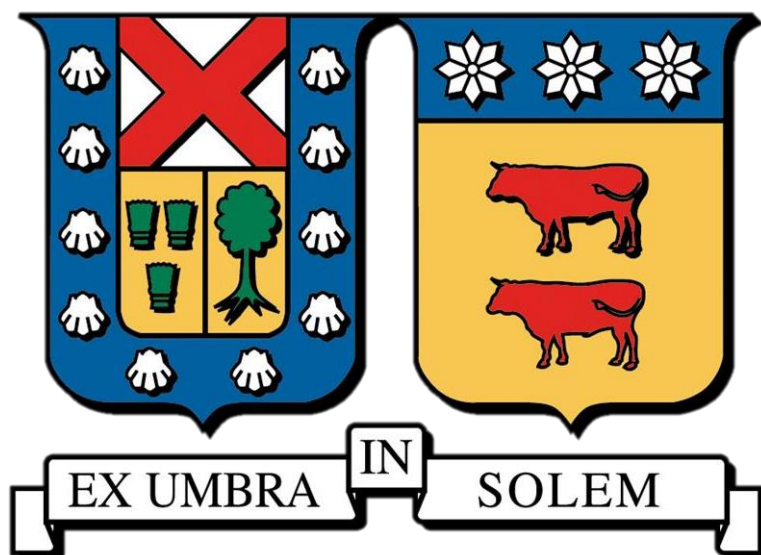


UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA
ACADEMIA DE CIENCIAS AERONÁUTICAS
SANTIAGO – CHILE

CAMPUS VITACURA



USO DE TELEDETECCIÓN SATELITAL PARA LA DETECCIÓN
DE FOCOS DE INCENDIOS FORESTALES

SEBASTIÁN ANDRÉS POBLETE SILVA

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERÍA EN AVIACIÓN
COMERCIAL

PROFESOR GUÍA : RODRIGO SUÁREZ V.
PROFESOR CORREFERENTE : ROXANA TRUJILLO G.

MARZO 2024

Dedicatoria

A mi madre Aída, quien me quiere y nos hemos apoyado en los momentos más difíciles de nuestras vidas; a mis tíos y primos que desde la distancia me han dado fuerzas para no rendirme; a la familia Bustamante Vargas, con quienes no comparto lazo sanguíneo, pero la vida nos ha hecho familia; a mis amigas, quienes me han alegrado y apoyado para salir adelante juntos; a todos los profesores que han visto en mí el potencial que nunca creí que podría tener y ayudaron a sacarlo a la luz; a mi psicólogo, quien me ayudó a sobrellevar y salir del oscuro abismo en el que creí verme envuelto y sin él no podría haber logrado este trabajo; y finalmente, a quienes no están con nosotros físicamente, mis abuelos José Fidel y María Ester, quienes marcaron el inicio y el fin de mi vida universitaria, y que siempre quisieron verme como un profesional, pero sé que desde el otro lo están haciendo.

Gracias a cada uno de ustedes porque me han enseñado y convertido en la persona que soy hoy en día.

Sebastián

Resumen ejecutivo

Los incendios forestales están aumentando; durante 2022, 6947 incendios consumieron 125335,08 hectáreas en total, equivalentes al tercer período con más daños en la última década en Chile. La Corporación Nacional Forestal debe detectar focos de incendio y coordinar los recursos para su extinción. Las imágenes satélites sirven como medio de detección, pero producto del tiempo entre pasadas se prioriza para el monitoreo y análisis del incendio.

Esta memoria emplea los productos de las imágenes satelitales de FIRMS que entregan puntos de calor para categorizarlos y reducir el tiempo requerido para su análisis. Se confeccionó una herramienta en el software QWIS, apto para análisis de procesos y visual para discriminar los puntos según la fuente que emita el calor detectado. Las fuentes son energía solar, bioenergía, termoeléctrica, industria forestal y la extracción de cobre, carbonato de calcio, hierro, petróleo y gas natural. Estas se catastraron en dos capas con polígonos llamadas “Normal” y “Alerta” que se diferencian según si existe vegetación circundante.

Los puntos de calor del 09 de diciembre de 2023 fueron usados como ejemplo donde la herramienta comprobó si los puntos se superponen a un polígono. El proceso tarda dos segundos frente al minuto que demora la manera manual, además se obtuvo que 11,17% y 75,24% son puntos con causa probable y desconocida, respectivamente. Este último puede reducirse si se incorporan las instalaciones que organismos gubernamentales no tienen registrada, así como incluir como condición el uso de suelo a la herramienta.

Keywords: incendio forestal, CONAF, FIRMS, punto de calor, fuente emisora, capa vectorial, área, QWIS, coordenadas, quema controlada.

Abstract

Wildfires are increasing; in 2022, 6,947 fires consumed 125,335.08 hectares in total, equivalent to the third period with the most damage in the last decade in Chile. The Corporación Nacional Forestal must detect fire outbreaks and coordinating resources to extinguish them. Satellite images serve as a means of detection, but due to the time between passes, they are prioritized for monitoring and analyzing the fire.

This work uses FIRMS satellite image products that provide heat points to categorize them and reduce the time needed for their analysis. A tool was created in the QWIS software, suitable for process and visual analysis, to discriminate the points according to the source that emits the detected heat. The sources are solar energy, bioenergy, thermoelectric, the forestry industry, and the extraction of copper, calcium carbonate, iron, oil, and natural gas mining. These were registered in two layers with polygons called “Normal” and “Alerta” that differ depending on whether there is surrounding vegetation.

The heat points from December 9, 2023, were used as an example for the tool that checked if the points overlap a polygon. The process takes two seconds compared to the minute it takes manually and found that 11.17% and 75.24% are points with probable and unknown cause, respectively. The latter can be reduced if facilities that government agencies do not have registered are incorporated, as well as including land use as a condition in the tool.

Keywords: wildfire, CONAF, FIRMS, heat point, emitting source, vector layer, area, QWIS, coordinates, controlled burning.

Índice

Dedicatoria.....	2
Resumen ejecutivo.....	3
Abstract.....	4
Índice	5
Índice de Tablas.....	7
Índice de Figuras	8
Introducción.....	11
Capítulo 1: Antecedentes Generales.....	12
1.1 Justificación	12
1.2 Objetivos.....	14
1.2.1 Objetivo general	14
1.2.2 Objetivos específicos.....	14
1.3 Metodología	15
1.4 Alcance.....	16
Capítulo 2: Estado del Arte	17
2.1 Antecedentes.....	17
2.1.1 Corporación Nacional Forestal	17
2.1.1.1 Sección de Análisis y Predicción de Incendios Forestales (SAPIF).....	20
2.1.1.2 Central Nacional de Coordinación (CENCO).....	20
2.1.1.3 Detección de incendios forestales	22
2.2 Marco teórico.....	24
2.2.1 Teledetección	24
2.2.1.1 Espectro electromagnético.....	24
2.2.1.2 Sensores y satélites de teledetección	26
2.2.1.2.1 Tipos de satélites y sensores.....	29
2.2.2 Datos Geoespaciales	29
2.2.2.1 Sistema de Referencia de Coordenadas (SRC).....	30
2.2.2.2 Formato de Datos Espaciales.....	34
2.2.3 Herramientas online que detectan focos de incendio	35
2.2.3.1 Sistema de Información sobre Incendios para la Gestión de Recursos (FIRMS) 35	
2.2.3.1.1 Espectroradiómetro de Imágenes de Resolución Moderada (MODIS).....	36
2.2.3.1.2 Conjunto de Radiómetros de Imágenes Infrarrojas Visibles (VIIRS)	39
2.2.3.2 Sistema Mundial de Información sobre Incendios Forestales (GWIS)	42
2.2.3.3 Worldview	44
2.2.3.4 Rama de Meteorología Regional y de Mesoescala (RAMMB)	45
2.2.3.4.1 GOES-16.....	46
2.3 Propuesta metodológica.....	49
Capítulo 3: Desarrollo.....	51

3.1 Detección de focos de incendios.....	51
3.1.1 Corporación Nacional Forestal (CONAF).....	51
3.1.2 Productos de los portales detectores de incendios.....	53
3.2 Fuentes de calor detectadas por FIRMS.....	58
3.3 Catastro de puntos de calor frecuentes.....	68
3.3.1 Volcanes activos.....	68
3.3.2 Centrales de Generación de Energía, Instalaciones Mineras y Forestales.....	70
3.3.3 Quemas Controladas.....	71
Capítulo 4: Herramienta que diferencia focos de incendios	75
4.1 Diagrama de flujo de la herramienta	75
4.2 Correcciones de Sistema de Referencia y de Formato	77
4.3 Puntos de Calor con Fuente “Normal”	78
4.4 Puntos de Calor generados por Quemas Controladas	79
4.4.1 Corrección de Duplicidad de SRC	79
4.4.2 Área de Avisos de Quema Controlada	82
4.4.3 Detección de Puntos de Quema.....	85
4.5 Puntos de Calor con Fuente Probable	85
4.6 Puntos de Calor con Fuente Desconocida.....	86
Capítulo 5: Conclusiones y recomendaciones	89
Bibliografía y fuentes de información.....	92
Anexos	96

