia (R); Factor de erosividad del suelo (K); Factor longitud de pendiente (L); Factor grado de la pendiente (S); Factor manejo del cultivo (C) y Factor prácticas de conservación (P). De esta forma, RUSLE ayuda a predecir las variaciones en la erosión en función de los cambios en el uso y manejo del suelo y vegetación, a la vez que auxilia en la selección de éstos. También es importante señalar que la RUSLE está basada en la capacidad de las gotas de lluvia para desprender partículas de suelo y no brinda información certera acerca de la producción de sedimentos ni su deposición dentro de la cuenca (Itzel 2013).

De esta forma, el proceso de erosión del suelo es modificado por el entorno biofísico que comprende el suelo, el clima, el terreno, la cobertura del suelo y las interacciones entre ellos. En este sentido, el efecto de los incendios forestales en la composición del paisaje es evaluable a través de los cambios espacio- temporales que genera el disturbio, modificando de forma abrupta la cobertura y uso del suelo. Por lo cual, se considera que el modelado espacio temporal puede proporcionar un enfoque cuantitativo y consistente para estimar la erosión del suelo y en una amplia gama de condiciones (Ganasri & Ramesh, 2016).

A través de esta metodología, el efecto de los incendios forestales en los procesos de regulación y su efecto en la erosión del suelo, pueden ser espacialmente explícitos y cuantificables. Los modelos espaciales nos permiten analizar la distribución de la erosión, cuantificable en valores de [ton/ha/año] para los distintos periodos analizados, permitiendo también a través de herramientas de reclasificación del ráster generado, clasificar distintos niveles de erosión, en base a los cuales se pueden determinar y cuantificar las superficies dañadas, como indicador válido para la valoración del daño.

Cabe señalar que algunos aspectos evaluados mediante los modelos fueron revisados en terreno durante enero 2021, principalmente algunas de las zonas de mayor erosión en sectores de mayor pendiente, donde la erosión actual resulta no ser del todo aparente, por cuanto dichos sectores actualmente se encuentran protegidos por algún tipo de cubierta vegetal, y su uso por ende está sujeto a las buenas prácticas de manejo (CIREN 2010).

En cuanto a los resultados obtenidos, se considera necesaria una evaluación cuantitativa para inferir el alcance y la magnitud de los problemas de erosión del suelo, de modo que se puedan desarrollar estrategias de manejo sólidas a nivel regional con la ayuda de mediciones de campo (Ganasri & Ramesh 2016), por lo cual se considera necesario avanzar en el desarrollo información que permita comparar los resultados obtenidos de acuerdo con la realidad local.

7.2 Procesos de Regulación del ciclo hidrológico y flujos de agua

La metodología aplicada a través de un modelo espacial para fuentes difusas permite evaluar el impacto en el componente de manera cuantificable y espacialmente explícita. En cuanto al análisis espacio temporal, la definición de los escenarios evaluados, limitado por la disponibilidad de datos para el área de estudio, es esencial en la determinación y la cuantificación del daño ambiental.

Los resultados obtenidos en el presente estudio corresponden al aumento en los regímenes de caudales post incendio, lo que podría ser atribuible al efecto que genera el incendio en la reducción de la cobertura vegetal influyendo además las características de infiltración de los suelos, que para el área de estudio se presentan más impermeables en la parte alta de la cuenca (ver **Figura N ° 17**), además de factores tales como los flujos de evapotranspiración, la repelencia de los suelos quemados, entre otros (Scott, 1993; Wine et al., 2018).

Al respecto, se estima que los cambios en la cobertura vegetal provocada por los incendios forestales, afecta directamente el equilibrio hidrológico de la cuenca en detrimento de sus funciones y su capacidad para presentar servicios de regulación. Lo anterior altera procesos tales como la interceptación, evaporación y transpiración, condicionando de este modo la seguridad del suministro de agua para la población local (Balocchi et al., 2020).

En cuanto a otros estudios similares para el área de estudio, evento estudiado y variable analizada, los resultados sugieren una disminución en la capacidad de las cuencas para regular el caudal debido a los incendios forestales (Schürmann, A. et al, 2017), además de manifestar cambios sustanciales en el comportamiento hidrológico de las cuencas relacionados con la condición del suelo y la cubierta vegetal (Balocchi et al., 2020).

El análisis temporal por medio de modelos que permitan modificar las condiciones de otras variables tales como la precipitación, permite observar de manera aislada los cambios en la provisión de los servicios de regulación como efecto directo del cambio en las coberturas de suelo.

