

ANÁLISIS DE IMPACTO DEL INCENDIO DE 2014 EN EL VERGEL, REGIÓN DE VALPARAÍSO

IMPACT ANALYSIS OF 2014 FIRE IN THE VERGEL, VALPARAÍSO REGION

Sr. Fernando González Aliste¹ y Sr. Yonatan Quintana Jara²

RESUMEN

En Valparaíso durante el mes de abril del año 2014 se originó un incendio forestal que se propagó por 07 cerros de la comuna homónima, este siniestro afectó más de 1.000 ha., y 2.900 viviendas, por el impacto provocado en la población y en el medio ambiente es reconocido como "El gran incendio de Valparaíso".

El presente estudio tiene por finalidad analizar el impacto del incendio en un sector de la población El Vergel del cerro La Cruz, que es un área cercana al foco inicial del fuego, la que presenta características geomorfológicas favorables para la propagación de las llamas, producto de las abruptas pendientes, zonas de interfaz urbano-rural y un desorden urbanístico que ha ido en creciente incremento, dejando más expuestos las edificaciones del sector.

Para realizar la investigación se utilizó el método del estudio multitemporal a partir de imágenes capturadas en diferentes épocas por un sensor fotogramétrico aerotransportado, del cual se generaron diferentes productos como mosaicos georreferenciados y planimetría de la zona, a partir de los cuales se realizó un análisis con programas de sistemas de información geoespacial, logrando cuantificar y evaluar los daños causado por la catástrofe, como también la reconstrucción de las edificaciones, para finalmente determinar las zonas de alto riesgo y las medidas de mitigación implementadas posterior al evento. Se hace presente que esta metodología de investigación queda a disposición a los diferentes organismos públicos o particulares para ser replicado no tan solo para incendios forestales, si no para cualquier tipo de catástrofes.

Palabras claves: incendio forestal, interfaz urbano-rural, análisis multitemporal, aerofotogrametría.

ABSTRACT

In Valparaíso, during the month of April 2014, a forest fire spread through seven hills of the commune of the same name, affecting more than 1,000 hectares and 2,900 homes, and is known as "The Great Fire of Valparaíso" because of the impact it had on the population and the environment.

The purpose of this study is to analyze the impact of the fire in a sector of the population of El Vergel on the hill of La Cruz, which is an area close to the initial focus of the fire, which presents favorable geomorphological characteristics for the propagation of the flames, product of the abrupt slopes, zones of urban-rural interface and an urbanistic disorder that has been increasing, leaving more exposed the buildings of the sector.

To carry out the research, the method of multi-temporal study was used from images captured at different times by an airborne photogrammetric sensor, from which different products were generated as georeferenced mosaics and planimetry of the area, from which an analysis was made with geospatial information system programs, managing to quantify and assess the damage caused by the disaster, as well as the reconstruction of buildings, to finally determine the high-risk areas and mitigation measures implemented after the event.

This research methodology is available to different public or private organizations to be replicated not only for forest fires, but for any type of disaster.

¹ Escuela Ciencias de la Tierra, Observatorio en Gestión de Riesgo de Desastres, Universidad Bernardo O'Higgins.
fergosur16@gmail.com

² Escuela Ciencias de la Tierra, Observatorio en Gestión de Riesgo de Desastres, Universidad Bernardo O'Higgins,
yonatan.quintana@gmail.com

Keywords: forest fire, urban-rural interface, multi-temporal analysis, aerial-photogrammetry

INTRODUCCIÓN

Los incendios forestales en Chile son unas de las catástrofes más comunes en el territorio nacional (Territorium, 2012), esto debido a diversos factores como son la composición del suelo (tipo de vegetación) y la sequía creciente de los últimos años, donde la CONAF lo describe como un fuego injustificado e incontrolable, cualquiera sea su origen, propagándose sin control en terrenos rurales, a través de la quema de vegetación leñosa, arbustiva o herbácea, viva o muerta, alcanzando incluso y de manera deplorable para la urbanización (CONAF, 2011). Un incendio provoca daños irreparables a las personas, propiedad o ambiente y la mayoría de las veces es provocada por la acción humana. En consecuencia, es factible inferir que estas perturbaciones son una de las más severas en el ecosistema, ya que no solo afecta a las personas, sino que también al entorno que lo rodea.

En Chile, los incendios forestales se pueden originar a lo largo de todo el país, especialmente donde las condiciones ambientales, tales como el estrés hídrico (carencia de lluvias), aumentos de temperaturas y flujos de vientos, favorecen la ignición de la vegetación combustible. Además, las áreas más afectadas con estos siniestros son los sectores periurbanos y de interfaz urbano-rural “zona en la que el terreno forestal entra en contacto con zonas edificadas” (Galiana, 2012, pág. 206), “donde el componente humano coexiste en un gradiente espacial con las tierras ocupadas por actividades agrícolas o forestal u otro tipo de uso de suelo distinto a la ocupación en infraestructura” (ONEMI, 2017, pág. 10), condición muy propia de la zona centro-sur de nuestro país, afectando severamente a la población.

Si bien la causa principal de estos eventos se centra en el ser humano, existen factores y componentes adversos que influyen en el comportamiento, intensidad, magnitud y velocidad de los incendios forestales, como son: “la topografía, las pronunciadas pendientes del terreno que influye directamente en la velocidad de avance del fuego, pues a mayor pendiente se obtiene una mayor inclinación de las llamas y una mayor intensidad calórica a nivel del suelo” (Castillo, 2013, pág. 41); por otra parte, basado en el trabajo de González-Mathiesen, March, & Stanley (2019) menciona que los factores del clima extremo, a consecuencias del cambio climático, como son el

viento, alza de temperaturas y disminución de la humedad; “la acumulación de material vegetal seco altamente combustible, especialmente en quebradas y zonas alta pendiente hace que el fuego presente comportamientos extremos” (Castillo, 2013, pág. 41).

“La Región de Valparaíso en Chile Central concentra el mayor número de incendios forestales localizados en áreas de interfaz urbano-forestal de todo el país” (Territorium, 2012), donde uno de los siniestros forestales más significativos y recordados que cumple con los factores anteriormente mencionados, fue el conocido “Gran Incendio de Valparaíso 2014”, si bien no se propagó por un periodo de tiempo muy elevado, su magnitud e intensidad fueron devastadoras y perjudiciales para la población, afectando enormemente las viviendas del sector alto de los cerros de Valparaíso.

Este estudio se enfoca en un sector de El Vergel del cerro la Cruz el cual cuenta con las características anteriormente mencionadas de interface urbano-rural, siendo uno de las zonas más próximas al origen del incendio (basural informal cercano al camino La Pólvora), el cual alcanzó más allá de las plantaciones y vegetación, afectando a gran parte de la población y comunidad.

Para analizar el impacto de los daños causados por el incendio y el proceso de reconstrucción de la zona en cuestión, se realiza un estudio multitemporal con productos geospaciales elaborados a partir de vuelos fotogramétricos capturados antes, durante y después del incendio, con la finalidad de cuantificar el daño causado por el incendio, evaluar la zona quemada y la geolocalización de la infraestructura afectada y reconstruida, además de evaluar e identificar las medidas de mitigación que se observan en el área afectada.

ANTECEDENTES

El 12 de abril de 2014 se generó un incendio forestal de gran magnitud que alcanzó gran parte del bosque y poblaciones de los cerros Mariposa, Monja, La Cruz, El Litre, La Virgen, Santa Elena, Ramaditas y Rocuant de la Comuna de Valparaíso (Quinteros -Urquieta, 2019), el cual comprometió a gran parte de la población y del bosque altamente

pirogénico, donde “el área afectada fue de 1.042 ha., de las cuales 148 ha. eran urbanas, correspondientes a un total de 1.242 lotes, 2.910 viviendas y 32 edificaciones destinadas a equipamiento” (Ministerio del Interior y Seguridad Pública, 2014, pág. 5). Vale destacar que este incendio afectó a una gran cantidad de familias en los cerros de Valparaíso dejando una cantidad aproximada de “12.000 damnificados y 15 fallecidos” (ATISBA, 2017, pág. 5).

Según los antecedentes entregados por el Ministerio del Interior y Seguridad Pública (2014) uno de los factores relevantes para el daño

causado por el incendio en la población de los cerros de Valparaíso, son la informalidad de urbanización en el desarrollo de los asentamientos y el problema de accesibilidad asociado a la dificultad topográfica.

Según estadísticas de la CONAF (CONAF, 2019) la región de Valparaíso se ha transformado en un icono negativo en la problemática de incendios forestales, registrando en los últimos 20 años aproximadamente 18.000 incendios, correspondientes a un 14,9% de todos los eventos ocurridos a nivel nacional, tal como se puede observar en la tabla 1.

PERIODO	OCURRENCIA NACIONAL DE INCENDIOS FORESTALES POR REGION PERIODO 1999 - 2019																NÚMERO DE INCENDIOS	SUPERFICIE AFECTADA (ha)
	XV	I	II	III	IV	V	RM	VI	VII	XVI	VIII	IX	XIV	X	XI	XII		
1999 - 2000				21	26	867	470	316	429		1.802	1.114	43	82	54	28	5.252	17.183
2000 - 2001				5	32	1.036	543	267	329		1.839	1.194	20	92	7	12	5.376	10.921
2001 - 2002				12	18	1.318	447	245	281		2.183	1.320	207	560	48	62	6.701	90.069
2002 - 2003				39	73	1.086	573	238	513		3.185	1.541	80	203	15	26	7.572	41.988
2003 - 2004				24	80	875	743	292	465		2.277	1.277	111	235	37	14	6.430	50.687
2004 - 2005				31	42	956	496	279	403		2.745	1.391	109	140	32	29	6.653	65.300
2005 - 2006				45	39	866	629	176	404		2.108	840	71	164	31	23	5.396	19.349
2006 - 2007				0	25	874	534	235	295		1.943	974	70	158	20	15	5.143	43.404
2007 - 2008				0	43	850	269	218	322		3.193	1.412	120	470	57	21	6.975	42.063
2008 - 2009				0	31	642	429	215	265		2.911	1.075	198	339	27	25	6.157	64.875
2009 - 2010				0	19	713	447	225	322		1.837	419	40	24	6	17	4.069	58.364
2010 - 2011				0	48	824	590	221	479		2.005	580	69	97	17	22	4.952	47.040
2011 - 2012				1	75	901	299	169	504		2.517	740	89	163	38	13	5.509	90.279
2012 - 2013				0	71	952	305	203	585		2.409	851	77	169	18	11	5.651	17.109
2013 - 2014				0	75	843	341	195	684		2858	968	117	222	27	5	6.335	105.992
2014 - 2015				0	53	865	442	235	688		3644	1496	149	433	24	19	8.048	128.654
2015 - 2016				27	96	760	274	205	796		2691	1344	183	333	50	25	6.784	42.097
2016 - 2017	1			14	101	961	388	255	631		1.951	753	78	92	21	28	5.274	570.197
2017 - 2018	6	1		20	110	986	501	296	802		2.116	969	84	157	21	12	6.081	39.554
2018 - 2019	11	2	0	29	86	905	532	344	951	547	2.134	1.352	123	143	40	20	7.219	80.064
TOTAL 1999/2019	18	3	0	268	1.143	18.080	9.252	4.829	10.148	547	48.348	21.610	2.038	4.276	590	427	121.577	1.625.191
PROMEDIO ÚLTIMAS DOS DÉCADAS 2000/2019	6	2	0	13	57	904	463	241	507	0	2.417	1.081	102	214	30	21	6.079	81.260
% (2000/2019)	0,1	0,0	0,0	0,2	0,9	14,9	7,6	4,0	8,3	0,0	39,8	17,8	1,7	3,5	0,5	0,4	100,0	

Tabla 1. Ocurrencia nacional de incendios forestales por región periodo 1999-2019.