Índice de Tablas

<i>Tabla 2.1 – Clases de los pixeles del “firemask” de los MOD14/MYD14.....</i>	<i>37</i>
<i>Tabla 2.2 – Clases de los SDS del “firemask” del VNP14IMG.</i>	<i>41</i>
<i>Tabla 3.1 – Capas nacionales descargadas para identificar las fuentes de emisión de calor detectadas por la plataforma FIRMS.</i>	<i>61</i>

Índice de Figuras

<i>Figura 2.1 – Organigrama de la Corporación Nacional Forestal (CONAF).</i>	18
<i>Figura 2.2 – Esquema de una Onda Electromagnética.</i>	24
<i>Figura 2.3 – Rangos de longitud de onda del Espectro Electromagnético.</i>	25
<i>Figura 2.4 – Comparación gráfica entre la forma irregular de la Tierra y figuras geométricas regulares.</i>	30
<i>Figura 2.5 – Coordenadas Cartesianas Tridimensionales Globales (ECEF).</i>	31
<i>Figura 2.6 – Coordenadas Geodésicas.</i>	31
<i>Figura 2.7 – Tipos de proyecciones con las diferentes orientaciones posibles.</i>	32
<i>Figura 2.8 – Sistema Universal Transversal de Mercator (UTM).</i>	33
<i>Figura 2.9 – Coordenadas locales.</i>	34
<i>Figura 2.10 – Modelos de Representación de Datos Vectorial (a) y Ráster (b).</i>	35
<i>Figura 2.11 – Puntos calientes detectados en las últimas 24 horas al mediodía del 09 de febrero de 2024 para la Región Metropolitana.</i>	36
<i>Figura 2.12 – Ejemplo de un gránulo de MOD14 tomado el 19 de agosto de 2002 a las 03:00 horas con el satélite Terra.</i>	38
<i>Figura 2.13 – Ejemplo de un “firemask” de VIIRS tomada el 22 de noviembre de 2015.</i>	41
<i>Figura 2.14 – Visor de la situación actual de GWIS indicando los Incendios Activos y el Pronóstico de Peligro de Incendio en la Región Metropolitana para el período del 10 al 11 de febrero de 2024.</i>	43
<i>Figura 2.15 – Imagen de Worldview indicando los Incendios y Anomalías Térmicas detectadas por los sensores MODIS y VIIRS en las regiones de Valparaíso y Metropolitana el 12 de febrero de 2024.</i>	44
<i>Figura 2.16 – Visor de RAMMB mostrando las temperaturas del terreno detectadas el 13 de febrero de 2024 para la Región Metropolitana.</i>	46
<i>Figura 2.17 – Producto RGB de Temperatura del Fuego tomado el 09 de octubre de 2017.</i>	48
<i>Figura 3.1 – Visor de RAMMB mostrando las temperaturas de un foco de incendio y sus coordenados detectado el 09 de agosto de 2023.</i>	54
<i>Figura 3.2 – KMZ de FIRMS abierto en Google Earth, mostrando un punto de calor detectado en la Fundición Potrerillos por el sensor MODIS abordo del satélite Terra el 20 de junio de 2023.</i>	55
<i>Figura 3.3 – Extracto de un CSV de FIRMS abierto en Excel de los puntos de calor detectados en Chile por el sensor VIIRS abordo del satélite Suomi durante el 25 de agosto de 2023.</i>	56
<i>Figura 3.4 – Shapefile de FIRMS, abierto en el software QGIS, con los puntos de calor detectados en la Fundición Potrerillos por el sensor VIIRS abordo del satélite NOAA-20 durante el 17 de junio de 2023.</i>	56
<i>Figura 3.5 – Extracto de la Tabla de Atributos del Shapefile de FIRMS, abierto en el software QGIS, con los puntos de calor en Chile detectados por el sensor VIIRS abordo</i>	

<i>del satélite NOAA-20 durante el 17 de junio de 2023.....</i>	<i>57</i>
<i>Figura 3.6 – Pantalla del proceso “Reproyectar capa” de los límites regionales de Chile.</i>	<i>59</i>
<i>Figura 3.7 – Tabla de atributos de la capa con los límites regionales de Chile al contabilizar los puntos de calor detectados por FIRMS para el período del 17 de junio al 14 de julio de 2023.</i>	<i>60</i>
<i>Figura 3.8 – KMZ de FIRMS abierto en Google Earth, mostrando un punto de calor detectado en el Volcán Villarrica por el sensor VIIRS a bordo del satélite NOAA-20... </i>	<i>60</i>
<i>Figura 3.9 – KMZ de FIRMS abiertos en Google Earth, mostrando puntos de calor detectados en la Mina El Teniente y la Central Termoeléctrica ENEL de Quintero.....</i>	<i>61</i>
<i>Figura 3.10 – Buffer de 600 metros generado alrededor de la cima del punto que identifica al volcán Villarrica.....</i>	<i>62</i>
<i>Figura 3.11 – Diagrama de flujo de la detección de fuentes de emisión de calor detectados por FIRMS.</i>	<i>63</i>
<i>Figura 3.12 – Diagrama de una célula solar típica de silicio.....</i>	<i>64</i>
<i>Figura 3.13 – Diagrama de la estructura de un sistema de energía termosolar de concentración.....</i>	<i>65</i>
<i>Figura 3.14 – Diagrama de la estructura de una planta de bioenergía.....</i>	<i>66</i>
<i>Figura 3.15 – Diagrama de la estructura básica de una central termoeléctrica.</i>	<i>66</i>
<i>Figura 3.16 – Corte transversal de un volcán.</i>	<i>67</i>
<i>Figura 3.17 – Puntos de calor detectados por los sensores de FIRMS en el Volcán Villarrica desde el 01 de enero al 15 de septiembre de 2023.</i>	<i>69</i>
<i>Figura 3.18 – Puntos de calor detectados por FIRMS en el Volcán Villarrica entre el 01 de enero y el 15 de septiembre de 2023 dentro del buffer de 1,6 km de radio.....</i>	<i>69</i>
<i>Figura 3.19 – Capa vectorial del Parque Fotovoltaico Domeyko utilizando (a) el método de buffer de 600 m y (b) el método de digitalización.</i>	<i>70</i>
<i>Figura 3.20 – Capas vectoriales (a) “Normal” para el Parque Fotovoltaico Domeyko (a) y (b) “Alerta” para el Parque Doña Carmen Solar.</i>	<i>71</i>
<i>Figura 3.21 – Opción para solicitar “Avisos de quema por ejecutarse (en línea)” en el Sistema de Asistencia a Quemados.</i>	<i>72</i>
<i>Figura 3.22 –Extracto del Excel de “Avisos de quema por ejecutarse (en línea)” para el 11 de diciembre de 2023.....</i>	<i>73</i>
<i>Figura 4.1 –Diagrama con los procesos del modelo que discriminan puntos de calor basándose en fuentes calóricas.</i>	<i>76</i>
<i>Figura 4.2 – Pantalla con las capas de entrada solicitadas para el proceso creado con el Modelador gráfico de QWIS para discriminar fuentes de puntos de calor.</i>	<i>77</i>
<i>Figura 4.3 – Puntos de calor detectados en Chile por el sensor VIIRS a bordo del satélite SUOMI durante el 09 de diciembre de 2023.</i>	<i>77</i>
<i>Figura 4.4 – Pantalla del proceso “Rehacer campos” que aumenta el número máximo de caracteres a 7 para los atributos “Satellite” y “Confidence” para las capas de puntos de calor provenientes de MODIS y VIIRS.</i>	<i>78</i>
<i>Figura 4.5 – Puntos de calor detectados en la Mina Chuquicamata por el sensor VIIRS a bordo del satélite SUOMI durante el 09 de diciembre de 2023, (a) posterior al proceso de reproyección y, (b) al proceso de extracción por ubicación con respecto a la capa</i>	