Por otra parte, la determinación de la dinámica de escurrimientos superficiales, resulta ser un indicador válido en la determinación del daño ambiental, cuyo menoscabo en el servicio de regulación, no necesariamente genera una disminución inmediata en el componente y más bien se manifiesta en las alteraciones en los regímenes hidrológicos.

7.3 Características de los sistemas vivos que posibilitan experiencias estéticas de recreación.

Los métodos de valor comunitario han incluido medidas espaciales de valores sociales y otras percepciones del lugar, obtenidas a través de encuestas de preferencias a mapas de SE que logran integrar sistemáticamente estas percepciones con datos biofísicos (Martnez-Harms and Balvanera 2012).

La metodología aplicada directamente a los afectados del territorio, permite obtener datos primarios y/o directos sobre la valoración en la provisión de servicios ecosistémicos culturales asociado a sitios que ofrecen oportunidades de recreación y su relación con los distintos elementos biofísicos del paisaje.

La diferenciación de estos elementos, a través de unidades ambientales homogéneas, es posible mediante Sistemas de Información geográficos (SIG), los cuales tienen la capacidad de incorporar complejidades de las dimensiones espaciales involucradas, ayudando al entendimiento del comportamiento de los SE en una región, dando más detalles de la distribución espacial del ecosistema (Arriagada and Aguayo Arias 2018).

En cuanto a la afectación en la provisión del servicio cultural y considerando que la cultura humana está fuertemente influenciada por los ecosistemas, se debe considerar que cualquier cambio en ellos significa un impacto en la identidad cultural y la estabilidad social. De este modo, los cambios en los servicios culturales pueden tener una fuerte influencia en la salud, ya que afectan las oportunidades espirituales, de inspiración, estéticas y recreativas y estos a su vez afectar tanto los estados físicos y emocionales de las personas (Arriagada and Aguayo Arias 2018).

De acuerdo con lo anterior, la mayor parte de los entrevistados determino la afectación del incendio forestal en la provisión de servicios culturales, específicamente en la oferta recreativa del área de estudio, en términos significativos (**Figura N ° 27**). En este sentido resulta evidente que los cambios en la calidad visual del paisaje y la belleza escénica propia del lugar podrían afectar la valoración del servicio cultural en evaluación, sin embargo, la degradación de la calidad visual no necesariamente implicaría una disminución en la oferta recreativa en el corto-mediano plazo, lo anterior considerando, que de acuerdo a lo señalado por los entrevistados, los incendios generan una respuesta inmediata reactiva, mediante acciones concretas que aumentan el interés de organizaciones y el Estado, sobre el territorio afectado.

Las dificultades del método de valoración a través de una entrevista pueden estar atribuidas a la representatividad de opinión de los entrevistados, sin embargo, las herramientas tecnológicas pueden ayudar en mejorar el alcance de la entrevista, asimismo se hace presente que las valoraciones de los habitantes locales convergen

o no con las de otros grupos sociales como planificadores y científicos, lo cual corresponde a una cuestión empírica, cuya resolución en la actualidad genera un gran desafío político (Nahuelhual et al. 2016).

Igualmente, se considera que los resultados obtenidos y la información generada por este estudio podría servir como fuente de información válida en la determinación de las oportunidades de recreación que ofrece el área de estudio.

Asimismo, y en miras de recuperar el medio ambiente dañado y en la aplicación de diferentes acciones de reparación y restauración, la información generada por este estudio podría ser utilizada para fortalecer la actividad recreativa, mediante la adopción de políticas y la implementación de infraestructura necesaria para potencial el valor cultural del área de estudio. En este sentido, la continuidad del valor cultural depende del involucramiento de la comunidad con su territorio y el traspaso a las generaciones siguientes.

Se considera, además, que la relevancia de valorar los servicios culturales mediante metodologías participativas con los actores del territorio afectado permite el acercamiento de los evaluadores a la realidad del territorio y el involucramiento de la población con la recuperación ambiental.

VIII. CONCLUSIONES

En este trabajo se elaboró y sometió a prueba una metodología para cuantificar el daño ambiental producido por un incendio forestal.

Con esto, se evidencia que los incendios forestales son un agente de disturbio en el territorio y en sus sistemas socioecológicos, el que se manifiesta mediante cambios en la estructura biofísica del paisaje, en detrimento de sus funciones, generando alteraciones en los flujos que van desde el ecosistema al bienestar humano, afectando así su capacidad potencial para presentar servicios ecosistémicos en el tiempo.