Fuente: Elaboración propia sobre la base de CONAF³

En el mismo periodo se han originado como promedio anual 6.079 incendios forestales, afectando a una superficie media de 81.280 ha., aproximadamente, siendo el 2014, el año con mayor cantidad de incendios forestales, sobre las 8.000 ocurrencias.

Otro antecedente a considerar es la sequía que afecta a la región, según el Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia, (S/A), desde el año 2010 el territorio comprendido entre las regiones de Coquimbo y de La Araucanía ha experimentado un déficit de precipitaciones cercano al 30%. Este estrés hídrico ha permanecido desde entonces en forma interrumpida y ocurre en la década más cálida de los últimos 100 años, este factor es trascendental, para la propagación de incendios

debido a la falta de humedad en el aire y en los elementos sobre el terreno.

FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN

El crecimiento urbano hacia los cerros que rodean la bahía Valparaíso, obligó a que construcciones creativas y particulares de la ciudad se adaptaran a la morfología, a los diversos niveles de pendiente y orientación de los cerros, esta condición llevó a que los paisajes, escaleras y ascensores para transitar y comunicar los cerros con el plan, convirtiera la identidad de Valparaíso como una ciudad única y diferente. Sin embargo, este desarrollo urbano

³ Estadísticas obtenidas de la Corporación Nacional Forestal hasta agosto de 2019 (CONAF, 2019)

conlleva a un desorden urbanístico irregular, que ha incrementado la vulnerabilidad de las personas y las capacidades de reacción ante cualquier desastre, así también ha dado paso a que las personas vivan cerca de áreas más boscosas, lo que aumenta el riesgo de daños a las infraestructuras asentadas en las laderas de los cerros, en muchos casos no se considera un cortafuego, lo que corresponde a un “territorio que carecen de vegetación o donde existen construcciones u otros, que detienen o reducen la propagación del fuego” (CONAF, 2011, pág. 75), provocando un fuerte impacto en la población durante el desarrollo de un incendio forestal.

Es por ello, que la importancia de llevar a cabo el presente estudio, es para demostrar y cuantificar el impacto causado por los incendios forestales en el medio ambiente y en la ciudadanía, ya que este tipo de catástrofe causa severos daños en las viviendas, construcciones y fundamentalmente a las personas.

El sector de estudio, es una zona altamente vulnerable ante este tipo de catástrofes, esto debido a su cercanía con la vegetación como se mencionó anteriormente. Lo anterior, se vio reflejado en el gran incendio de Valparaíso del año 2014, el que alcanzó un gran porcentaje de área quemada, dejando pocas edificaciones en pie, debido a su cercanía al lugar de origen (basural ilegal cercano camino a La Pólvora) y a los factores adversos de la zona, además tiene dificultades de acceso y poco evidentes vías de escape. De este modo, este estudio contribuye a generar conciencia de las personas frente a un peligro latente y devastador, como son los incendios forestales, también apunta a definir con cognición sus lugares de asentamiento y el riesgo del lugar, para evitar un desastre y reaccionar a tiempo, ya que la reconstrucción es un trabajo difícil que no es simple de llevar a cabo, donde lo más importante es cuidar la vida de las personas.

ÁREA DE ESTUDIO

La región de Valparaíso se encuentra en la Zona Central del territorio continental de Chile, su ciudad capital es Valparaíso, esta región limita al norte con la región de Coquimbo, al sur con la región de O'Higgins, al oeste con el océano Pacífico, al sureste con la región Metropolitana y al este con las provincias de San Juan y Mendoza de Argentina.

Este extenso abarcamiento de mar a cordillera contiene una biodiversidad de vegetación bastante significativa, donde se destacan los parques y reservas de la región, además los diversos cerros poblados que se encuentran en la cordillera costera, los que están sufriendo constantemente cambios en su uso de suelo, generando cada vez más sectores con interface urbano-rural. La región de Valparaíso cuenta con 7 provincias, y 38 comunas, este estudio se centró en un sector localizado en la comuna de Valparaíso, de la provincia homónima, donde se concentra la mayor cantidad de cerros poblados. Entre éstos está el cerro La Cruz de Valparaíso y en su zona alta se localiza la población el Vergel, conocido por su camino principal del mismo nombre, con una longitud aproximada de 3,8 kilómetros, que conecta el camino la Pólvora con la avenida Alemana. Esta zona fue uno de las poblaciones más afectadas en el incendio de 2014. En la Figura 1 se aprecia la provincia de Valparaíso con sus 7 comunas y se destaca el área de estudio donde se centra el análisis.

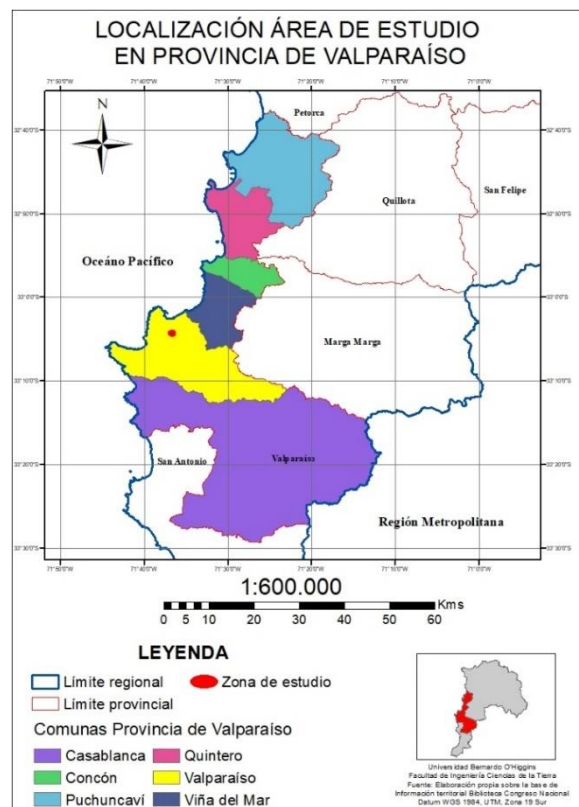


Figura 1. Mapa Localización área de estudio en la Provincia de Valparaíso. Fuente: Elaboración propia.

Sin embargo, este estudio se concentra en una de las localidades más afectadas por el incendio, debido a sus características de interfaz urbano-forestal y cercanía del lugar de origen, próximo al Camino la Pólvara, en el sector alto del Cerro La Cruz, específicamente en El Vergel. Se trabaja en un radio de 700 m del centro de las coordenadas geográficas 33°4' 17"S 71°36' 43"O, a una elevación cercana a los 350 msnm. En la Figura 2 se detalla la zona de trabajo detallando la cobertura del incendio en Valparaíso.

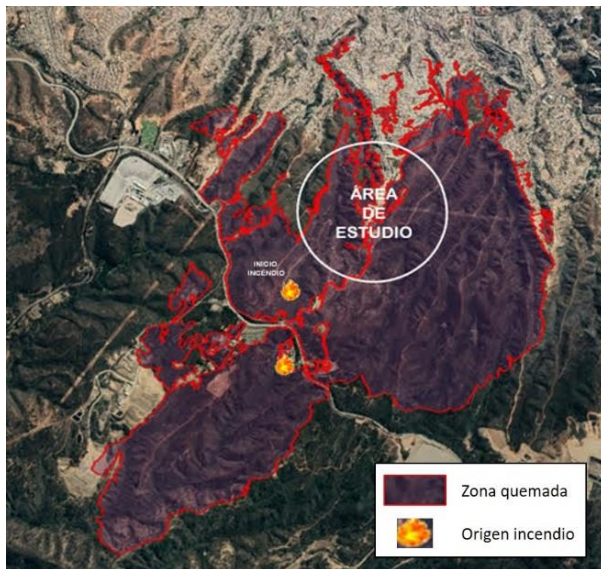


Figura 2. Superficie quemada en incendio de Valparaíso 2014 sobre imagen de Google Earth. Fuente: Elaboración propia sobre la base a datos entregados por la CONAF.

En la Figura 2 se puede apreciar el área de estudio, los focos de incendios y el alcance de su magnitud, el cual alcanzó alrededor de 1.040 ha., quemando zonas forestales y áreas urbanizadas de los cerros de Valparaíso, según el Sistema OIRS de la CONAF⁴. Además, se representan los focos de origen del incendio y se constata que el área de estudio se localiza en un sector de interfaz urbano-rural.

MICROCLIMA (ZONA DE ESTUDIO)

Según los antecedentes de la Biblioteca del Congreso Nacional, el clima del área de estudio es templado del tipo mediterráneo costero, hacia los valles y a los cerros aumenta la temperatura y se

acentúan más las estaciones, lo que permite el paso a una sequía prolongada. Este sector se caracteriza por la presencia de alta nubosidad durante todo el año, con mayor cantidad en invierno, lo que se asocia a las lloviznas y nieblas típicas de localidades costeras, la que van disminuyendo hacia el interior. Según los datos publicados en el Portal de Servicios Climáticos de la Dirección Meteorológica de Chile (exportados de la Estación Meteorológica de Rodelillo), la temperatura media para el mes de abril en el año 2014 fue de 19,6°C con una máxima de 31,9°C en el día 13 y las precipitaciones a la fecha en el sector alto de Valparaíso tienen un promedio anual (entre los años 2004-2014), de 438,4 mm de agua caída. Estas se concentran entre los meses de mayo y agosto. Sin embargo, para el mes de abril existe un promedio de 8 mm de agua caída y en el año de este suceso hubo solamente 0,5 mm (Climatología, Dirección Meteorológica de Chile, S/A).