<i>“Normal”</i>	79
<i>Figura 4.6 – Pantalla del proceso de “Crear capa de puntos a partir de tabla” para convertir los avisos de quemas por ejecutarse de CONAF en capas vectoriales</i>	80
<i>Figura 4.7 – Puntos de los Avisos de quemas por ejecutarse notificados por CONAF en los Sistemas de Referencia de Coordenadas (a) WGS 84/UTM Huso 18 Sur y (b) WGS 84/UTM Huso 19 Sur</i>	80
<i>Figura 4.8 – Capa vectorial “Mapa de Chile” que cubre gran parte del territorio continental</i>	81
<i>Figura 4.9 – Capa vectorial con los avisos de quemas por ejecutarse informados por CONAF para el 09 de diciembre en el Sistema de Referencia de Coordenadas WGS 84/UTM Huso 19 Sur</i>	81
<i>Figura 4.10 – Pantalla del proceso “Rehacer campo” para transformar el atributo “Superficie” del Tipo Texto a Número Decimal en la capa “Avisos de Quemas”</i>	82
<i>Figura 4.11 – Pantalla del proceso “Calculadora de campos” para crear el atributo “Radio” en la capa “Avisos de Quemas”</i>	83
<i>Figura 4.12 – Pantalla del proceso “Búfer múlti-anillos (distancia constante)” para crear una capa con polígonos circulares que representen los terrenos donde se llevarán a cabo las Quemas Controladas</i>	84
<i>Figura 4.13 – Capa con las áreas de los terrenos donde se llevarán a cabo las quemas controladas durante el 09 de diciembre de 2023</i>	84
<i>Figura 4.14 – Puntos de calor detectados por el sensor VIIRS a bordo del satélite SUOMI en la Fundición Chagres durante el 09 de diciembre de 2023 que forman parte del “Consolidado Causas Probable”</i>	85
<i>Figura 4.15 – Capas vectoriales con el (a) “Compilado Causas Probables” y (b) “Compilado Causa Desconocida” para los puntos de calor detectados por VIIRS a bordo del satélite SUOMI durante el 09 de diciembre de 2023</i>	86
<i>Figura 4.16 – Puntos de calor detectados el 09 de diciembre catalogados como “Puntos con causa desconocida” próximos a una planta solar cercana a localidad de Laguna Quilmo, Región del Biobío</i>	87
<i>Figura 4.17 – Visualizador de capas de QWIS después de aplicar el modelo por segunda vez</i>	87
<i>Figura 4.18 – Puntos de calor detectados por FIRMS en Chile durante el 09 de diciembre de 2023. En verde se encuentran los puntos con “Causa Probable”, mientras que en amarillo están los puntos con “Causa Desconocida”</i>	88

Introducción

Los incendios forestales se han incrementado durante los años, conllevando un aumento en el daño ocasionado para el medioambiente y a la sociedad. Según el Consolidado de Temporadas 1985-2022 elaborado por la Corporación Nacional Forestal (CONAF), durante el último año se acontecieron 6947 incendios que consumieron 125335,08 hectáreas (ha) en Chile, lo que equivale al tercer período con el mayor número de incendios y hectáreas quemadas en la última década para el país.

Para paliar el impacto de estos fenómenos, la CONAF toma medidas preventivas y para disminuir el tiempo de detección de los focos de incendios desde el comienzo del fuego, paso inicial para generar la coordinación de recursos para combatir el incendio.

La Corporación cuenta con los siguientes métodos de detección: terrestre móvil, terrestre fija, aérea, detección con sistemas televisivos y satelital. El monitoreo mediante imágenes satelitales tiene la facultad de acceder a zonas remotas y durante la noche, lo que la distingue de las otras. Sin embargo, la detección satelital depende del tiempo que transcurra entre pasadas del satélite por el mismo lugar y la presencia de nubes y humo, lo anterior hace que los funcionarios de CONAF encargados del análisis satelital prioricen el uso de imágenes satelitales para el análisis de las condiciones previas a un incendio (para determinar la probabilidad de que ocurra) y de los efectos una vez finalizado el desastre.

A pesar de las dificultades anteriores, en el mundo existen distintas herramientas online gratuitas que permiten detectar focos de incendios, como son el Sistema de Información sobre Incendios para la Gestión de Recursos (FIRMS) y la Rama de Meteorología Regional y de Mesoescala (RAMMB).

Este trabajo busca analizar la eficiencia de las herramientas satelitales utilizadas por la CONAF en la detección de focos de incendios forestales, además de confeccionar herramientas adicionales que permitan paliar estas dificultades que enfrenta el organismo para identificar focos.

Capítulo 1: Antecedentes Generales

1.1 Justificación

El fuego producido durante los incendios forestales es capaz de propagarse sin control utilizando como combustible la vegetación circundante, destruyendo lo que encuentre en su camino. Según informes de la Corporación Nacional Forestal (CONAF) desde 1985 al 2022 en promedio se han consumido 73.439 hectáreas (ha) anualmente, cifra que en el último decenio llega a las 124.685 ha (CONAF, 2022). La devastación resultante impacta negativamente tanto al medioambiente como a la sociedad al ocasionar, por ejemplo, el avance de la erosión y la destrucción de puestos de trabajo, respectivamente (Urzúa & Cáceres, 2011).

CONAF es uno de los organismos encargados de determinar las causas de estos siniestros en Chile, con el fin de reorientar las decisiones en la planificación y toma de medidas preventivas. Para el período 2003 al 2022 acontecieron 126.423 incendios forestales, de los cuales el ser humano es responsable del 88,9%, ya sea de manera accidental (54,58%) o intencional (34,31%). Mientras que el 0,37% de estos siniestros son ocasionados de manera natural, ya sea producto de la caída de rayos, erupciones volcánicas u otras causas naturales no clasificadas. Finalmente, el 10,74% restante son producto de causa desconocida o no determinada (CONAF, 2022).

En consecuencia, la corporación invierte en prevención, detección y combate para disminuir la ocurrencia de incendios forestales y el daño que ocasionan. En prevención, la corporación realiza actividades educativas e impositivas para evitar la generación por acción u omisión de las personas, así como intervenir la vegetación para impedir o retardar el fuego. Por otro lado, la detección de focos de incendio origina una serie de acciones que finalizan con la destinación de recursos para su combate, por lo anterior es que se busca que la detección sea rápida y con la mayor cantidad de información respecto a las características del incendio y de los sectores aledaños.

La corporación utiliza cinco métodos de detección: detección terrestre móvil, terrestre fija, aérea, detección mediante sistemas televisivos y satélites. Este último, permite acceder a zonas remotas que los otros métodos no logran, sin embargo, su uso depende del tiempo que transcurre entre las pasadas del satélite sobre el sector y de la resolución de las imágenes. Lo anterior, posibilita el monitoreo utilizando índices para ver el estado de la vegetación y pronósticos para el tiempo meteorológico, determinar la superficie

siniestrada y dar seguimiento a la recuperación de la vegetación posterior al incendio, entre otros.

Con respecto al proceso de la detección satelital de focos de incendios activos en sí, CONAF utiliza los portales web gratuitos y de libre acceso: Regional and Mesoscale Meteorology Branch (RAMMB) y Fire Information for Resource Management System (FIRMS). El primero muestra imágenes satelitales en tiempo real y permite seleccionar filtros para visualizar la temperatura del fuego, pero, el observador debe buscar manualmente a lo largo de su zona de estudio para encontrar un punto de calor. Mientras que, FIRMS permite visualizar, descargar en formato KMZ, JPG y Excel puntos de calor junto con información complementaria como su brillo, adicionalmente el portal envía correos indicando puntos recientemente detectados indicando su ubicación, sin embargo, la información se actualiza cada 3 horas. Por otro lado, ambos portales pueden presentar errores durante el proceso dadas las distintas fuentes que generan los puntos de calor como: volcanes, quemas agrícolas autorizadas, industria minera, termoeléctricas, incendios. Lo anterior, conlleva a que el analista compruebe con diversas fuentes de información si el punto detectado se trata de un incendio activo o un error del portal.

El presente trabajo busca reducir el tiempo de análisis que conlleva verificar la naturaleza del punto de calor, para ello es que se identificarán los satélites y portales de acceso que permiten detectar puntos de calor, así como las dificultades que éstos presentan. Posteriormente, se generará un catastro de los puntos erróneos más frecuentes para incorporarlos en el diseño de modelo que permita discriminar los puntos de calor que se traten de incendios activos de quemas autorizadas.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Proponer el diseño de una herramienta que permita diferenciar los puntos de calor que corresponden a focos de incendios, al discriminar y eliminar los puntos frecuentes detectados utilizando teledetección satelital, teniendo como condición que su fuente de emisión sea distinta a los incendios forestales.

1.2.2 Objetivos específicos

- a. Identificar aquellos sensores y portales de información geoespacial de acceso libre y gratuito que permiten detectar focos de incendios mediante puntos de calor y cuyos productos sean compatible con QGIS.
- b. Identificar las fuentes de los puntos de calor frecuentes detectados por los sensores.
- c. Confeccionar un catastro con los puntos de calor frecuentes en Chile cuya fuente no son focos de incendios.
- d. Proponer el diseño de una herramienta que permita discriminar los puntos de calor relacionados a focos de incendio de otras fuentes de calor a partir de información geoespacial.

1.3 Metodología

La metodología empleada para llevar a cabo esta memoria será “Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar” (DMAIC), método que consiste en generar e implementar mejoras para perfeccionar procesos que presentan falencias y/o deficiencias. En primera instancia, se entrevistará a funcionarios de la CONAF para identificar problemas y/o necesidades presentes durante proceso de detección y monitoreo de focos de incendios usando imágenes satelitales con el fin de generar soluciones.