En el análisis de los servicios de regulación del suelo y su efecto en la erosión, los resultados permiten evidenciar un incremento porcentual de 252 % en las tasas medias anuales de erosión de la cuenca entre el año 2016 y 2018, considerando como factor preponderante entre un año y otro, el cambio de cobertura de suelo, por el efecto directo de los incendios forestales y un aumento en los valores de erosividad de las lluvias R (+ 29%). Asimismo, a partir de los incendios los niveles de erosión suben considerablemente durante el primer periodo (900% en los niveles de erosión grave; 130% en niveles de erosión moderada). Durante el tercer periodo, existe un descenso en las tasas de erosión, relacionado con el efecto de las coberturas de suelo principalmente el crecimiento de la vegetación y el descenso en la erosividad de las lluvias, Factor R que durante el periodo presentó un descenso (-9%).

En cuanto a los procesos de regulación del ciclo hidrológico y flujos de agua, en el escenario post-incendio (2018), los mayores aumentos en caudales (%) se presentan en parte alta de la cuenca con variaciones en torno al 60 % respecto de los valores de escurrimiento superficial referenciales al año 2016, posteriormente en el escenario 2020, la mayor disminución de caudales se observa en la parte media- baja de la cuenca con descensos en los caudales referenciales que fluctúan entre un 33-45% respecto del año de referencia 2016, sin embargo estos son también atribuibles al descenso en las precipitaciones durante este periodo y a las características estructurales del suelo. Para el análisis más acabado en términos del cambio en las coberturas, se simula un escenario de precipitaciones constantes respecto del año referencial (2016) donde los resultados dan cuenta del sustento de la condición post incendio inicial (2018), con un aumento en los valores de escorrentía en torno al 30-50% respecto de los valores referenciales al año 2016 con mayor impacto en la parte alta de la cuenca.

Finalmente, respecto de la evaluación de las características de los sistemas vivos que posibilitan experiencias de recreación, la metodología aplicada mediante una encuesta de valoración y un ejercicio de mapeo, permite identificar las oportunidades de recreación y su relación con los atributos del paisaje. Desde la percepción de los entrevistados, los elementos más valiosos del paisaje son atribuidos a: el relieve, el borde costero, la vegetación con fines productivos asociada a la recolección de hongos silvestres, áreas pobladas y cuerpos de agua, principalmente referidos a Humedales presentes en el lugar, entre otros, se considera el paisaje cultural inmaterial campesino y la mezcla de campo y mar. En cuanto a la afectación de los incendios forestales a la oferta de sitios que ofrecen oportunidades de recreación, la mayoría de los entrevistados valoró la afectación con la mayor escala, determinando que existe afectación y que estos servicios culturales disminuyen severamente. Y aun cuando se reconoce la afectación, principalmente en cuanto a la belleza escénica del lugar, desde la percepción de los entrevistados los incendios generan también una liberación de áreas y nuevas oportunidades para el territorio.

El daño ambiental definido como toda pérdida, disminución, detrimento o menoscabo significativo inferido al medio ambiente o a uno o más de sus componentes, es abordable desde la perspectiva del paisaje, evaluando servicios ecosistémicos. En este aspecto, el análisis espacio temporal permite definir escenarios referenciales previos al impacto y escenarios posteriores, necesarios para la determinación del daño ambiental. Aun cuando, la definición de escenarios se encontrará condicionada a la disponibilidad de datos complementarios a los modelos definidos, principalmente datos biofísicos representativos para el área de estudio. Complementariamente, el análisis del daño, mediante la valoración de servicios ecosistémicos profundiza los efectos sobre la estructura y nos permite medir la afectación sobre el funcionamiento del ecosistema y de esta forma el efecto sinérgico generado sobre el medio ambiente, determinando el alcance del incendio y como se afecta la capacidad del ecosistema para prestar servicios en el tiempo. Asimismo, la valoración del daño ambiental mediante servicios ecosistémicos da cuenta que, no necesariamente el daño se

evidenciará mediante una pérdida o disminución inmediata del componente, sino más bien en la capacidad del ecosistema para prestar servicios y proveer recursos en el tiempo. Asimismo, las metodologías aplicadas mediante modelos espacio temporales permiten evaluar de forma explícita y valorar cuantitativamente las alteraciones ocasionadas en los servicios de regulación del suelo y regulación hídrica. Por su parte, la valoración del servicio cultural a partir de una entrevista aplicada a los afectados del territorio permite recoger la valoración de los servicios relacionados con oportunidades de recreación y su relación con los elementos del paisaje, que permiten determinar su afectación.