TOPOGRAFÍA Y VEGETACIÓN

La ciudad de Valparaíso se encuentra emplazada en medio de una planicie costera en dirección norte-sur. La expansión urbana tiene una identidad propia, ya que ha ido ocupando gradualmente las abruptas quebradas y terrazas marinas ascendentes, es decir, hacia los cerros que rodean la bahía de oeste a este. "Hacia el suroeste de Valparaíso se pueden identificar distintos niveles de terrazas que van desde los 20 a 60 metros de altura sobre el nivel del mar hasta alcanzar sobre los 450 m de altura" (Sánchez M., Bosque M., & Jiménez V., 2009, pág. 276). Se puede mencionar que "Valparaíso cuenta con 65 cerros que alcanzan la altura antes mencionada" (Ministerio del Interior y Seguridad Pública, 2014, pág. 11) y las quebradas que delimitan los cerros y sirven como evacuación de las aguas lluvias de los sectores altos a la planta de la ciudad, por lo mismo esta ciudad posee facilidades para el escurrimiento de material. El área de estudio donde se centró la investigación, presenta las características antes mencionadas.

La vegetación de la zona afectada por el incendio es principalmente de plantaciones de rápido crecimiento, como es el eucaliptus, además de matorrales y bosque esclerófilo. Asimismo, "el mal manejo forestal de la parte alta de la ciudad y el deterioro ambiental de sus quebradas" (Ministerio

⁴ Solicitud ciudadana Nro. 5848/2020, de fecha 12 de mayo de 2020.

del Interior y Seguridad Pública, 2014, pág. 6) fueron unos de los factores de fragilidad para la propagación del incendio del año 2014.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para llevar a cabo el estudio se utilizaron imágenes aéreas obtenidas de una Cámara de Mapeo Digital del Servicio Aerofotogramétrico de la Fuerza Aérea de Chile, capturadas los años 2010, 2012, 2014 y 2019.



Figura 3. Cámara DMC utilizada para captura de imágenes. Fuente: Imagen extraída de Cartografía.cl⁵.

La cámara multiespectral DMC1, representada en la Figura 3 fue el sensor utilizado para capturar las imágenes en las diferentes épocas. En cuanto a sus especificaciones técnicas, es importante mencionar que cuenta con 8 lentes, de los cuales 4 son de la banda pancromática, 03 de las bandas visibles y 01 que captura en el infrarrojo cercano (reflectado), dentro del espectro electromagnético, es decir se puede obtener información dentro del rango de los 400 um y 800 um. Respecto a las cualidades métricas de la cámara cuenta con un CCD de 12 micrones y una dimensión de imágenes de 13.824 x 7.680 pixeles, estas imágenes se consideran de gran formato en el mercado.

Se utilizó el software Application Master de la línea Inpho de Trimble, para la generación de los mosaicos georeferenciados, además se utilizó el programa Global Mapper para visualizar los datos

geoespaciales, proyectar las imágenes y para la georeferenciación del mosaico no controlado.

El programa de Información Geoespacial (ArcGis) se utilizó para la representación del área de interés en puntos, líneas y polígonos en un plano horizontal XY.

Para la visualización del mosaico tridimensional se utilizó el programa SpacEyes 3D Viewer, en el cual se despliega el Modelo de Terreno y el mosaico elaborado.

El análisis de la zona afectada, se basó en un estudio multitemporal, mediante procesos de la aerofotogrametría, la cual se basa en “un método de levantamiento de superficies que consiste en la captura de imágenes aéreas mediante sensores aerotransportados, de las que se conocen en forma exacta sus características ópticas” (Ministerio de Obras Públicas, 2019, pág. 2.304.301). Esta técnica requiere de medios tecnológicos especiales como sensores aéreos y programas para el tratamiento de información geoespacial. A partir de lo anterior, se elaboraron productos que permitieron realizar el análisis de impacto del incendio, como son el modelo digital de terreno (DTM), los mosaicos georeferenciados y las respectivas planimetrías.

El presente análisis se centraliza en un estudio multitemporal del mismo escenario en tres principales etapas. El primero se concentra en un análisis del sector, antes del incendio, en el que se utilizaron imágenes capturadas el año 2010 de un tamaño de pixel de 35 cm. y el año 2012 de un tamaño de pixel de 10 cm.; el segundo escenario, con imágenes de 10 cm capturadas durante el mes del evento, donde se analiza el impacto causado y todo lo que fue destruido; y por último la etapa post-incendio con imágenes de 25 cm de tamaño de pixel, las que fueron capturadas el año 2019, donde se podrá visualizar la reconstrucción en el lugar afectado y las medidas que se tomaron en las distintas zonas de riesgo.

Para comprender de mejor manera el flujo de trabajo, en la Figura 4 se puede apreciar las etapas más relevantes para la generación de un mosaico georeferenciado y posterior elaboración de la planimetría, que son los productos geoespaciales fundamentales para conseguir el objetivo propuesto.

⁵ <http://sitio.cartografia.cl/matriz-de-comparacion-camaras-dmc>

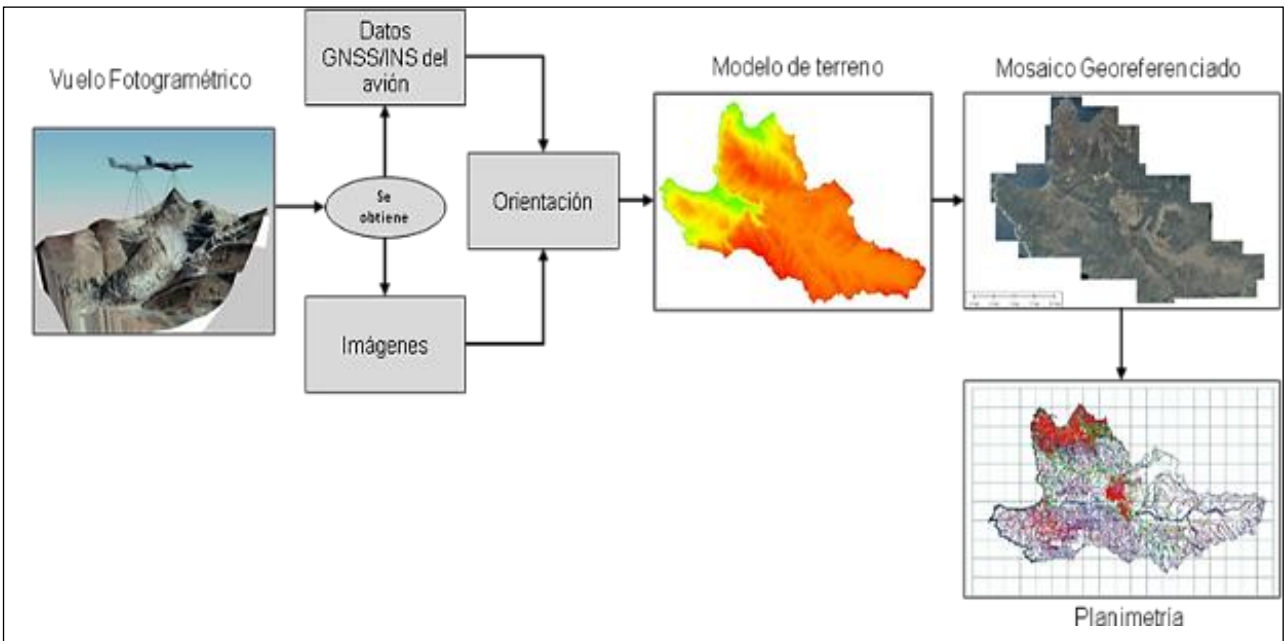


Figura 4. Diagrama de flujo para la obtención de productos.
Fuente: Elaboración propia.

Las cámaras fotogramétricas capturan datos en códigos binarios, por ende, los datos del área de estudio son procesados para generar imágenes visibles en formatos *.tiff y puedan ser trabajadas en software fotogramétricos.

En la práctica el proceso de captura se apoya de un equipo geodésico en terreno, como estación base y de un sistema de navegación GNSS/INS instalado en el avión, el cual registra las coordenadas del centro de proyección de la cámara al momento de cada captura. Además, con un instrumento de medición inercial insertado en su cuerpo (IMU), es posible registrar los movimientos angulares de cada captura al momento de la toma. Con lo anterior, se generan los datos cinemáticos para realizar la orientación de las imágenes.

El proceso de orientación, se ejecuta en el software "Application Master" de Inpho, donde se cargan las imágenes, se ingresan los datos de la cámara (datos de calibración y parámetros del sensor) y se incorporan los datos cinemáticos. Lo anterior, corresponde a la orientación relativa, en el cual se representa la imagen en su posición, con los movimientos angulares al momento de la captura.

Posteriormente, se generan puntos de amarre entre las imágenes, identificando elementos homólogos entre ellas (mismos elementos en diferentes imágenes), en esta etapa las imágenes se ajustan para corregir los problemas de paralaje que puedan existir, estos permiten unir las imágenes en un solo bloque mediante una relación de píxeles.

Para la orientación absoluta se utilizan los puntos tomados en terreno con estaciones geodésicas, logrando así un mosaico georeferenciado con mayor precisión.

Consecutivamente, se crea y edita el modelo digital de superficie (DSM) del sector tratado, donde se eliminan las deformaciones y los elementos sobre el terreno, de lo que se obtiene el Modelo digital de Terreno (DTM), que "son modelos simbólicos que representan, mediante un conjunto de datos numéricos, la distribución espacial del terreno, sin los elementos que se encuentren en la superficie, permitiendo definir el relieve y las elevaciones del terreno" (Servicio Aerofotogramétrico, 2016, pág. 11). Esta estructura matemática de datos, representa la distribución espacial de una variable cuantitativa y continua. Sin embargo, un modelo es necesariamente una descripción aproximada que

“se construye mediante la aplicación de unos supuestos más o menos adaptados a la realidad pero que nunca pueden ser exactos” (Felícimo, 1994, pág. 4). En la Figura 5 se visualiza en el programa Global Mapper un Modelo Digital de Terreno, el cual fue generado por el programa Application Master de Inpho, Trimble, además se aprecia una escala cromática en metros, donde se aprecian los niveles de altura del terreno.