Posteriormente, se buscará identificar las herramientas satelitales usadas por CONAF que sean compatibles con el software QGIS, para así determinar las fuentes de calor que generan puntos de calor detectados. Las capas vectoriales correspondientes a las posibles fuentes que emanan energía calórica sean extraídas desde la Infraestructura de Datos Geoespaciales de Chile (IDE Chile), así como su símil del Ministerio de Energía (IDE Energía) y del Portal GEOMIN, dependiente de Sernageomin. Una vez recopiladas estas capas, se analizarán y determinarán cuáles son las fuentes de energía registradas por las herramientas de detección de puntos de calor. Posteriormente, se buscará confeccionar un catastro con estas fuentes, que posteriormente será cruzado con las notificaciones de quemas autorizadas para elaborar una herramienta que discrimine los puntos de calor que correspondan únicamente a focos de incendios forestales.

1.4 Alcance

El alcance del trabajo es del tipo descriptivo y correlacional. El primero de ellos se justifica dada la realización de la recopilación de información sobre sensores y portales de acceso que detectan puntos de calor, para posteriormente determinar cuáles son utilizados por CONAF, además de ser compatibles con QGIS para poder generar la herramienta para discriminar aquellos puntos que representan focos de incendios.

Por otro lado, se presenta el enfoque correlacional puesto que se pretende realizar una herramienta que muestre los focos de incendios mediante puntos de calor, para ello es necesario generar catastro de los puntos frecuentes que hacen referencia a otras fuentes de calor durante el proceso de detección. Tanto para la herramienta como el catastro, se necesita idear un mecanismo que permita discriminar la naturaleza de la fuente de calor que detecta el sensor.

La memoria se extiende por dos semestres. Toda la información y capas recopiladas en este trabajo es la existente actualizada para el 2023, para el caso de los puntos de FIRMS se emplea la del período del 15 marzo al 31 de agosto. Dado que se analiza la situación de la CONAF, el alcance geográfico de la memoria se concentra en todo territorio de Chile continental.

Capítulo 2: Estado del Arte

2.1 Antecedentes

2.1.1 Corporación Nacional Forestal

La Corporación Nacional Forestal (CONAF) es una entidad de derecho privado sin fines de lucro dependiente del Ministerio de Agricultura de Chile, encargada de administrar la política forestal del país, fomentar el desarrollo del sector, administrar áreas silvestres protegidas y reducir el riesgo de incendios forestales (CONAF, 2022). Para poder dar cumplimiento a la última función de este organismo, existen la Sección de Análisis y Predicción de Incendios Forestales (SAPIF) y la Central Nacional de Coordinación de Incendios Forestales (CENCO), ambas dependientes de la Gerencia de Protección Contra Incendios Forestales.

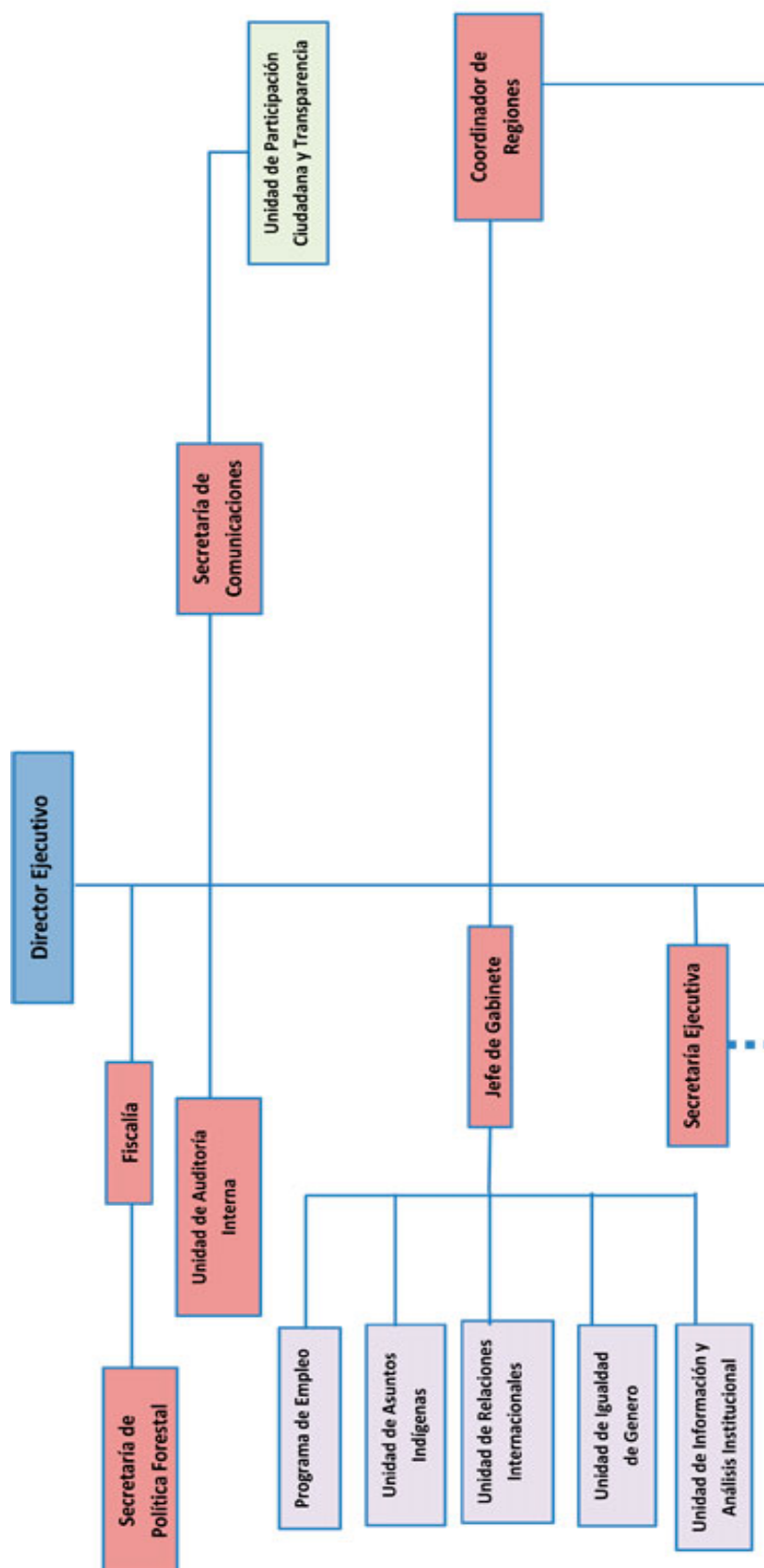


Figura 2.1 – Organigrama de la Corporación Nacional Forestal (CONAF).

Fuente: Corporación Nacional Forestal (CONAF, s.f.)