La evolución del paisaje frente a las modificaciones que han alterado su estructura y funcionamiento, dan cuenta de un sistema sensible y vulnerable a los cambios, pero que al parecer persiste la capacidad de resiliencia luego de las perturbaciones, incluido el fuego. En este punto y de acuerdo con el análisis observado en el segundo escenario post-incendio, al cabo de 3 años existen ciertos niveles de recuperación de la estructura y sus funciones, aun por debajo de estado referencial que no necesariamente es el ideal. Y si bien el análisis de cambio permitirá determinar el grado de recuperación del medio ambiente dañado, es importante ampliar la temporalidad para la evaluación de la capacidad del sistema de prestar ciertos SE en el tiempo.

Al respecto, se estima necesario que las acciones de recuperación del medio ambiente dañado y del paisaje degradado consideren para ello la “restauración ecológica” que tiene como objeto el restablecimiento de una condición ambiental deseable para la sociedad, y que de este modo incorpore el monitoreo y seguimiento en la recuperación de los servicios ecosistémicos, considerando dentro del contexto de la restauración, acciones coordinadas y puntuales de reparación, remediación y protección de los componentes afectados.

En este contexto, la ventaja en disponer insumos tecnológicos como imágenes satelitales y diversos softwares de procesamiento para estas, al igual que la disponibilidad de métodos para el análisis geográfico, utilizados en la presente investigación, se considera relevante para la obtención de resultados más tangibles, especialmente respecto a aquellas variables de difícil obtención, tales como la pérdida de suelo anual [ton/ha/año] o bien superficie afectada y caudales [m³/seg], que permiten de alguna forma tanto cuantificar y valorar las pérdidas ocasionadas por el daño, como monitorear su recuperación tras acciones de reparación o restauración.

Al respecto y como desafío futuro, se considera necesaria la estandarización de modelos específicos y una evaluación cuantitativa para inferir el alcance y la magnitud de los resultados obtenidos, en función de la propia realidad regional. Igualmente, se considera que la metodología aplicada es replicable para otras áreas dañadas que han sufrido un cambio estructural en su paisaje y que deseen obtener información sobre la respuesta en la provisión de servicios ecosistémicos, logrando integrar gran parte de las variables que influyen en las funciones de un ecosistema

y en la provisión de determinados servicios ecosistémicos, generando indicadores que son cuantificables y analizables para la determinación del daño ambiental

Además, la metodología elaborada en este trabajo permite obtener resultados que son analizables espacialmente, permitiendo focalizar acciones de reparación y restauración del medio ambiente dañado. En este aspecto, cabe señalar que las acciones contempladas ante la determinación del daño ambiental se encuentran limitadas solo a acciones de reparación del medio ambiente, que no necesariamente devuelven la funcionalidad del sistema, pero que bien podrían ser parte de un Plan de restauración general que trabaje en la recuperación de sus funcionalidades.

A partir del análisis del daño, se considera que actualmente en Chile la restauración del ecosistema no es exigible a un privado, sino más bien ejecutable a través del Estado, quien además tiene el deber del velar por el bien común de las personas y ese bien común depende definitivamente del buen funcionamiento del ecosistema.

Finalmente, se espera que el presente trabajo se constituya como insumo técnico para la cuantificación y comprensión del daño ambiental, la recuperación de los paisajes y la planificación del territorio.

IX. REFERENCIAS

Altamirano, A., Salas, C., Yaitul, V., Smith-Ramirez, C., & Ávila, A. (2013). Influencia de la heterogeneidad. Arriagada, Kimberly, and Mauricio Aguayo Arias. 2018. "Mapeo y Caracterización Servicio Ecosistémico de Provisión y Recreación En La Cordillera de Nahuelbuta (37°30' - 38°00' Sur)." *Investigaciones Geográficas* (55): 69.

Alva-Álvarez, G. I., Reyes-Hernández, H., Palacio-Aponte, Á. G., Núñez-López, D., & Muñoz-Robles, C. (2018). Wildland fire-induced landscape changes in Madera, Chihuahua region. *Madera Bosques*, 24(3), 1-15. <https://doi.org/10.21829/myb.2018.2431697>

Arriagada, K., & Aguayo Arias, M. (2018). Mapeo y caracterización servicio ecosistémico de provisión y recreación en la cordillera de Nahuelbuta (37°30' - 38°00' Sur). *Investigaciones Geográficas*, 55, 69. <https://doi.org/10.5354/0719-5370.2018.47024>

Asta-Buruaga F. y Cienfuegos (1899). *Diccionario Geográfico de la República de Chile*.