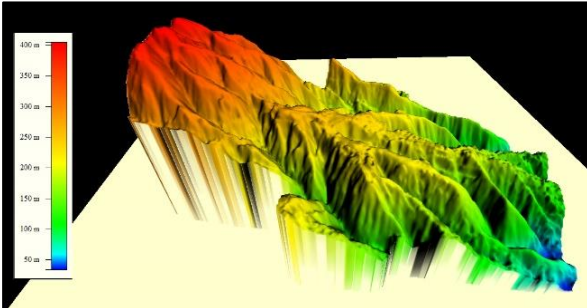


Figura 5. Modelo Digital de Terreno (DTM). Fuente: Elaboración propia sobre la base de imágenes capturadas por el Servicio Aerofotogramétrico.

Posteriormente, se crean las ortofotos, que son un producto cartográfico georeferenciado y corregido de deformaciones, el cual permite la medición a escala tanto de distancias como de superficies (Servicio Aerofotogramétrico, 2016). Una vez creadas las ortofotos, se genera el mosaico de la zona de interés, que consiste en el “recubrimiento del plano mediante piezas llamadas teselas sin dejar huecos ni solapamiento, donde se unen dos o más imágenes digitales, que pasan a conformar un solo archivo digital” (Servicio Aerofotogramétrico, 2016, pág. 9).

Si no se cuenta con apoyo de terreno para la orientación absoluta, se puede obtener con puntos homólogos de un mosaico georeferenciado.

Posteriormente, una vez elaborados los mosaicos de las tres épocas, se importan en programas de información geoespacial, donde se realiza la elaboración del plano digital, el cual consiste en el proceso de dibujo y vectorización de los elementos sobre el terreno, otra manera de definir la planimetría es “la representación y proyección de elementos sobre la superficie terrestre en un plano horizontal, la cual consiste en determinar la situación de los puntos en el plano XY. Esto permite analizar una zona definida, según el

estudio que se estime pertinente” (González & Castañeda, 2019, pág. 44).

Para elaborar el análisis de impacto del incendio del año 2014 y su reconstrucción, se trabajó en base tres líneas de trabajo. Con el objetivo de cuantificar el daño causado por el incendio, se utiliza el mosaico elaborado con la fecha del siniestro y se elabora una planimetría para cuantificar en hectáreas la superficie quemada. Asimismo, para analizar su impacto, se cuantifican las edificaciones y construcciones afectadas, mediante una comparación de las edificaciones digitalizadas en las planimetrías antes y durante la fecha del incendio.

Para evaluar la zona quemada y la reconstrucción de edificaciones. Se comparan los mosaicos georeferenciados antes y durante el incendio, con la finalidad de identificar los elementos visibles sobre el terreno que fueron afectados, como la vegetación, caminos, accesos, entre otros. Por otra parte, para analizar la reconstrucción de edificaciones, se realiza una comparación de las planimetrías elaboradas de las tres épocas antes mencionadas (antes, durante y después del incendio).

Finalmente, para identificar las medidas de mitigación y riesgos en el área de estudio, se utiliza el mosaico del año 2019 y mediante la elaboración de un mosaico tridimensional, se identifican las pendientes y se describe el riesgo de la localización de algunas edificaciones reconstruidas. Asimismo, con el mosaico post-incendio se visualizan si en las modificaciones de los caminos, se consideran mejoras para prevención, las vías de escape, se observa si existe un control de la vegetación, los cortafuegos y la ubicación de edificaciones cercanas a las zonas de interfaz urbano-rural.

RESULTADOS

CUANTIFICACIÓN DEL DAÑO CAUSADO POR EL INCENDIO

Para evidenciar los daños ocasionados por el incendio en el área de estudio, primero es necesario dimensionar su magnitud, cuantificando la superficie quemada. Para esto se trabajó en el

mosaico georeferenciado, elaborado a partir de las imágenes capturadas el año 2014.

Se realizó un análisis cualitativo del área de estudio, para observar y discriminar la superficie afectada y consumida por el incendio. En el mosaico se puede apreciar con claridad la zona pocos días posterior al incendio, y con los programas de información geoespacial se genera la planimetría para delimitar, digitalizar y cuantificar. Cabe destacar que el área completa de estudio abarca un área de 155 ha.

Para cuantificar en hectáreas el área quemada se trabajó con toda la superficie en un mismo conjunto. El mapa de la Figura 6 se puede apreciar que gran parte del sector fue afectado por el incendio, sin discriminar el área forestal, ni urbanizada. Para una mejor visualización la planimetría de la zona representada se superpone al mosaico del año 2014. Como resultado, se puede determinar que la superficie quemada abarca un área de 132 ha., lo que corresponde a un 85% del espacio estudiado.

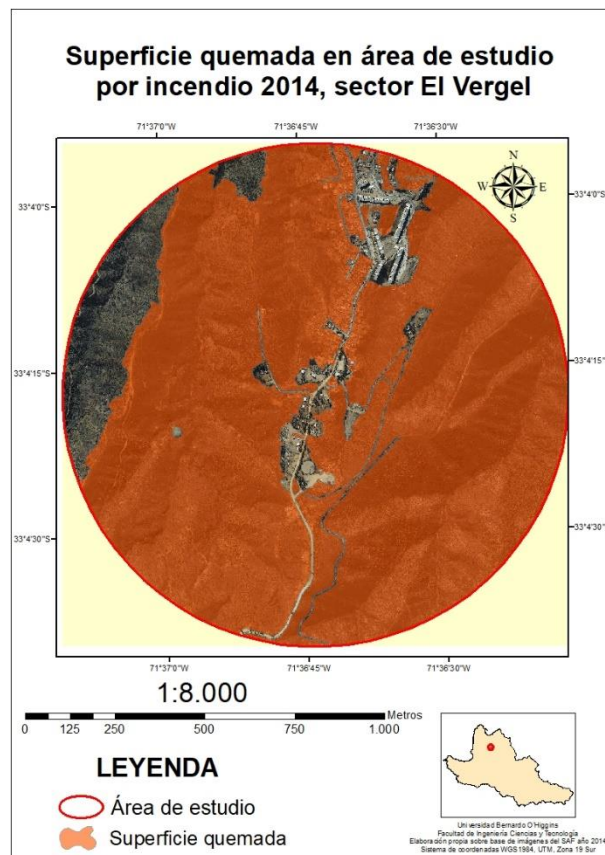


Figura 6. Mapa de la superficie quemada en área de estudio por incendio de Valparaíso.
Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente, con la finalidad de complementar el análisis y cuantificación de los daños causados por el incendio, en la Figura 7, que corresponde a un mapa con el área no alcanzada por el incendio. Asimismo, vale destacar que esta información fue rescatada en base a una fotointerpretación de los elementos sobre el terreno y de las evidencias que dejó el fuego sobre el suelo. En consecuencia, se detalla que el área no alcanzada por el incendio corresponde a 23 ha., lo que equivale al 15% de la superficie estudiada.

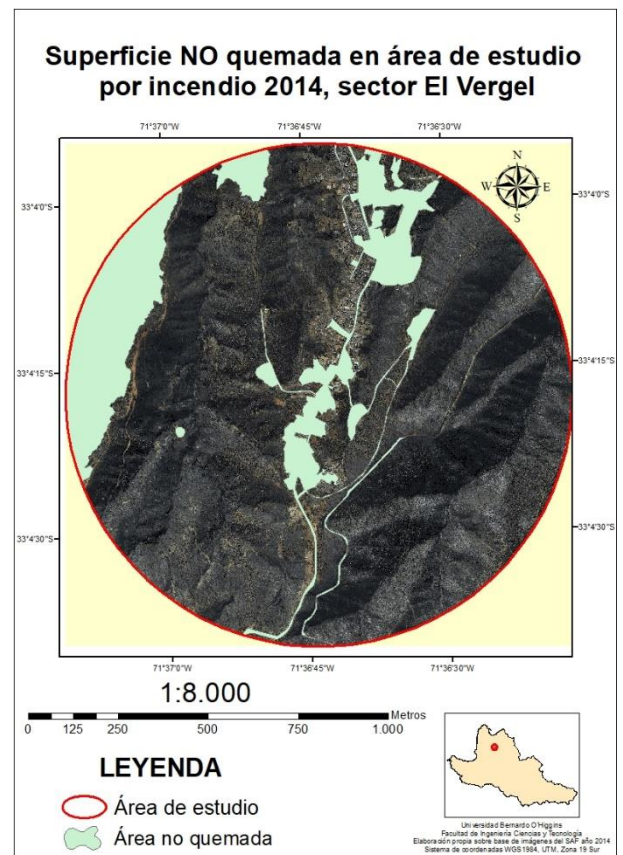


Figura 7. Mapa de la superficie NO quemada en área de estudio por incendio de Valparaíso.
Fuente: Elaboración propia.

En resumen, se logró cuantificar que la mayor parte del área de análisis fue afectada por el incendio. En la Tabla 2 se puede apreciar un resumen de lo antes mencionado.

	Superficie (ha.)	Porcentaje
Superficie total	155	100%
Área quemada	132	85%
Área no quemada	23	15%

Tabla 2 Superficie quemada del Área de estudio por incendio de Valparaíso. Fuente: Elaboración propia, sobre la base de planimetría elaborada año 2014.

Otro análisis del daño causado por el incendio es la cuantificación de las edificaciones afectadas, ya que éste se caracterizó por el gran impacto que causó para la población, lo que se ve reflejado en la cantidad de viviendas y construcciones que fueron completamente destruidas por las llamas de esta catástrofe. Consecuente con lo anterior, el presente tema tiene como finalidad, representar y dejar en evidencia, mediante el análisis de productos geoespaciales, que en una superficie de 155 ha., gran parte de los habitantes asentados en esta área, perdieron sus casas y edificaciones a causa del incendio. De la misma forma, es importante destacar que la metodología para lograr la cuantificación de edificaciones quemadas, fue realizar el análisis comparativo de los mosaicos georeferenciados y planimetrías elaboradas antes del incendio (años 2010 y 2012) y durante el evento (año 2014) en el área de estudio.

Vale mencionar que la planimetría se elaboró a partir de los techos fotoidentificables en los mosaicos de distintas épocas. Un factor que se debe considerar, son las edificaciones construidas posterior a la captura del 2012, es por eso, que la cuantificación puede no ser exacta, pero si es posible demostrar que la mayor cantidad de las casas fueron afectadas.

En la Tabla 3 se puede evidenciar el gran impacto que causó el incendio en las edificaciones asentadas dentro del área de interés, donde se cuantifican y se lleva a porcentaje (%) la cantidad de edificaciones quemadas en el área de estudio.

	Edificaciones	Porcentaje
Total	351	100%
Quemadas	256	73%
No quemadas	95	27%

Tabla 3. Cuantificación edificaciones quemadas por incendio 2014 en área de estudio. Fuente:

Elaboración propia sobre la base de planimetría de edificaciones quemadas.