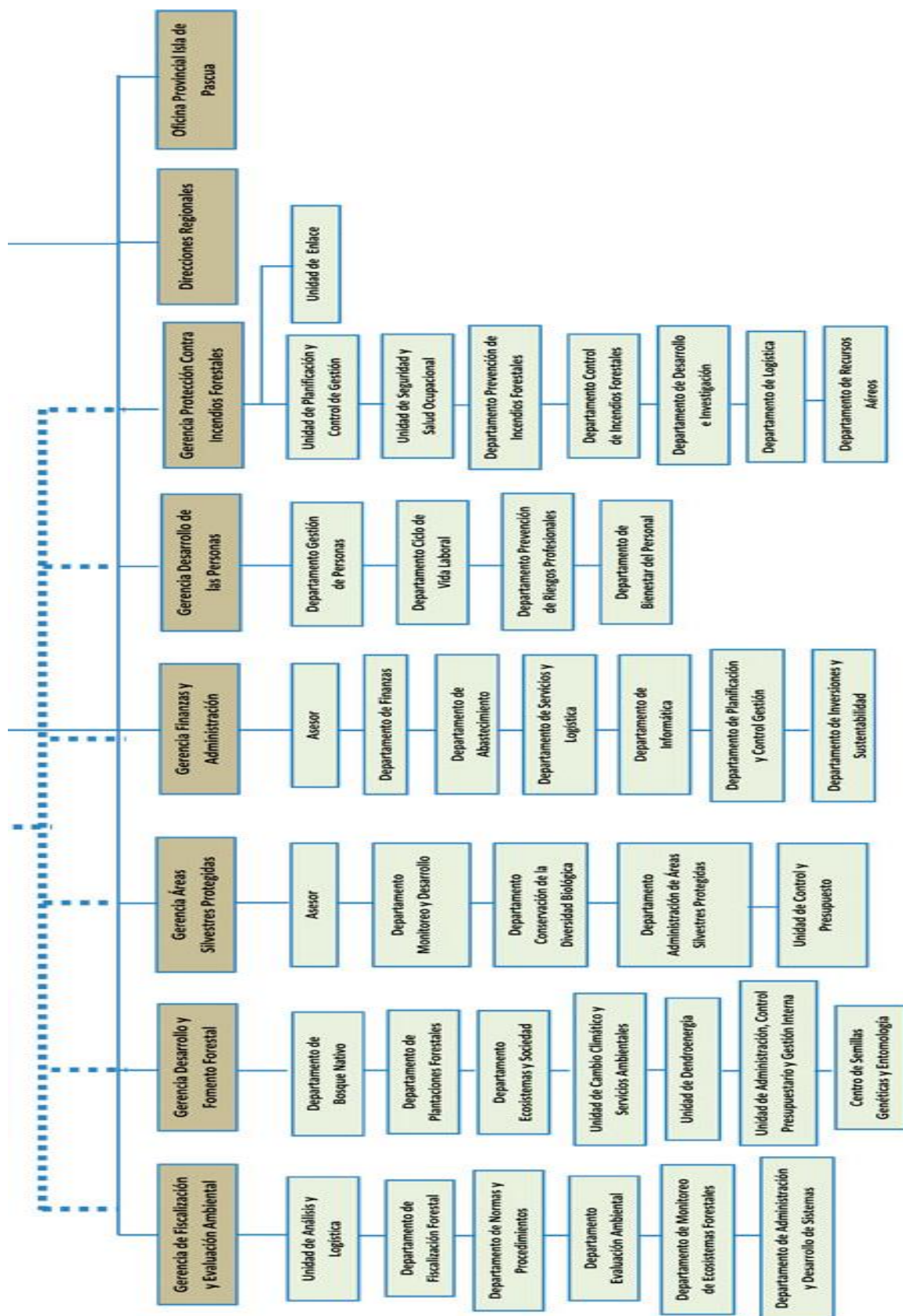


Figura 2.1 –Continuación del Organigrama de la Corporación Nacional Forestal (CONAF).

Fuente: Corporación Nacional Forestal (CONAF, s.f.).

2.1.1.1 Sección de Análisis y Predicción de Incendios Forestales (SAPIF)

SAPIF es una sección del área de inteligencia de la CONAF (portal del agro.cl, 2017), dependiente del Departamento de Prevención de Incendios Forestales (CONAF, 2018). Dentro de sus funciones está el análisis de incendios forestales, mediante la simulación y la evaluación del comportamiento potencial que pueden tener los incendios, en su desarrollo, proyección y amenazas. Otras de sus funciones son establecer las condiciones de riesgo por incendio forestal, el seguimiento y monitoreo en tiempo real de los incendios, elaboración y validación de la cartografía del área quemada, reconstrucción de los incendios históricos y evaluación post incendio (severidad y efectos del fuego).

Parte de los productos elaborados por SAPIF son de acceso público y se encuentran disponibles en <https://conaf.carto.com/maps>, ejemplo de los cuales son los mapas de Índice de Humedad del Combustible Fino Muerto, Probabilidad de ignición, Temperatura máxima, Humedad relativa, Velocidad del viento, Frecuencia de incendios forestales, Gravedad y causa de incendios forestales, Incendios forestales por semana, Incendios forestales por causa intencional, Densidad de incendios de magnitud, Cartografía de área quemada (perímetros y severidad de los incendios) y el Botón Rojo. El último se elabora para informar a los organismos que forman parte del Sistema de Protección Civil y a la ciudadanía la existencia de condiciones favorables para la ocurrencia y propagación de incendios forestales de magnitud (CONAF, 2021).

2.1.1.2 Central Nacional de Coordinación (CENCO)

La Central Nacional de Coordinación (CENCO) localizada en la Oficina Central de CONAF, monitorea la situación nacional actual y dispone y coordina la movilización de recursos dentro de las once regiones de las Centrales de Coordinación Regional (CENCOR), entre las regiones de Coquimbo y Magallanes. Todas gestionan el despacho de recursos y coordinan su trabajo en combate tanto a nivel regional como nacional para apoyar el combate de un incendio en particular.

Al despachar se establece qué recursos se destinarán para el combate, según el análisis del reporte de detección, la información sobre las características del incendio y del lugar siniestro y los recursos disponibles. Posteriormente se coordina la operación del personal, equipos y aeronaves movilizadas y se mantiene una información constante sobre el desarrollo del combate.

El despachador debe aplicar sus conocimientos y juicio técnico, utiliza información sobre la disponibilidad y la condición de los recursos de combate y evalúa la situación presente y futura del incendio, en cuanto al desarrollo de su combate y la posibilidad de controlarlo o de necesitar más recursos. Dispone, además, de elementos y asistencias computacionales que lo orientan y asisten en el análisis de la situación, en la decisión de qué elementos enviar y en la coordinación posterior que debe hacer mientras dura el combate.

Uno de los apoyos para el despachador es el material cartográfico disponible. El mapa del área a proteger determina la procedencia de despachar o no recursos, según si el fuego está o no bajo su jurisdicción. En Chile, las empresas forestales se encargan de la protección de su patrimonio, mientras que la CONAF, está abocada a la protección del Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE), interfaz urbano rural y medianos y pequeños propietarios.

Adicionalmente, para el despacho es necesario poseer mapas con la ubicación de los recursos terrestres de combate propios y de entidades relacionadas y con variada información complementaria, tales como la ubicación de las brigadas en la Región, camiones estanque, vehículos, servicios médicos, depósitos de herramientas, estaciones meteorológicas, Cuerpos de Bomberos, aeródromos, localización de aeronaves y bases de operación, su radios de acción, tiempos de vuelo, rutas para la detección aérea, ubicación de las torres de detección, etc.

Las operaciones diarias son registradas digitalmente con ubicación de los incendios, los recursos asignados y la situación de combate a cada momento.

Por otro lado, en las bases de datos y en los paneles a la vista, se registran las condiciones cambiantes y que deben ser consideradas para el despacho. Entre ellas las referidas al grado de peligro, situación al instante de los recursos indicando condiciones y disponibilidad de brigadas de combate, aeronaves, medios de detección, vehículos, ubicación, personal a cargo, turnos de trabajo, horarios laborales, número de horas de vuelo ocupadas por helicópteros y aviones cisterna, kilometrajes de vehículos, etc.

Igualmente, se realiza el monitoreo y actualización de las estadísticas del número de incendios forestales y superficie afectada, fichas de personal, estadísticas de accidentes, inventarios de equipos y herramientas, junto a registros dinámicos, manuales o digitales, de los llamados y respuestas radiales hacia y desde la Central y de los sucesos importantes en el desarrollo del combate de cada incendio.

Varios programas computacionales, diseñados para manejar información operacional y para asistir y agilizar las decisiones del despachador operan en CONAF y en las

empresas forestales. Es el caso del Sistema Digital para Control de Operaciones (SIDCO), que CONAF utiliza de manera interna para monitorear la ocurrencia de incendios forestales, registrar situaciones y decisiones operacionales y entregar información on-line a autoridades e instancias técnicas (CONAF, s.f.).

2.1.1.3 Detección de incendios forestales

La detección de incendios forestales se define como el conjunto de recursos, procedimientos y actividades para descubrir, localizar y reportar en el menor tiempo un incendio a la CENCO, con el fin de que ésta decida el despacho de los recursos necesarios. La detección debe ser rápida, con un mínimo de tiempo transcurrido desde el inicio del fuego, idealmente dentro de los primeros 30 minutos (Cortes, 2023). Adicionalmente, debe aportar la mayor cantidad de información acerca de las características del incendio y del sector en el cual se propaga, para facilitar las decisiones del despachador. La CONAF detecta incendios forestales a través de cinco sistemas (CONAF, s.f.):

i) Detección terrestre móvil

Se trata del desplazamiento de vigilantes en determinada área mediante un medio de transporte o a pie. En Chile se utiliza en un amplio nivel en predios, especialmente por empresas forestales, donde se combina con la supervisión de faenas. Esta metodología entrega información sobre el incendio a la vista y posibilita un primer ataque al fuego, pero la observación no es continua, dado que, transcurre un cierto tiempo entre pasadas para vigilar un mismo sector.

ii) Detección terrestre fija

Es la modalidad que más se aplica en Chile. Se basa en la visión de un Observador desde estructuras metálicas o de madera, entre 15 a 30 m de altura, llamadas torres, o bien desde casetas de menor altura denominados puestos de detección. Se construyen en cerros de altura prominente, desde donde se vigila el área en un radio de 20 km aproximadamente, distancia que puede ser incrementada mediante prismáticos. Avistado un fuego, el observador recopila información sobre las características del fuego y del terreno y la transmite por radio a la CENCOR.