Balocchi, F., Flores, N., Neary, D., White, D. A., Silberstein, R., & Ramírez de Arellano, P. (2020). The effect of the 'Las Maquinas' wildfire of 2017 on the hydrologic balance of a high conservation value Hualo (*Nothofagus glauca* (Phil.) Krasser) forest in central Chile. *Forest Ecology and Management*, 477(January), 118482. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118482>

Bonilla et al., 2010. 2010. "Water Erosion Prediction Using the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) in a GIS Framework, Central Chile." *Chilean journal of agricultural research* 70(1): 159-69.

Bowman, David M.J.S. et al. 2019. "Human-Environmental Drivers and Impacts of the Globally Extreme 2017 Chilean Fires." *Ambio* 48(4): 350-62.

Bowman, DMJS, Kolden, CA, Abatzoglou, JT y col. Incendios de vegetación en el Antropoceno. *Nat Rev Earth Environ* 1, 500-515 (2020). <https://doi.org/10.1038/s43017-020-0085-3>

Bond, W. J., Woodward, F. I., & Midgley, G. F. (2005). The global distribution of ecosystems in a world without fire. *New Phytologist*, 165(2), 525-538. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2004.01252.x>

Burkhard y Maes, 2017. 2017. Mapping Ecosystem Services What to Map. <https://ab.pensoft.net/article/12837/>.

Campos S. (2019) EFECTO DE LA DINÁMICA DE COBERTURA DE SUELO SOBRE LA ESCORRENTÍA SUPERFICIAL EN MICROCUENCAS COSTERAS DEL CENTRO SUR DE CHILE. Proyecto de Título presentado a la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de Concepción para optar al título profesional de Ingeniera en Conservación de Recursos Naturales. Universidad de Concepción, Facultad De Ciencias Forestales.

Castellnou, M., Álvarez, R., Almodóvar, J., Martins, F., Mayoral, P. C., Alfonso, L., & Basile, G. (2017). Informe Técnico: Situación de incendios forestales en Chile entre Enero-Febrero 2017. 11. <https://www.camara.cl/pdf.aspx?prmID=98604&prmTIPO=DOCUMENTOCOMISION>

CIREN. 2010. "Determinación de La Erosión Actual y Potencial de Los Suelos de Chile." *Ministerio de Agricultura* 53(9): 292.

CIREN 1997. Estudio agrologico del suelo VII Región del Maule.

Comunidades Europeas. 2009. "Cambio Climático: El Suelo Puede Cambiar Las Cosas" : 29. <http://europa.eu>.

CONAF (2014) Plan de Manejo Reserva Nacional Los Ruiles. Recuperado de; https://www.conaf.cl/wp-content/files_mf/1445458028PM_RNLosRuiles.pdf

CONAF (2017) (1). Descripción y efectos "Tormenta de Fuego." http://www.conaf.cl/tormenta_de_fuego-2017/DESCRIPCION-Y-EFECTOS-TORMENTA-DE-FUEGO-18-ENERO-AL-5-FEBRERO-2017.pdf

Corporación Nacional Forestal (CONAF) 2017 (2). 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. Informe Técnico. 56 p. Santiago, Chile.

CORRAL, H. (1996). Daño ambiental y responsabilidad civil del empresario en la Ley de Bases Generales del Medio Ambiente. *Revista Chilena de Derecho*, 23(1), 165–166. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Cubillos, 2020. Impactos de los Incendios del Verano 2017, en la carga de sedimentos de las cuencas costeras del centro Sur de Chile. Habilitación Profesional presentada a la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de Concepción para optar al título profesional de Ingeniería en Conservación de Recursos Naturales. UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES.

De, F. (2017). Assessing the effect of forest fire severity on streamflow regime – a case study of a burned area in South-Central Chile. 37(May), 1150422.

De la Barrera, F., Barraza, F., Favier, P., Ruiz, V., & Quense, J. (2018). Megafires in Chile 2017: Monitoring multiscale environmental impacts of burned ecosystems. *Science of the Total Environment*, 637–638, 1526–1536. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.119>

Echeverría, Cristian. R. Fuentes. F. de la Barrera. M. Aguayo. A. E. (2018). Planificación ecológica de la infraestructura ecológica de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos y programa regional de prioridades de restauración ecológica en el contexto de los incendios de la temporada 2016-2017: aplicación en Región del Maule

Fuentes R., (2013). Modelamiento de impactos del cambio de uso de suelo en la carga de sedimentos y nutrientes en la cuenca lacustre del lago Rupanco , Región de Los Lagos , Chile.

Esparza (2017) Impactos del cambio de la cobertura y el uso del suelo en la oferta de servicios ecosistémicos de regulación hídrica en el centro – sur de Chile. Tesis para optar al grado de Magíster en Ciencias Forestales. Departamento de de Manejo de Bosques y Medio Ambiente, Facultad de Ciencias Forestales Universidad de Concepción.