Por otra parte, en la Figura 8 se presenta un mapa, donde se aprecian las edificaciones quemadas y las que aparentemente no fueron alcanzadas por el incendio.

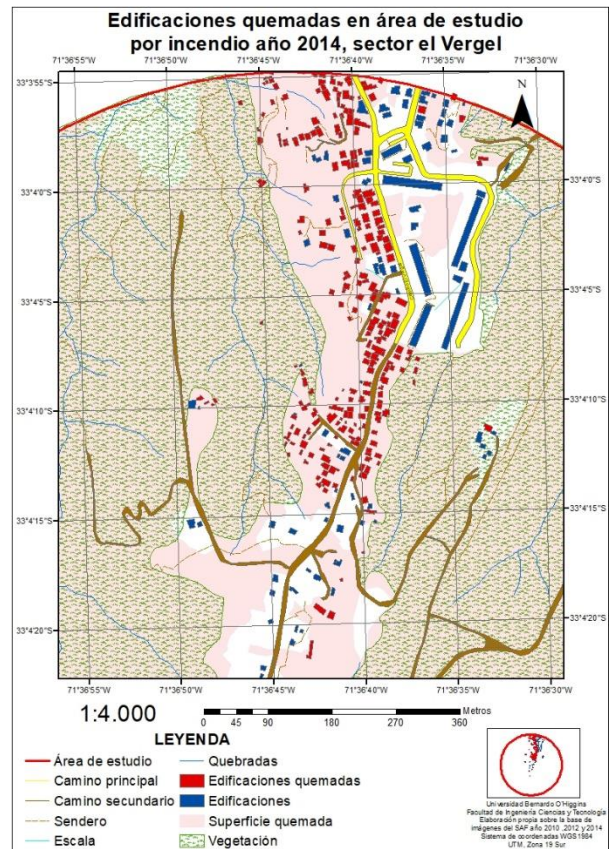


Figura 8. Mapa de edificaciones quemadas en área de estudio por incendio de Valparaíso. Fuente: Elaboración propia.

ANÁLISIS DEL IMPACTO EN EL ENTORNO AFECTADO POR EL INCENDIO

Al conocer que la mayoría del área fue alcanzada por el incendio, es necesario analizar el entorno en el que se sitúa. Para ello, se describen diferentes factores geográficos y artificiales del sector que influyeron a la rápida y devastadora propagación, en complemento se realiza una comparación de algunos sectores en los que se refleja el impacto causado por este desastre.

El ambiente en el que se ubica el área de estudio está rodeada principalmente por eucaliptus y matorrales (antecedentes entregados por la oficina OIRS de la CONAF, mediante solicitud ciudadana Nro. 5848/2020, de fecha 12 de mayo de 2020), considerando los factores del incremento de temperatura y en un periodo seco prolongado, se reduce su humedad, convirtiéndolo en un combustible altamente pirogénico, permitiendo que el fuego se propagara con mayor rapidez. En la Figura 9 se presenta un mapa en el que se visualiza claramente el alcance del fuego en la vegetación.

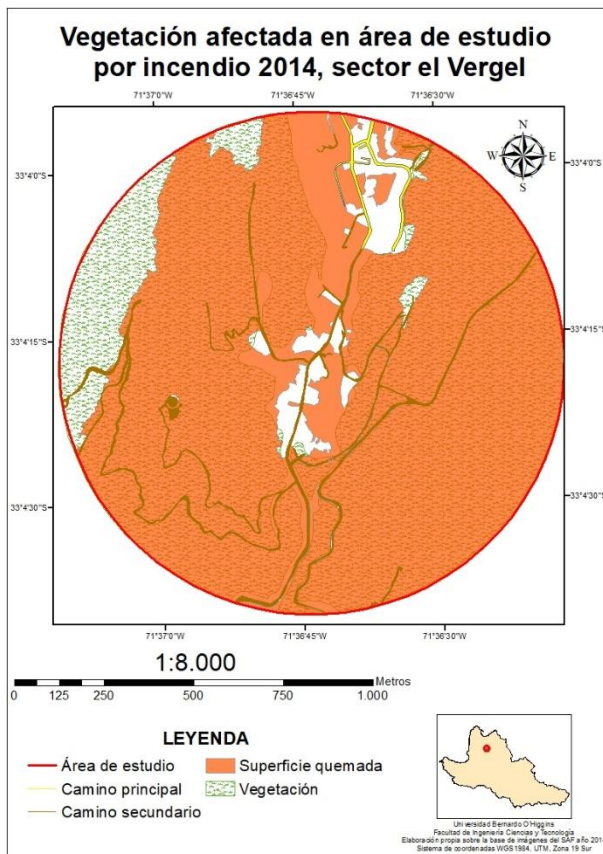


Figura 9. Mapa de vegetación afectada en Área de estudio, por incendio 2014. Fuente: Elaboración propia.

Figura 10 Vegetación afectada por el incendio en Área de estudio. Fuente: Elaboración propia sobre la base del mosaico georeferenciado año 2014, elaborado sobre la base de imágenes del Servicio Aerofotogramétrico.

Por otra parte, es posible visualizar que hubo sectores que fueron completamente quemados dejando apenas unos troncos en pie, por lo que se puede comprobar el impacto que causó el incendio en la vegetación.

Ahora bien, como se mencionó anteriormente, parte del sector oeste del área de estudio hay vegetación que no fue alcanzada por el incendio. En la Figura 11 se interpreta que una franja que carece de vegetación, sirve como cortafuego a lo largo de toda el área (norte a sur), el cual determina el límite del incendio en el área.

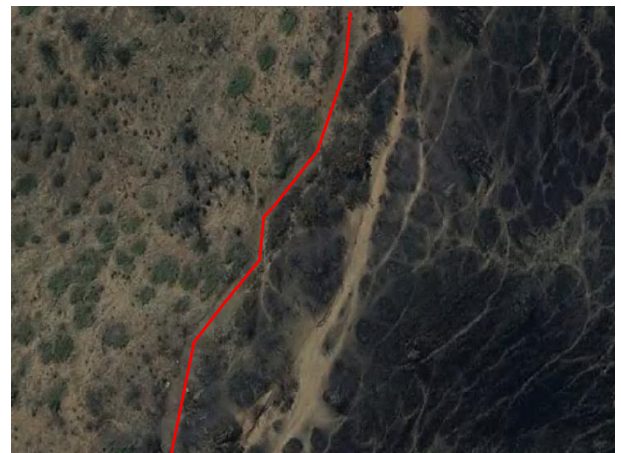


Figura 11. Cortafuego en sector oeste del Área de estudio.

Fuente: Elaboración propia sobre la base del mosaico georeferenciado año 2014, elaborado sobre la base de imágenes del Servicio Aerofotogramétrico.

Por otro lado, respecto a las edificaciones asentadas en el área de estudio, se puede mencionar y destacar que muchas se ubicaban cercanas al sector forestal, en consecuencia, en su gran mayoría fueron completamente afectadas por el incendio. En las siguientes imágenes (ver Figura 12), es posible evidenciar el mismo sector, en el cual se constata lo antes descrito y se compara el escenario antes y durante el incendio.

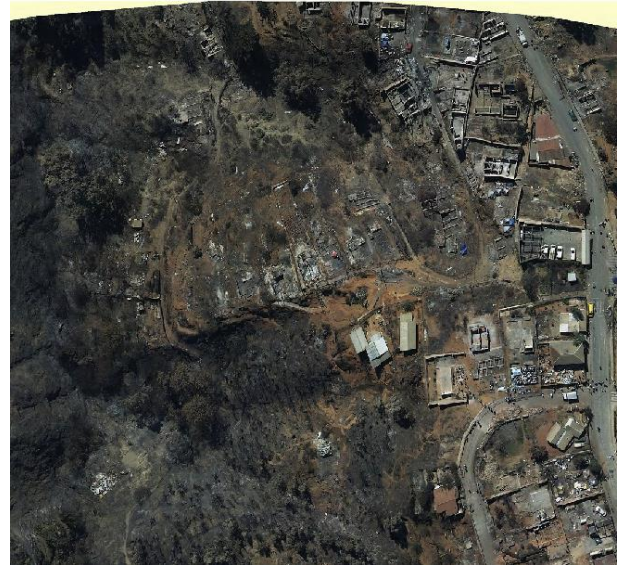


Figura 12. Comparación de edificaciones antes y durante el incendio. Fuente: Elaboración propia sobre la base del mosaico georeferenciado año 2010 y 2014, elaborado sobre la base de imágenes del Servicio Aerofotogramétrico.

Como se menciona en este estudio, el crecimiento de la urbanización ha llevado a que la población se expanda en sectores de interfaz urbano-rural, por lo que estos territorios son mucho más susceptibles a ser afectados por los incendios forestales, aún más cuando se constata una falta de planificación, ubicándose construcciones rodeadas de vegetación bordeando las laderas e incluso, en las mismas quebradas de los cerros. Como ejemplo de los antecedentes señalados, en las imágenes de la Figura 12 se evidencia el daño de las edificaciones y la gran vulnerabilidad que se presenta para la población del sector.

En cuanto a la vialidad del área de estudio, cabe destacar que en el sector norte, el camino el Vergel divide en dos la zona afectada, donde se puede comparar que las edificaciones localizadas al oeste del camino fueron destruidas casi en su totalidad, en cambio las asentadas al otro lado de la calzada aparentemente, gran parte de las construcciones se mantienen construidas o no sufrieron las mismas consecuencias, además en esta área (este del camino) hay menos vegetación cercana a las edificaciones. En la Figura 13, se puede evidenciar el mismo sector, en el cual, las edificaciones afectadas por el incendio se dibujan sobre el mosaico, con la finalidad de visualizar con mayor claridad las edificaciones afectadas en ambos lados del camino El Vergel.



Figura 13. Comparación de edificaciones a cada lado del Camino El Vergel. Fuente: Elaboración propia, extracto de mosaico georeferenciado 2014.

ANÁLISIS EN LA RECONSTRUCCIÓN DE EDIFICACIONES

Posterior al incendio en los cerros de Valparaíso del año 2014, comenzó un proceso de reconstrucción, para el caso del área de estudio los resultados de

su rehabilitación se pueden evidenciar mediante el mosaico georeferenciado

Mediante un estudio temporal de los productos obtenidos en las distintas épocas, como una primera fase es factible evidenciar que más del 70% de las edificaciones fueron afectadas por el incendio⁶. Posteriormente, con la planimetría elaborada del año 2019, se puede mencionar que, hasta ese año, en el área de estudio, se volvieron a levantar 206 edificaciones, lo que corresponde al 80% de las construcciones quemadas. Vale destacar, que tal conjunto contabiliza las edificaciones reconstruidas y las que se levantaron en nuevos sitios.