La observación es permanente, casi ininterrumpida y la comunicación por radiotransmisor es fácil y estable. Pero no todo el terreno está a la vista, existen puntos ciegos en el lado oculto de los cerros, que retardan en minutos la detección

hasta que el humo se hace visible.

iii) Detección aérea

Este método consiste en el uso de aviones, generalmente monomotores de ala alta, para detectar incendios desde las alturas, usualmente denominados como Aviones de Reconocimiento. El piloto es acompañado por un observador, quien es el que realiza la detección. Permite observar una gran cantidad superficie por unidad de tiempo y entrega información precisa y exacta acerca del incendio que se sobrevuela. Sin embargo, su costo de operación es alto.

iv) Detección con sistemas televisivos

Cámaras de televisión transmiten su señal hasta las pantallas de un puesto de mando, ya sea un vehículo en terreno o CENCOR, donde personal analiza la situación detectada. Las cámaras se instalan sobre torres ubicadas en la cumbre de un cerro, barriendo el área en 360°, o en el exterior de aviones. En Chile sólo se utilizan en pequeño número las cámaras fijas.

v) Satélites

Esta metodología implica el uso de imágenes obtenidas a partir de órbita baja, como Aqua y Terra. Sin embargo, esta metodología es lenta, debido al intervalo que transcurre entre las pasadas del satélite. Además, no entrega el detalle que entregan los medios anteriores. A pesar de lo anterior, la teledetección satelital permite monitorear los cambios en la condición de la vegetación durante la temporada; medir con exactitud las superficies afectadas durante incendios de magnitud y realizar seguimiento a la recuperación de la vegetación posterior al evento.

2.2 Marco teórico

2.2.1 Teledetección

La teledetección es considerada como la técnica que permite obtener información a distancia de la superficie empleando sensores instalados en plataformas espaciales (Chuvienco E. , 1995). Para la obtención debe existir una interacción energética entre el objeto en superficie y el sensor (o también conocida como “carga útil” del satélite), ya sea por reflexión de la energía solar o de la energía emitida por el sensor, o por emisión propia del objeto. Cualquiera sea el caso, el flujo energético entre la cubierta terrestre y el sensor es una forma de radiación electromagnética.

2.2.1.1 Espectro electromagnético

Todos los cuerpos u objetos emiten radiación electromagnética, salvo aquellos que se encuentren con temperatura de “0 absoluto” (o 0 Kelvin). Adicionalmente, los objetos reflejan la radiación emitida por otros objetos. La función de la teledetección y de sus sensores, es interpretar la radiación electromagnética emitida por los cuerpos y su interacción con la superficie y la atmósfera.

La radiación electromagnética consiste en una forma de transmisión de energía, consistente en campos electromagnéticos, que se propagan mediante ondas, transportando cantidades discretas de energía (Meliá, 1991). Estos campos están conformados por un campo magnético que se orienta en la dirección de propagación de la onda y, por otro lado, un campo eléctrico que varía en términos de magnitud, y se orienta en una dirección perpendicular al campo magnético. Este tipo de ondas no necesita de un medio físico para propagarse, su velocidad en el vacío es equivalente a la velocidad de la luz ($c = 3 * 10^8 \text{ [m/s]}$) manteniéndose constante.

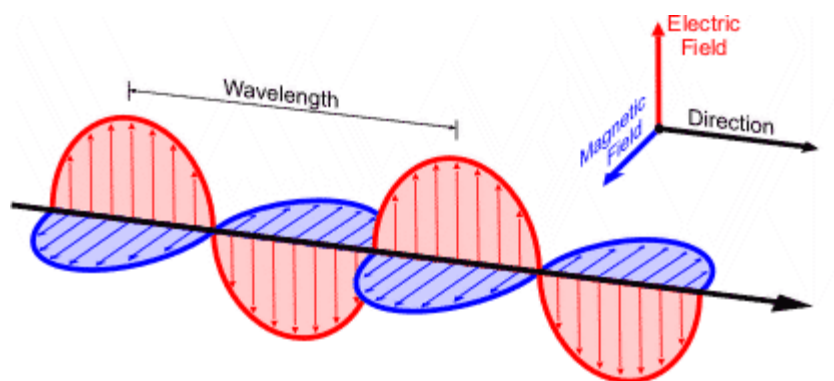


Figura 2.2 – Esquema de una Onda Electromagnética.
Fuente: Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica (NOAA, 2023).

Históricamente, las propiedades de la radiación se han explicado por dos teorías que aparentemente se oponen: aquella que la considera como un haz ondulatorio (Huygens, Maxwell), y aquella que la concibe como una sucesión de unidades discretas de energía, fotones o cuantos, con masa igual a cero (Planck, Einstein), en donde la partícula viaja a la velocidad de la luz. Ahora bien, ambos postulados se pueden relacionar, pues se ha demostrado que la luz presenta comportamientos que pueden explicarse de acuerdo con ambas teorías (Chuvienco E. , 1995). De la relación anterior, se puede plantear la relación donde se establece que la energía del fotón está en relación con su longitud de onda, la velocidad de la luz y la constante de Planck.

Como resultado de la radiación electromagnética, se construye el espectro electromagnético (ver Figura 2.2), el cual se divide en regiones que van desde longitudes de onda (λ) cortas, que incluyen los rayos X y gamma, a longitudes de onda larga, que incorporan las ondas de microondas y de radio.

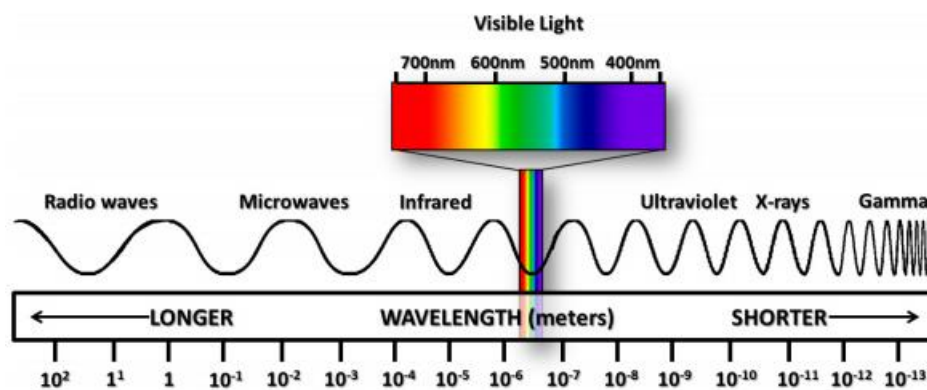


Figura 2.3 – Rangos de longitud de onda del Espectro Electromagnético.

Fuente: Climate Science Investigation (CSI) de la NASA (CSI, s.f.).

Todas las formas de energía electromagnética conocidas son agrupadas de acuerdo con su frecuencia, longitud de onda y energía, en el espectro electromagnético.

2.2.1.2 Sensores y satélites de teledetección

i. Tipos de sensores

Existen dos tipos de sensores: los pasivos y los activos. Los primeros corresponden a aquellos que funcionan por medio de la energía emitida por el sol hacia la superficie terrestre. Es decir, la carga útil capta el flujo de energía solar devuelta por los cuerpos al interactuar entre sí. Este proceso se conoce como reflexión, una de las formas más importantes en teledetección, dado que la mayoría de los satélites se basan en este principio. Los sensores activos difieren en que emiten su propia energía para captar la radiación devuelta por los objetos. Lo anterior se conoce como el proceso de reflexión-emisión (Chuvienco E. , 1995). Dentro de la clasificación de sensores activos se encuentran tres subgrupos, los cuales son: sensores fotográficos, óptico-electrónicos y de antena.

ii. Resolución de un sistema sensor

La resolución puede ser definida como “la capacidad o habilidad que un sistema sensor posee para registrar, discriminándola, información de detalle” (Estes & Simonett, 1975). En cuanto a los términos abordados en la definición es necesario realizar aclaraciones: “discriminar” es la diferencia entre determinar si un objeto se encuentra ahí (*detección*) o delimitar precisamente su contorno (*identificación*). Obviamente, la segunda acción requiere una resolución espacial mayor con “más detalle”. Respecto a la “información de detalle” de la imagen, es conveniente señalar que dicha información no sólo refiera al detalle espacial que proporciona el sensor, sino también al número y ancho de bandas del espectro electromagnético que alberga (Campbell & Wynne, 2011). A continuación, se realiza una breve descripción de los tipos de resoluciones más comunes.

A) Resolución Espacial

Esta resolución hace referencia a la habilidad de distinguir pequeños objetos adyacentes en una imagen. En otras palabras, a mejor resolución espacial, más fácil es detallar objetos en la imagen (Bakker, y otros, 2009). Su unidad de medida es en unidades de longitud, se mide en milímetros sobre la foto –o metros sobre el terreno-, y depende de la longitud focal de la cámara y de su altura sobre la superficie. La resolución espacial depende de múltiples factores, tales como la altura de la órbita del satélite, la velocidad de exploración y el número de

detectores (Chuvieco E. , 1995). También, existen factores más lógicos, como la calidad del sistema óptico, los efectos de la dispersión atmosférica (que conducen a la pérdida de contraste y resolución), los movimientos de la imagen (el movimiento entre la cámara y el suelo causa distorsión y pérdida de resolución), entre otros (Bakker, y otros, 2009).

La mayoría de las imágenes satelitales están compuestas por una matriz de elementos llamados píxeles, que corresponden a la unidad mínima de la imagen. Por ejemplo, si un sensor tiene una resolución espacial de 20 [m] y una imagen derivada del sensor se expone a máxima resolución, cada píxel representa a un área de 20 x 20 [m] del terreno. En el caso anterior, el tamaño del píxel y la resolución espacial son el mismo valor. No obstante, es posible exponer una imagen con un tamaño de píxel distinto a la resolución espacial. Una imagen satelital puede ser representada y visualizar en formato digital al subdividirla en píxeles de igual tamaño y forma, y su brillo es representado mediante un valor numérico llamado “número digital” (Levin, 1999).