Esquivel, J., Echeverría, C., Saldaña, A., & Fuentes, R. (2020). High functional diversity of forest ecosystems is linked to high provision of water flow regulation ecosystem service. *Ecological Indicators*, 115(April), 106433. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106433>

Esse, C., Valdivia, P., Encina-Montoya, F., Aguayo, C., Guerrero, M., & Figueroa, D. (2014). Modelo de análisis espacial multicriterio (AEMC) para el mapeo de servicios ecosistémicos en cuencas forestales del sur de Chile. *Bosque*, 35(3), 289–299. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002014000300004>

Farhan, Y., & Nawaiseh, S. (2015). Spatial assessment of soil erosion risk using RUSLE and GIS techniques. *Environmental Earth Sciences*, 74(6), 4649–4669. <https://doi.org/10.1007/s12665-015-4430->

Ganasri, B. P., & Ramesh, H. (2016). Assessment of soil erosion by RUSLE model using remote sensing and GIS - A case study of Nethravathi Basin. *Geoscience Frontiers*, 7(6), 953–961. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2015.10.007>

Griggs, D., Stafford-Smith, M., Gaffney, O. et al. Objetivos de desarrollo sostenible para las personas y el planeta. *Nature* 495, 305-307 (2013). <https://doi.org/10.1038/495305a>

GONZALEZ DEL TANAGO, M. (1991). La ecuación universal de pérdidas de suelo. Pasado, presente y futuro. *Ecología* (Madrid), 5, 13-50.

Hurteau, M. D., Bradford, J. B., Fulé, P. Z., Taylor, A. H., & Martin, K. L. (2014). Climate change, fire management, and ecological services in the southwestern US. *Forest Ecology and Management*, 327(September), 280-289. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.08.007>

IREN (1965) Evaluación de la Erosión - Provincia. de Maule... Instituto de Investigación de Recursos Naturales .
VALPARAISO V CAUTIN

Itzel, Castro Mendoza. 2013. "Estimación de Pérdida de Suelo Por Erosión Hídrica En Microcuenca de Presa Madín , México Soil Loss Estimate by Hydric Erosion at Madin Dam Watershed , State of Mexico , Mexico." *Ingeniería Hidráulica Y Ambiental XXXIV*(2): 3-16.

Jaksic, F. M., & Fariña, J. M. (2015). Incendios, sucesión y restauración ecológica en contexto. *Anales Del Instituto de La Patagonia*, 43(1), 23-34. <https://doi.org/10.4067/s0718-686x2015000100003>

Kastl B. (2014) ValuES: Methods for integrating Ecosystem Services into policy, planning & practice. <https://www.researchgate.net/publication/343615696>

Jullian et al., 2018. 2018. "Assessment of the Ecosystem Service of Water Regulation under Scenarios of Conservation of Native Vegetation and Expansion of Forest Plantations in South-Central Chile." *Bosque* 39(2): 277-89.

Luebert, F & Plischoff P (2006). Sinopsis bioclimática y vegetacional de Chile. Serie Biodiversidad. Ed Universitaria, Santiago de Chile. 316 pp.

Maes, Joachim et al. 2012. "Mapping Ecosystem Services for Policy Support and Decision Making in the European Union." *Ecosystem Services* 1(1): 31-39.

Mancilla D. (2020) EFECTOS DEL INCENDIO FORESTAL DEL AÑO 2017 EN LA PROVISIÓN DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS Y LA RECUPERACIÓN DEL PAISAJE. Trabajo Final para optar al grado de Magíster en Análisis Geográfico, Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Geografía. Departamento de Geografía, Programa de Magíster en Análisis Geográfico.

Martnez-Harms, María José, and Patricia Balvanera. 2012. "Methods for Mapping Ecosystem Service Supply: A Review." *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services and Management* 8(1-2): 17-25.

Mataix-Solera, Jorge, and Artemi Cerdà. 2009. "Los Efectos de Los Incendios Forestales En Los Suelos. Síntesis y Conclusiones. Nuevos Retos En La Investigación

y En La Gestión.” Efectos de los Incendios Forestales sobre los Suelos en España (July 2015): 493–529.

Montero, A, and Ronny Viales. 2015. “La Teoría Del Cambio En El Paisaje a Partir Del Cambio Del Uso De La Tierra Y La Cobertura Del Suelo (Enfoque Lucc). Su Utilidad Para La Historia Ambiental the Theory of Change in the Landscape From Land Use and Land Cover Change (Lucc Approach). Its Usef.” *Rev. Reflexiones* 94(2): 25–33. <http://www.igbp-es.org/>.