En la Figura 14 se pueden visualizar las edificaciones quemadas y las edificaciones construidas al año 2019, además del mosaico elaborado del año 2014.

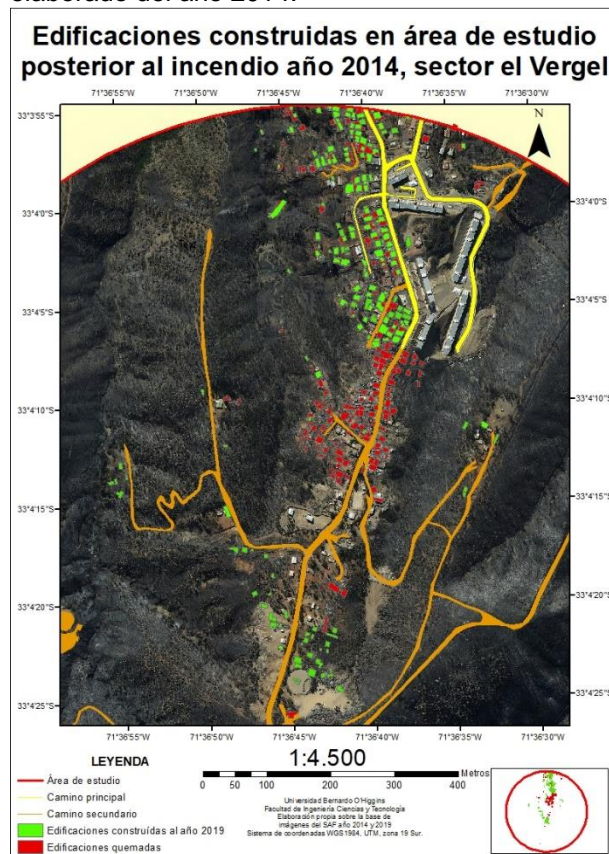


Figura 14. Mapa de edificaciones construidas, posterior al incendio del año 2014. Fuente: Elaboración propia.

En la figura anterior es posible observar que, en el norte del área de estudio, el sector más urbanizado, gran parte de las edificaciones fueron construidas en los mismos sectores, sin embargo, al final del camino principal no se asentaron nuevas construcciones.

Ahora bien, es importante mencionar que, según la RAE, el término “reconstruir” significa, rehacer o volver a construir, para este caso, se entiende por reconstrucción a la edificación levantada en el mismo territorio que fue afectado por el incendio del año 2014. Aunque claramente no fue exactamente la misma edificación, pero la mayoría de los ciudadanos reconstruyeron sus inmuebles en el mismo lugar e incluso algunos levantaron más de una construcción.

Por otra parte, para analizar desde otro punto de vista las edificaciones construidas al año 2019 en la zona de estudio, se realiza una planimetría con una clasificación de éstas, en la que es posible visualizar la ubicación de las edificaciones quemadas, las reconstruidas, las que se levantaron en una nueva ubicación y las que aparentemente no fueron afectadas por el incendio del año 2014 y que se mantienen al año 2019, lo cual se puede visualizar en el mapa de la Figura 15, que se elaboró sobre la base del mosaico georeferenciado de las imágenes del año 2019, pero se utilizó información de las distintas épocas (antes, durante y después del evento), en el cual se pueden observar las edificaciones que no fueron afectadas por el incendio (Edificaciones NO observadas al 2019), pero por distintos motivos no están construidas al año 2019.

Por otra parte, se aprecia que en la Latitud 33°4'10", no se volvió a reconstruir, pero sí se observa que aproximadamente a unos 230 mt. al sur de observa un nuevo asentamiento de edificaciones, las que visualmente tienen un ordenamiento de urbanización bastante atípica y desordenada, tal como se puede apreciar en la Figura 16.

Para resumir el mapa de la Figura 15, en la Tabla 4 se puede analizar numéricamente las edificaciones clasificadas según las diferentes situaciones posterior al incendio del año 2014.

⁶ Figura 8. Mapa de edificaciones quemadas en área de estudio por incendio de Valparaíso

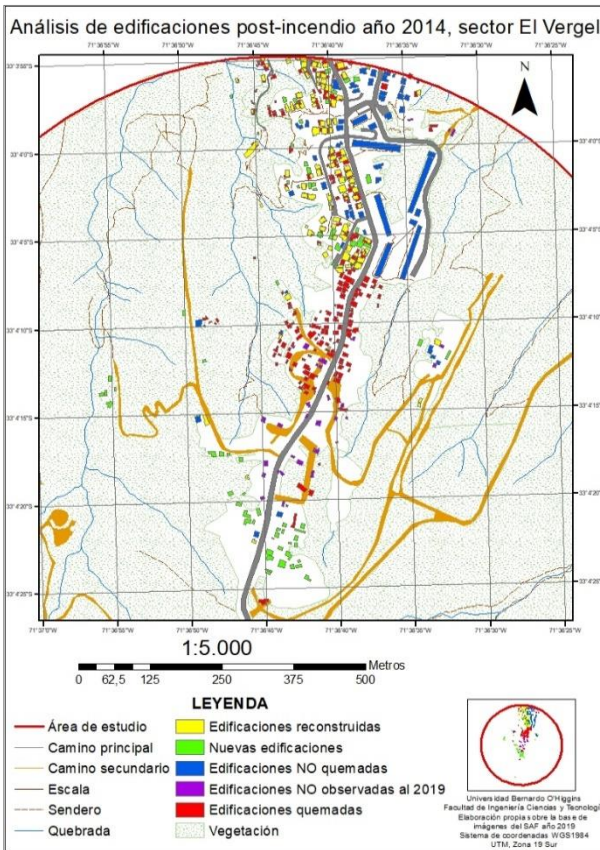


Figura 15. Mapa de edificaciones posterior al incendio año 2014. Fuente: Elaboración propia.



Figura 16. Nuevo asentamiento de edificaciones.

Edificaciones	Cantidad
Quemadas	256
Reconstruidas	113
Nuevas edificaciones	80
Edificaciones NO afectadas	57
Edificaciones NO quemadas al 2019	35

Tabla 4. Resumen de edificaciones en área de estudio, posterior al incendio del año 2014. Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, de la Tabla 4 es factible describir que de las edificaciones levantadas al año 2019, el 45% son reconstruidas, el 32% corresponde a nuevas construcciones y el 23% de éstas aparentemente no fueron mayormente afectados por el incendio.

MEDIDAS DE MITIGACIÓN OBSERVADAS EN EL ÁREA DE ESTUDIO

La prevención de los incendios forestales comienza con la educación de las personas, demostrando el impacto que pueden generar tanto en la población, como en la biodiversidad de flora y fauna, para lo cual es importante contar con una buena cultura, ya sea a través de charlas o indicaciones de letreros, que ayudan a disminuir la cantidad de eventos que puedan surgir.

Por otro lado, un incendio ya en curso se puede disminuir implementando diferentes acciones de mitigación como son los cortafuegos. Esas áreas de porciones de territorio sin vegetación ya sea de forma natural o artificial, reducen significativamente el avance de las llamas. Además, mantener limpio de vegetación seca los costados de las viviendas en las zonas de interface urbana-rural, pueden prevenir el inicio de un incendio forestal.

Sin embargo, como se puede observar en la Figura 17, algunas viviendas en zonas de interfaz urbano-rural no cumplen las condiciones mínimas de seguridad, como es la separación de las construcciones con el área forestal.

Asimismo, como lo indica el Manual de prevención de incendios forestales (CONAF, 2011), otras medidas importantes para mitigar los incendios forestales son la plantación de árboles nativos, precaución en la implementación de calefacción a leña, contar con las llaves de regadío y mangueras en buen estado, aislar y podar árboles o ramas que estén muy cerca de la vivienda y que favorezcan la

continuidad árbol-construcción, extraer y eliminar la vegetación seca en torno a la construcción. Además, si es necesario, construir un cortafuego en torno a la vivienda o construcción.



Figura 17. Edificaciones en zonas rodeadas de vegetación. Fuente: Elaboración propia sobre la base de mosaico georeferenciado año 2019.

En cuanto a los caminos, según el mismo manual (CONAF, 2011), deben mantenerse en buenas condiciones, libres de basura y con las siguientes medidas de seguridad:

- Los caminos principales: se requiere implementar, a ambos lados, tres franjas de seguridad, entre la carpeta de rodado y el cerco, de a lo menos 3 metros de ancho, libre de todo material combustible. Entre el cerco divisorio y la vegetación mayor, arbustos y/o árboles, una franja cortafuego, de a lo menos 5 metros, en la cual se mantenga permanentemente manejado el estrato herbáceo, si el bosque es de coníferas y existe una importante continuidad horizontal y vertical de vegetación seca, se deberá agregar una franja de a lo menos 5 metros de ancho, en la que la vegetación debe ser podada y el material residual extraído.
- Caminos secundarios: Considerando que, por lo general, estas vías no poseen bermas laterales, se deberá habilitar una franja cortafuego, entre el cerco divisorio y la masa boscosa, de a lo menos 6 metros de ancho, manteniendo el suelo con un estrato herbáceo con especies ignífugas (especies menos combustibles). Si el bosque es de coníferas y existe una importante continuidad

horizontal y vertical de vegetación seca, se deberá agregar una franja de a lo menos 5 metros en que la vegetación arbustiva o arbórea sea mantenida en forma permanente podada y los residuos extraídos. Importante: si el terreno posee pendiente, deberán ampliarse y reforzarse las medidas antes señaladas.

Como se aprecia en la Figura 18, se observa una vista general del camino principal posterior a la fecha del incendio, el cual se extiende a lo largo del área de estudio, donde se evidencia que al modificarlo se consideraron algunas medidas de mitigación antes nombradas, como es la consideración de una franja que limita la vegetación del camino principal, lo que cumple con los requisitos sugeridos para la medida de prevención para incendios forestales, también se puede apreciar el cambio de composición en la carpeta de rodado y se incorpora un buffer de 3 mt., para visualizar la primera franja de seguridad que deben tener a los costados, logrando con ello, generar un cortafuego artificial.



Figura 18. Camino El Vergel al año 2019. Fuente: Elaboración propia sobre la base de mosaico georeferenciado año 2019.

En cuanto a las medidas de seguridad de los caminos secundarios, en la Figura 19, es posible evidenciar que no se adoptaron las franjas de seguridad, lo cual se comprueba al aplicar un buffer de 6 metros del borde del camino, siendo un riesgo para la población y el entorno.