B) Resolución Espectral

Este tipo de resolución se refiere al número y anchura de las bandas espectrales que puede discriminar el sensor. En este ámbito, un sensor es más idóneo cuanto mayor número de bandas proporcione, ya que facilita la caracterización espectral de las distintas cubiertas. Y, por consiguiente, a mayor resolución espectral más información detallada del espectro, donde se puede reconocer mejor los rasgos de absorción específicos, o analizar en mayor detalle la reflectividad y transmisividad de los objetos. Entre los sensores espaciales, los que utilizan la menor resolución espectral son el radar y los sistemas fotográficos. El radar trabaja con un solo canal mientras la fotografía puede ofrecer imágenes pancromáticas, infrarrojas, color natural o infrarrojo a color. Mientras que, los sensores óptico-electrónicos ofrecen un mayor rango de bandas, que van desde las 3 de los primeros SPOT-HRV (verde, rojo e infrarrojo cercano) hasta las 220 ofrecidas por el Hyperion (Beck, 2003).

Los sensores se pueden clasificar en tres tipos según su resolución espectral: sensores pancromáticos, multiespectrales o híperespectrales. El primero usualmente se encuentra en longitudes de onda entre los 400

y los 850 nm (1 nanómetro = 10^{-9} m) y no discrimina bandas (sólo entrega imágenes en blanco y negro). Los multispectrales consideran regiones del espectro en donde se capturan los datos (la mayoría de los satélites de observación terrestre son de este tipo). En tanto, el canal hiperespectral tiene bandas con separaciones más acotadas, lo cual facilita realizar análisis más detallados (CCRM, s.f.).

C) Resolución Radiométrica

Esta resolución indica la sensibilidad del sensor respecto a su habilidad para detectar cambios en la radiancia espectral percibida (Chuvieco, 2010). Para los equipos digitales, la imagen se codifica en un formato binario, por lo que la resolución radiométrica se distingue con el rango de valores que almacena el sensor, medido como el número de bits que necesita cada valor numérico para almacenarse. Por ejemplo, el satélite Landsat 8 ofrece imágenes en 16 bits (USGS, s.f.), es decir que el sensor es capaz de captar dentro del rango de 65.536 niveles de grises ($16 \text{ bits} \rightarrow 2^{16} = 65.536$) por píxel.

D) Resolución Temporal

Se refiere a la periodicidad de cobertura que proporciona el sensor, en otras palabras, la frecuencia con la que se adquieren imágenes de un mismo sector de la superficie. Factores como la altura, velocidad, inclinación, diseño del sensor, ángulo total de abertura (tamaño de la imagen) y condiciones atmosféricas (la nubosidad imposibilita obtener información espectral de la imagen) condicionan esta resolución. Los últimos factores se han vuelto más insignificantes, ya que los sensores actuales incorporan la capacidad de observación no vertical (llamados sensores enfocables), facilitando la adquisición de datos (Chuvieco, 2010). Para ilustrar, el satélite Meteosat-9 entrega una nueva imagen cada 15 minutos, aunque una alta resolución temporal generalmente conlleva una baja resolución espacial (Bakker, y otros, 2009).

E) Resolución Angular

La resolución angular corresponde a la habilidad de un sensor para observar la misma zona desde distintos ángulos (Diner, y otros, 1999). Su finalidad es observar, desde distintas posiciones, un área determinada, puesto que algunas superficies presentan efectos de reflectividad bidireccional, para evitarlo es necesario que el sensor cambie su dirección.

Actualmente, existen sensores con la capacidad de proporcionar una observación multiangular. Por ejemplo, los satélites NOAA–AVHRR (NOAA: National Oceanic and Atmospheric Administration; AVHRR: Advanced Very High Resolution Radiometer) observan la superficie con distintos ángulos según la posición de la órbita del satélite (Chuvieco, 2010). Sin embargo, esta última solución no es la más idónea debido a la posibilidad que ocurran cambios entre pasadas del satélite. Por lo anterior, se han diseñado sensores con la capacidad de observación simultánea en varios ángulos (Chuvieco, 2010).

2.2.1.2.1 Tipos de satélites y sensores

En la actualidad hay más de 6.700 satélites en órbita (UCSUSA, 2023), entre ellos se encuentran satélites de observación terrestre, de navegación, científicos, militares, etc., que orbitan a distintas alturas. Estas órbitas se clasifican en tres categorías (Aguirre, 2012): las órbitas bajas (LEO – Low Earth Orbit), medias (MEO – Mid-Altitude Earth Orbit) y geoestacionarias (GEO – Geosynchronous and Geostationary Orbits). En la LEO, se localizan los satélites de observación terrestre, cuya altura típica varía entre los 500 y 900 km (Aguirre, 2012). Mientras que las MEO entre los 2000 a 36000 km y GEO superior a 36000 km, esta última se ubica únicamente en la línea del Ecuador y los satélites se mueven a la misma velocidad que la Tierra por lo que dan la impresión de estar fijos en el cielo.

2.2.2 Datos Geoespaciales

Los datos geoespaciales o geodatos son valores espaciotemporales que tienen asociados una referencia geográfica de tal modo que se puede localizar exactamente dentro de un mapa (de la Fuente, 2020). Los datos aportan información al cuantificar la distribución, estado y hechos vinculados con objetos que tienen una extensión en el espacio. Se caracterizan por tener (López & Torres, s.f.):

- Posición absoluta: respecto a un sistema de coordenadas (x, y, z).
- Posición relativa: sobre otros elementos del entorno (topología incluido, adyacente, cruzado, se encuentra al oeste, norte, etc.).
- Figura geométrica que lo representa: punto, línea, polígono.
- Atributos que lo describen: características del elemento o fenómeno.

2.2.2.1 Sistema de Referencia de Coordenadas (SRC)

La representación visual de la información geográfica se puede hacer en una esfera, pero generalmente se hace en una superficie plana. Este proceso de asignar un punto de la superficie de la Tierra sobre una superficie plana o mapa se conoce como “Proyección cartográfica”.

Para aplicar una proyección cartográfica es necesario un Sistema de Referencia de Coordenadas (SRC), definido como “el conjunto de reglas matemáticas que especifican cómo las coordenadas deben ser asignadas a los puntos” (Tarrío, Aravena, & Silva, 2017). El sistema relaciona los puntos georreferenciados a un sistema de coordenadas en la Tierra, con los de un mapa referenciado a otro sistema de coordenadas en el plano (de la Fuente, 2020). Esto se complica dada la forma irregular del planeta, no es una esfera perfecta, sino que un geoide, y es necesario asemejarla a figuras geométricas como elipsoides, esferas achatadas en los polos y ensanchadas en el Ecuador.

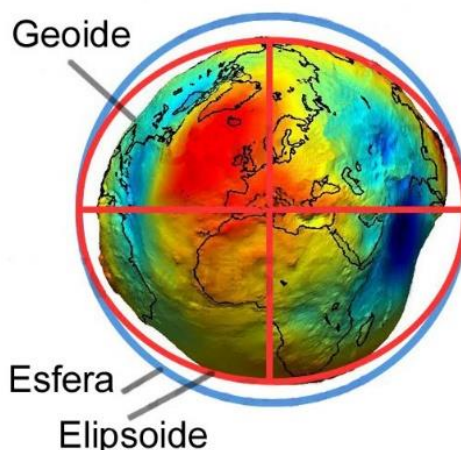


Figura 2.4 – Comparación gráfica entre la forma irregular de la Tierra y figuras geométricas regulares.

Fuente: albireotopografia.es

A pesar de lo anterior, los sistemas de coordenadas son la base del cálculo para describir la posición de un punto a partir de mediciones geodésicas: distancias, proporciones de distancias (sin escalas) y ángulos, en unidades de medida del Sistema Internacional de Unidades o S.I. (Tarrío, Aravena, & Silva, 2017). Los tipos de sistemas de coordenadas existentes son:

1. Coordenadas cartesianas tridimensionales globales, o también denominadas como coordenadas ECEF (Earth Centered, Earth Fixed): se representan por $[X, Y, Z]$.

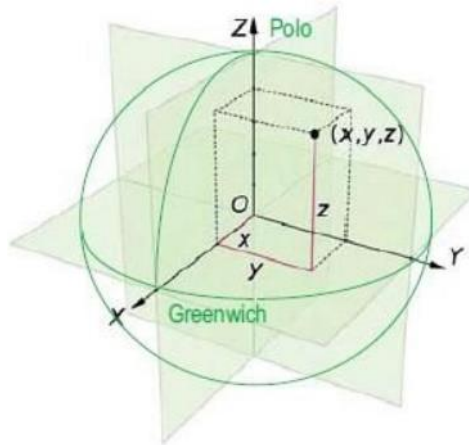


Figura 2.5 – Coordenadas Cartesianas Tridimensionales Globales (ECEF).
Fuente: (Drewes & Sánchez, 2011).