Muñoz (2019) Evaluación del efecto del cambio de uso de suelo (patrón espacial) en la calidad del agua fluvial. Cuencas de los ríos Culenco y Leiva, región del Biobío, Chile. Trabajo Final para optar al grado de Magíster en Análisis Geográfico. Universidad de Concepción Dirección de Postgrado, Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Geografía Programa de Magíster en Análisis Geográfico.

Myers, N., Mittermeier, R., Mittermeier, C., da Fonseca, G., & Kent, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403(6772): 853–858. [175]. *Nature*, 403(6772), 853–858

Nahuelhual, Laura et al. 2016. “Mapping Social Values of Ecosystem Services: What Is behind the Map?” *Ecology and Society* 21(3).g Social Values of Ecosystem Services: What Is behind the Map?” *Ecology and Society* 21(3).

Nahuelhual, L., Carmona, A., Lozada, P., Jaramillo, A., & Aguayo, M. (2013). Mapping recreation and ecotourism as a cultural ecosystem service: An application at the local level in Southern Chile. *Applied Geography*, 40, 71–82. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2012.12.004>

National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) Coastal Services Center (2014), User’s Manual for OpenNSPECT, Version 1.2. <https://coast.noaa.gov/digitalcoast/tools/opennspect.html>

Parrington, M., F. Di Giuseppe, C. Vitolo, and F. Wetterhall. 2017. Devastating wildfires in Chile in January 2017. *ECMWF Newsletter* 151: 12–13.

Ramírez, C., Fariña, J. M., Contreras, D., Camaño, A., San Martín, C., Molina, M., Moraga, P., Vidal, O., & Pérez, Y. (2014). La diversidad florística del humedal “Ciénagas del name” (región del Maule) comparada con otros humedales costeros de Chile central. *Gayana - Botanica*, 71(1), 108–119. <https://doi.org/10.4067/S0717-66432014000100011>

Renard, K.G., G.R. Foster, G.A. Weesies, D.K. McCool, and D.C. Yoder (Coordinators). 1997. Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning With the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). USDA Agriculture Handbook No. 703

Scott, D. F. (1993). The hydrological effects of fire in South African mountain catchments. *Journal of Hydrology*, 150(2–4), 409–432. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(93\)90119-T](https://doi.org/10.1016/0022-1694(93)90119-T)

Schürmann, A. et al, 2017. Assessing the effect of forest fire severity on streamflow regime – a case study of a burned area in South-Central Chile, Institute for

Geosciences and Geography, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Germany. Laboratorio de Ecología de Paisaje, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Concepción, Chile. Instituto de Geografía, Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.

Tisné J.B, (2014). "Los Intereses Comprometidos En El Daño Ambiental" 1: 323. Comentario al Nuevo Procedimiento Por Daño Ambiental De La Ley N° 20.600. Revista de Derecho Universidad Católica del Norte Sección: Estudios.

Thonicke, K., Venevsky, S., Sitch, S., & Cramer, W. (2001). The Role of Fire Disturbance for Global Vegetation Dynamics: Coupling Fire into a Dynamic Global Vegetation Model. *Global Ecology and Biogeography*, 10(6), 661-677. Retrieved March 23, 2021, from <http://www.jstor.org/stable/3182693>

Úbeda, X., & Sarricolea, P. (2016). Wildfires in Chile: A review. *Global and Planetary Change*, 146, 152–161. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2016.10.004>

Universidad de Chile (2018) Informe País: Estado del Medio Ambiente en Chile 2018. Centro de Análisis de Políticas Públicas del Instituto de Asuntos Públicos.

Valencia, D., Saavedra, J., Brull, J., & Santelices, R. (2018). Severidad del daño causado por los incendios forestales en los bosques remanentes de *Nothofagus alessandrii* Espinosa en la Región del Maule de Chile. *Gayana. Botánica*, 75(1), 531–534. <https://doi.org/10.4067/s0717-66432018000100531>

Vidal, Pablo, Teresa Nuño, and Marco Teórico. 2014. "De La Comunidad Autónoma De Euskadi (Cae)."

Wine, M. L., Cadol, D., & Makhnin, O. (2018). In ecoregions across western USA streamflow increases during post-wildfire recovery. *Environmental Research Letters*, 13(1). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa9c5a>

Wu, J. (2013). Landscape sustainability science: Ecosystem services and human well-being in changing landscapes. *Landscape Ecology*, 28(6), 999–1023. <https://doi.org/10.1007/s10980-013-9894-9>

X. ANEXOS

10.1 Anexo 1

Tabla N ° 8: Valores de calibración para coberturas de uso de suelo y curva número según textura de suelo.