Por otra parte, en relación a las medidas de mitigación bajo las fajas de tendidos eléctricos, es importante destacar que se deben mantener limpios, aún más, cuando la vegetación se encuentra muy cercana a éstos, la cual puede

ocasionar accidentes que generan chispas y con ello un incendio forestal. Es importante recalcar, que si la población detecta alguna de estas situaciones debe informarlo a las empresas a cargo de la línea eléctrica, puesto que, es necesario mantener el suelo despejado de vegetación bajo los tendidos eléctricos, ya que la caída de cables puede ser la causa de un incendio.



Figura 19. Franja de seguridad en caminos secundarios. Fuente: Elaboración propia sobre la base de mosaico georeferenciado año 2019.

En la Figura 20, se aprecia una línea con una tonalidad diferente al resto de la vegetación, sobre la cual se extiende un tendido eléctrico de alta

tensión, por consecuencia, se puede evidenciar que en gran parte de esta faja se mantiene un control de la vegetación bajo los cables de la línea eléctrica.



Figura 20. Control de vegetación bajo faja de tendido eléctrico. Fuente: Elaboración propia sobre la base de Mosaico georeferenciado año 2019.

EVALUACIÓN DE RIESGO EN EL ENTORNO Y LAS CONSTRUCCIONES

Para la evaluación del riesgo en la reconstrucción, en el programa "SpacEyes 3D Viewer" se visualiza el modelo de elevación generado y el mosaico del año 2019. En la Figura 21 se puede apreciar una vista general del área de estudio con una perspectiva diferente, donde se puede analizar los riesgos a los que están expuestas algunas edificaciones, especialmente cuando se encuentran asentadas en una zona de geomorfología con pronunciadas pendientes.

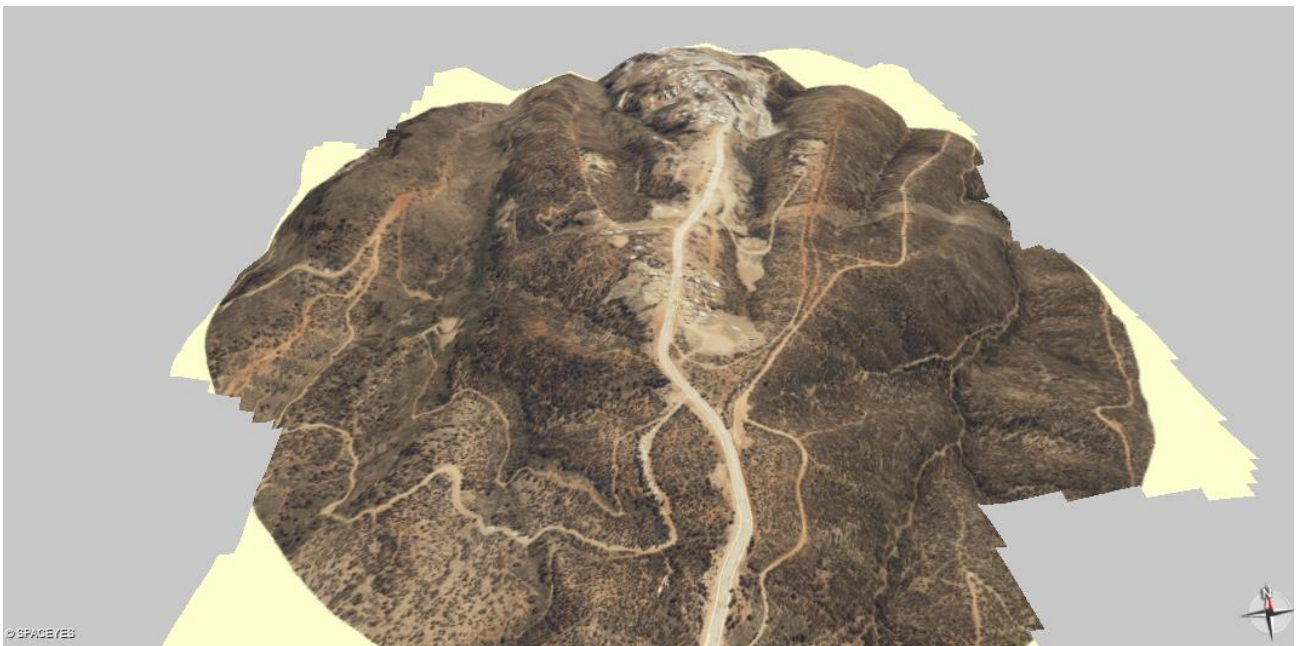


Figura 21. Vista aérea de área de estudio en mosaico tridimensional. Fuente: Elaboración propia sobre la base de MDT y Mosaico georeferenciado año 2019.

Como se aprecia en la Figura 22, la localización de algunas viviendas se encuentra en ladera de cerros y quebradas, en estos sectores “La velocidad de propagación inicial del fuego varía con la pendiente de la ladera” (Ministerio del Interior y Seguridad Pública, 2014, pág. 12), por lo tanto la inclinación del terreno favorece la transmisión del calor y la velocidad de propagación se incrementa en ese sentido. En el caso de las laderas muy abruptas, el fuego alcanza la fase de erupción casi inmediatamente después de su ignición, provocando un efecto chimenea, por lo que se pueden describir como zonas de alto riesgo, para incendios forestales.



Figura 22. Vistas de geolocalización de viviendas.
Fuente: Elaboración propia sobre la base de MDT y Mosaico georeferenciado año 2019.

Por otro lado, como se aprecia en la Figura 23, las vías de acceso (y escape), de algunas viviendas no son las ideales en caso de una evacuación ante una catástrofe, ya que productos de las pendientes, dificultad de acceso y la composición de rodado no favorecen la rápida evacuación de la población, así también, estos factores aumentan los tiempos de reacción para los vehículos de emergencia. Además, en los caminos secundarios no se observan las franjas de seguridad mínimas de 6 mt., indicados en el Manual con medidas para la prevención de incendios forestales (CONAF, 2011).



Figura 23. Vista de viviendas con dificultad de acceso

Fuente: Elaboración propia sobre la base de MDT y Mosaico georeferenciado año 2019.

Finalmente, es importante mencionar que la basura es un riesgo, ya que puede ser causa del origen de un incendio forestal, aún más cuando se desecha en sectores cercano donde existe vegetación pirogénica, por lo mismo es muy relevante mantener el control de estos basurales. En la Figura 24 se puede apreciar la basura acumulada cerca del camino El Vergel en el sector sur del área de estudio.



Figura 24. Basura acumulada al costado de la vegetación.

Fuente: Elaboración propia sobre la base de mosaico georeferenciado año 2019.

ANÁLISIS

El cambio climático que ha venido en creciente los últimos 10 años trae consigo una serie de factores adversos y dañinos para el país, aún más cuando las actitudes irresponsables y descuidadas de las personas provocan eventos que destruyen el ecosistema y la población, por lo anterior, en el año 2014 florece una de las catástrofes más perjudiciales en lo que respecta al impacto en la población, ya que arrasa con vidas humanas y viviendas. Durante los días 12 y 16 de abril del año 2014 se produjo un devastador incendio en la región de Valparaíso que afectó a los cerros de la ciudad del mismo nombre, en la cual se quemaron aproximadamente 1.042 ha., de las cuales 148 eran urbanas, casi 3.000 viviendas y edificaciones, lamentando la pérdida de 15 personas en solo 4 días, lo que deja en evidencia el gran daño causado a la población. Es por ello la importancia de esta investigación, que se concentra en definir una zona

del incendio, donde se presenten gran parte de las condiciones adversas para la propagación del incendio y analizar el impacto causado, ya sea en el entorno como en la infraestructura afectada.

El área de estudio se enfocó en una de las zonas pobladas y cercanas al inicio del incendio, la cual consideró aproximadamente 155 ha., de las cuales 132 ha. fueron afectadas. Por otra parte, según lo vectorizado, sobre la base de las imágenes capturadas por el Servicio Aerofotogramétrico el año 2012, se apreciaban 351 edificaciones, de las que se puede contabilizar que 256 fueron afectadas por el incendio, lo que corresponde a casi el 73% (imagen 2014). Estas cifras dejan en evidencia el gran daño que puede causar este tipo de catástrofes a la población y al entorno en pocos días.

En dicha área se concentran varios factores adversos que influyen en la rápida propagación de este descontrolado incendio, donde es factible mencionar, según los antecedentes de la CONAF, la vegetación predominantemente de eucalipto y matorrales, considerándose como una vegetación con condiciones altamente pirogénicas, la cual se quemó casi en su totalidad. Por otra parte, en el modelo digital de terreno se aprecia la inclinación de las pendientes, replicada por todos los cerros de Valparaíso, hacen que las llamas del incendio tengan un mayor alcance y adquieran una mayor velocidad de propagación, arrasando con todo lo que se interponga en su camino, sumándose a esto las condiciones extremas de altas temperaturas (32°) y fuertes corrientes de viento reinantes en el sector.

A todo lo descrito en el párrafo anterior, como se observa con los mosaicos georeferenciados (anterior evento) en el área de estudio, se agrega la falta de planificación en la expansión territorial que se desarrolla en los cerros de Valparaíso, con un mal control del asentamiento humano. Apreciándose edificaciones sin las medidas mínimas de seguridad para abordar este tipo de catástrofes, localizándose en lugares de complicado acceso, al borde o incluso en las mismas laderas de los cerros, rodeadas de vegetación, sin ninguna separación del área forestal, donde los caminos adaptados en las pronunciadas pendientes corresponden a escaleras y senderos estrechos que retrasan el paso de cualquier vehículo de emergencia.

En referencia a esta gran problemática, es significativo cuantificar, analizar y evaluar el impacto, para visualizar los daños y evidenciar los riesgos, con el propósito que sean de utilidad en la toma de decisiones para afrontar futuros incendios forestales, es por ello que este estudio se plantea “Analizar el impacto del incendio de Valparaíso de abril del año 2014 en el sector El Vergel del cerro La Cruz y su reconstrucción” y para lo cual se cuantificó el daño causado, se evaluó la zona quemada y la reconstrucción de las edificaciones, e identificaron los riesgos y medidas de mitigación observadas en el área de estudio.