COBERTURA	Valor Curva Número				RUSLE
	CN-A	CN-B	CN-C	CN-D	FACTOR C
Matorrales	0.55	0.89	0.97	0	0.010
Bosque Nativo	0.5	0.89	0.95	0	0.004
Tierras irrigadas	0.7	0.92	0.96	0	0.240
Plantaciones	0.5	0.8	0.89	0.88	0.010
Suelos desnudos	0.77	0.9	0.97	1	1
Suelos impermeables	0.50	0.89	1	1	0.001
Praderas	0.5	0.9	0.95	0	0.08
Áreas Quemadas de Baja Intensidad	0.5	0.9	1	1	0.1
Áreas Quemadas de Alta Intensidad	0.77	0.9	0.98	0.98	0.7
Cuerpos de Agua	0	0	0	0	0

10.2 Anexo 2

Tabla N ° 9: Identificación de sitios con potencial de recreación en el área de estudio

N °	Sitios detectados	Oportunidades de recreación	Actividades
1	Reserva Nacional Los Ruiles sector "El Fin"	Esparcimiento; Senderos y avistamiento de Fauna	Último vestigio de bosque nativo; hualo o roble maulino (<i>nothofagus glauca</i>) y el aún más escaso ruil (<i>nothofagus alesandrii</i>). Ambas especies nativas se encuentran dentro de las más amenazadas de peligro de extinción en Chile.
2	Mina de Cuarzo	Esparcimiento; con potencial turístico.	Proyecto de extracción y clasificación de mineral de cuarzo para purificación del cobre en el proceso de fundición y elaboración de vidrio, desde un terreno ubicado en el Fundo Galumávida, Comuna de Empedrado.

3	Cerro el Name	Esparcimiento y deportivas; Cabalgatas, turismo ecuestre, rutas para ciclismo y trekking, contemplación, fiesta de la "chuchoca en olla", "Faluchos maulinos", cultivos y viñedos, turismo de restauración.	Punto más alto de la Cordillera de la Costa en la región del Maule, con un poco más de 800 metros de altura y colindante al humedal Ciénagas del Name.
4	Humedal Ciénagas del Name	Esparcimiento: Avistamiento de aves.	Humedal de agua dulce denominado el último humedal existente en el secano interior de la zona central del país (35°45S; 72°13O), sitio prioritario para la conservación de la biodiversidad que alberga 81 especies de aves (www.ebird.org) algunas de ellas en peligro de extinción, posee además gran diversidad vegetal.
5	Fundo Quenehuao	Esparcimiento y deportivas; Agroturismo; Cabalgatas, industria de lana, casas patronales	Industria textil, proceso de hilado de lanas, instalada en un predio de explotación forestal de pino insigne. En ella se procesa la producción originada en una masa ganadera propia y lana proveniente de pequeños ganaderos de la zona.
6	Valle de la Orilla	Esparcimiento y gastronómicas: recolección de hongos, Trilla a yegua suelta, viñas.	Valle que drena el Estero La orilla, ubicado en la parte superior norte de la cuenca.
7	Cerro Peñalquín	Culturales y tradiciones: Cabalgatas, carreras a la chilena, barrilete, guinkana y música folclórica.	Ruta cerro Peñalquín, Los Corrales y Quenehuo

8	Embalse empedrado	Esparcimiento	Embalse estacional que almacena 2,7 millones de m ³ y 21 metros de altura máxima que regulará las aguas excedentes de invierno en la quebrada junquillar, para el riego de 272,9 hás. en el Valle del estero La Orilla. Aparte de la presa, contempla una tubería matriz de conducción y distribución predial y un acueducto alimentador al embalse.
9	Empedrado	Esparcimiento, culturales tales como fiestas costumbristas, deportivas	Museo Manuel Arellano que contiene además muestras de árboles; Fiesta del Oro Verde, Fiesta de la Purísima; Complejo Turístico La Rana, Estadio deportivo, Plaza y Parroquia.
10	Humedal Reloca	Esparcimiento: Avistamiento de aves, cicloturismo, etc.	Santuario de la Naturaleza ubicado en Pahuil, comuna de Chanco, en la VII Región del Maule. Se emplaza en el área de desembocadura del río Reloca, cubriendo una superficie de 394 hectáreas. Se caracteriza por poseer un alto valor ambiental.
11	Ruta M550	Esparcimiento, culturales, deportivas	Ruta turística
12	Ruta M582	Esparcimiento, deportivas	Ruta de cabalgatas