El objetivo antes descrito, es abordado mediante la metodología de un estudio multitemporal, con el cual fue posible visualizar y analizar el daño causado por el incendio y evaluar las condiciones actuales del entorno y de su reconstrucción. Lo anterior, fue llevado a cabo sobre la base de imágenes capturadas por un sensor de gran formato perteneciente al Servicio Aerofotogramétrico de la Fuerza Aérea de Chile y mediante los procesos de la aerofotogrametría, donde se generaron los mosaicos correspondientes a cada época de análisis (antes, durante y posterior al incendio), de los cuales se realizó una interpretación de los elementos fotoidentificables sobre el terreno, representándose sobre un plano horizontal. De esta manera se pudo observar la vulnerabilidad del área de estudio, como también comparar, medir y evaluar el impacto del incendio en cuestión.

Los factores de la problemática en el incendio forestal, fueron observados, analizados y ratificados por la presente investigación, como así también fue la reconstrucción aplicada en el área de estudio. En la planimetrías y mosaicos elaborados de los distintos años, es posible evaluar que gran parte de las edificaciones fueron reconstruidas sobre el mismo terreno en el que se quemaron las casas, si bien no fueron exactamente las mismas, las que colindan con el camino El Vergel mejoraron en la planificación de construcciones y en el ordenamiento territorial. Sin embargo, como se apreciaba antes de la catástrofe, aún se presentan edificaciones asentadas en un área de interfaz urbano-forestal, las cuales están rodeadas de vegetación, donde no se aprecia una separación o franja de seguridad que las separe de ésta. Así también, en el sector sur del área de estudio donde se quemaron casi todas las edificaciones, no se volvió a reconstruir,

apreciándose una vulnerabilidad en su localización y distribución, aunque se observan algunas construcciones que no tienen una distribución muy estructurada, al menos cuentan con el camino El Vergel como vía de escape. Además, en el mosaico del año 2019 se puede apreciar la inconciencia de la población en un camino secundario que lo utilizan como basural. En cuanto a la vialidad, de igual forma que para el año 2014, se aprecian caminos de difícil acceso, estrechos y sin separación con la vegetación, principalmente hacia edificaciones construidas sobre laderas y quebradas de los cerros.

Por otra parte, se aprecian los cambios implementados posteriores al incendio, como fue la mejora de la composición y conformación del camino principal, implementándose las franjas de seguridad, según lo dispuesto en el Manual con medidas para la prevención de incendios forestales (CONAF, 2011), también se observa un mayor control de vegetación bajo el tendido eléctrico de alta tensión, para evitar que chispas o cortes sobre árboles o matorrales secos originen un incendio y como se mencionó anteriormente se omitió la reconstrucción en algunas zonas críticas.

Es por esto, que es importante contar con este tipo de análisis y recursos, para que estas catástrofes se puede enfrentar de una mejor manera y cause un menor impacto a la población y al ecosistema, ya que es evidente que un sector como el estudiado puede sufrir un daño similar, debido a las condiciones adversas que se presentan, las que muchas no pueden cambiar, pero sí se pueden aplicar medidas de prevención como son el progreso en las condiciones de camino y accesos, cortafuegos en las zonas críticas (como lo visualizado en el mosaico del año 2014 que delimitó el avance del fuego), control de vegetación, ordenamiento territorial, entre otros, para que sea posible enfrentar de mejor manera un incendio forestal extendido hacia zonas vulnerables.

CONCLUSIONES

La metodología del estudio multitemporal, mediante procesos de la aerofotogrametría, utilizada en el presente estudio, es apropiada para enfrentar la problemática, de la cual es posible elaborar productos que permitan apreciar un área

específica de diferentes puntos de vista y con distintas características, para así efectuar un análisis y comparación de una manera más completa y dinámica en un sector determinado, donde se pueda evidenciar y estimar el grado de afectación del incendio, tanto en el entorno, como en las construcciones del área de estudio.

En consecuencia, la metodología utilizada con las diferentes técnicas de trabajo fue factible analizar el impacto del incendio en el sector El Vergel, logrando los objetivos de cuantificar en hectáreas la superficie quemada y la cantidad de edificaciones afectadas por el incendio, evaluar el entorno, las edificaciones reconstruidas y analizar los riesgos junto con las medidas de mitigación presentes en la zona de estudio. De esta forma, es posible observar que gran parte de las edificaciones quemadas se ubicaban en un área vulnerable a los incendios forestales.

Si bien el uso de imágenes obtenidas de plataformas aéreas no tripuladas (drones o UAV) entregan imágenes con mejor resolución espacial, lo cual permite enfatizar con mayor detalle un área más específica, es importante destacar que la aerofotogrametría es comúnmente utilizada para el estudio de grandes extensiones. Sin embargo, en este proyecto es factible comprobar que, con un correcto uso de sus recursos, es posible aplicarlo en áreas bastante más reducidas.

Sumado a lo anterior, se deja presente que los recursos utilizados podrían ser mejorados si se consideran otra clase de productos, como son las imágenes falso color (con combinación de bandas radiométricas), para una mejor discriminación de la vegetación, o datos barridos por escáner LiDAR, donde podemos obtener modelos de elevación y superficie de mejor calidad para el análisis de las zonas de alto riesgo.

Por otra parte, mediante los mosaicos elaborados y el modelo de elevación es posible evidenciar que la vegetación asentada sobre laderas con alto grado de inclinación del área de estudio es extremadamente susceptible a sufrir graves consecuencias a causa de los incendios forestales, sumado a los factores adversos como altas temperaturas, vientos y estrés hídrico (falta de precipitaciones), influyen en la velocidad e intensidad de propagación de los incendios, tal como sucedió entre el 12 y 16 de abril del año 2014 en los cerros de Valparaíso.

El incendio del año 2014 es reconocido por el gran impacto que causó a la población de Valparaíso en lo que respecta a la viviendas o edificaciones, pero por la necesidad de las personas, se realiza el proceso de reconstrucción, en este ámbito y según los antecedentes de este proyecto se demuestra que al comparar con lo edificado al 2012 varias construcciones afectadas no se volvieron a levantar, pero la mayoría de las personas reconstruyó en el mismo lugar (cerca del 45%), aunque se intentó replicar lo anterior, en el mosaico del año 2019 se observa que nunca volverá a ser lo mismo de antes.

A la fecha existen edificaciones asentadas en zonas altamente vulnerables, lo que demuestra la poca importancia por parte de la ciudadanía ante los efectos de los incendios forestales, es por eso que este estudio, además de analizar el impacto que provoco esta catástrofe, quiere llegar a la conciencia de las personas, mostrando a la población al peligro que podrían estar expuestos y el daño que podrían sufrir si se presenta un incendio forestal en una zona con similares características.

Como es descrito en el proyecto, el análisis de las edificaciones quemadas se llevó a cabo mediante la digitalización de los techos fotoidentificables sobre el terreno, asumiendo que no fueron alcanzadas por las llamas de incendio, sin embargo, esta información no pudo ser corroborada en terreno, ya que debido a la contingencia sanitaria a nivel nacional durante el desarrollo del proyecto no fue posible asistir a la zona de estudio. Esta condición fue una limitante, para ratificar el cumplimiento de los objetivos planteados, pero los resultados obtenidos pueden ser de gran utilidad para evaluar desde otro punto de vista el impacto del incendio en los cerros de Valparaíso.

Este tipo de estudio sirve para ser replicado por diferentes organizaciones públicas o privadas para analizar el impacto en los distintos sectores afectados por incendios u otro tipo de catástrofe, como así también puede ser de utilidad para la toma de decisiones en implementación de medidas de prevención o para el análisis del comportamiento de la población en el asentamiento de viviendas o edificaciones, lo cual se debe tener en consideración, ya que nuestro país está expuesto a distintos tipos de catástrofes naturales.

Bibliografía

ATISBA. (2017). Reporte de zonas de riesgo incendios de Valparaíso. Obtenido de Atisba Monitor: <http://www.atisba.cl>

Cartografía.cl. Cámaras aéreas digitales. Obtenido de: <http://sitio.cartografia.cl/camaras-aereas-digitales>

Castillo, M. (2013). Integración de variables y criterios territoriales como apoyo a la protección contra incendios forestales. Área piloto: valparaíso – chile central. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Córdoba.

Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia. (S/A). La megasequía 2010-2019: Una lección para el futuro.

Climatología, Dirección Meteorológica de Chile. (S/A). Portal de Servicios Climáticos. Obtenido de <https://climatologia.meteochile.gob.cl/>.

CONAF. (2011). Manual con Medidas para la Prevención de Incendios Forestales.

CONAF. (Agosto de 2019). Estadísticas Históricas de Incendios Forestales en Chile. Obtenido de . Obtenido de <https://www.conaf.cl/incendios-forestales/incendios-forestales-en-chile/estadisticas-historicas/>

Felícimo, Á. (1994). Modelos Digitales del Terreno. Introducción y Aplicaciones en las Ciencias Ambientales. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/232423519_Modelos_Digitales_del_Terreno_Introduccion_y_Aplicaciones_en_las_Ciencias_Ambientales

Galiana, L. (2012). Las interface urbano-forestal: un nuevo territorio de riesgo en España. Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles N.º 58, 205-226.

Global Mapper, Imágenes del área de estudio, exportadas del programa

González, E., & Castañeda, R. (2019). Uso de la aerofotogrametría para el estudio de prefactibilidad de la carretera Ayash. Trujillo.

Google Earth. Imágenes de área de estudio con kmz del incendio de Valparaíso

Ministerio de Obras Públicas. (2019). Manual de Carreteras.

Ministerio del Interior y Seguridad Pública. (2014). Plan de Inversiones Reconstrucción y Rehabilitación Urbana:Valparaíso 2014.

ONEMI. (2017). PLAN ESPECÍFICO DE EMERGENCIA POR VARIABLE DE RIESGO.

Quinteros -Urquieta, C. (2019). Transformaciones urbanas post desastre en Valparaíso. Estado y planes de reconstrucción. Bitácora Urbano territorial, 29, 151-158. Obtenido de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/bitacora/article/view/70070>

Sánchez M., A., Bosque M., J., & Jiménez V., C. (2009). Valparaíso: su geografía, su historia y su identidad. Estudios Geográficos Vol. LXX, 269-293.

Servicio Aerofotogramétrico. (2016). Instructivo para la Orientación de Imágenes DMC.

Servicio Aerofotogramétrico. Imágenes del área de estudio, capturadas los años 2010, 2012, 2014 y 2019.

Territorium. (2012). Caracterización socioeconómica de la población en áreas de riesgo de incendios forestales. Estudio de caso. Interfaz urbano-forestal, provincia de Valparaíso. Chile Central. Territorium 19, 101-109. Obtenido de [journal homepage: http://www.uc.pt/fluc/nicif/riscos/Territorium/numeros_publicados](http://www.uc.pt/fluc/nicif/riscos/Territorium/numeros_publicados)