2. Coordenadas elipsoidales o geodésicas: representación de las coordenadas ECEF sobre la superficie de un elipsoide, se representan por $[\varphi, \lambda, h]$ siendo respectivamente, la latitud, longitud y altura elipsoidal.

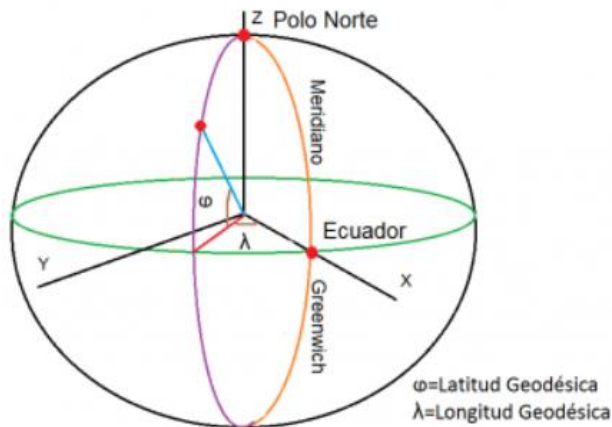


Figura 2.6 – Coordenadas Geodésicas.
Fuente: (Para Topografía, s.f.).

3. Coordenadas proyectadas o cartográficas: según la proyección usada, las coordenadas elipsoidales o esféricas pueden representarse en un plano. Inicialmente se usan tres proyecciones: sobre un cono, cilindro o plano (también conocido como azimutal). La orientación que tengan las superficies puede ser: normal (eje de la superficie paralelo al eje de rotación del planeta), transversal (eje paralelo al ecuador) u oblicuo (eje en cualquier dirección). Su representación es $[E, N, h]$.

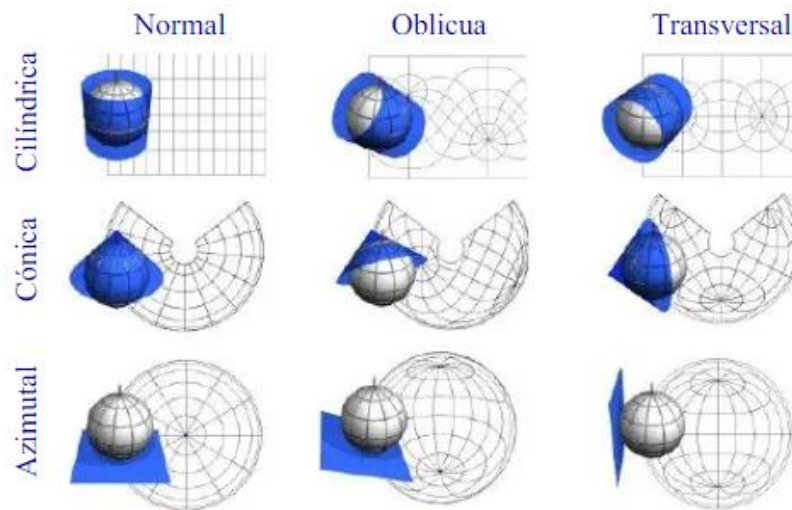


Figura 2.7 – Tipos de proyecciones con las diferentes orientaciones posibles.

Fuente: (Drewes & Sánchez, 2011).

Adicionalmente, es importante señalar que toda proyección implica una distorsión, sin embargo, es posible conservar algunas propiedades métricas. En función de ellas, las proyecciones se pueden clasificar en:

- Equivalente: conserva las áreas (utilizada para la representación de parcelarios).
- Conforme: conserva los ángulos y la forma de los objetos (utilizada para la navegación).
- Equidistante: conserva las distancias.

Para Chile se emplea la proyección Universal Transversal de Mercator (UTM), con husos 19S y 18S en la parte continental. La proyección es del tipo cilíndrica con orientación transversal que conserva los ángulos que se miden sobre la Tierra y se eliminan casi totalidad de las deformaciones terrestres. Algunas de las cualidades del sistema UTM son (Tarrío, Aravena, & Silva, 2017):

- Se aplica a la Tierra, en donde el planeta se divide en 60 zonas o husos de 6° de ancho en longitud cada uno.
- Los husos poseen un huso central o meridiano 0, siendo su ancho de 3° al oeste y 3° al este del meridiano central.
- Para reducir la distorsión en los límites de los husos, se emplea un factor de escala 0,9996, en el meridiano central, así que las líneas a $1^\circ 37'$ al este y oeste presentarán escala verdadera.
- De sur a norte, se emplean letras (C a la X sin I ni O) en la designación de las zonas de 8° , comenzando por C en 80°S .

UTM Zone Designators

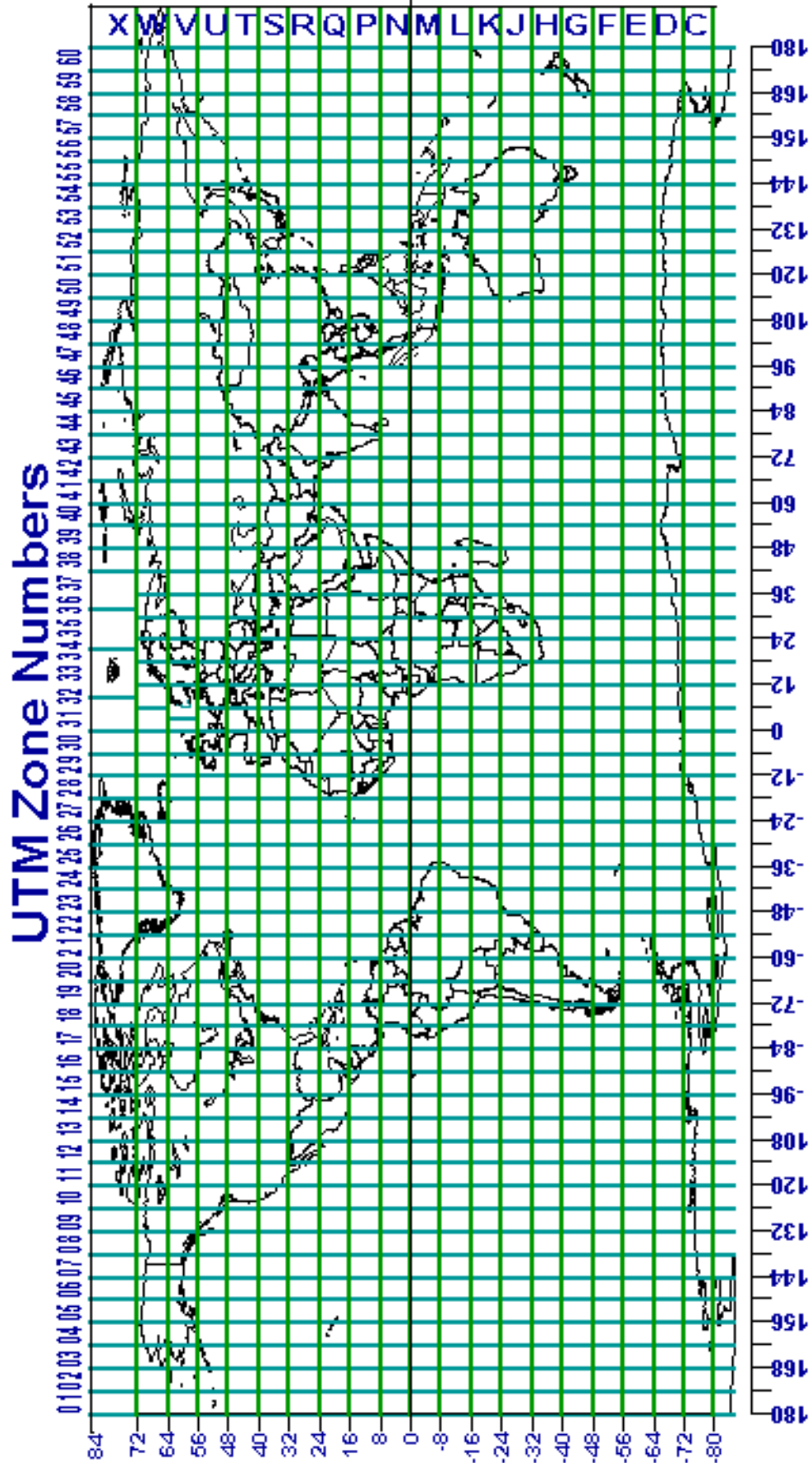


Figura 2.8 – Sistema Universal Transversal de Mercator (UTM).

Fuente: (Dana, 1994).

4. Coordenadas locales: este tipo de coordenadas se ocupa generando un plano tangente en un punto sobre la Tierra. Su aplicación es limitada debido a que a medida que se aleja del punto de tangencia, la curvatura terrestre se hace presente. Se representan por $[e, n, u]$ (Hofmann-Wellenhof, Lichtenegger, & Wasle, 2008).

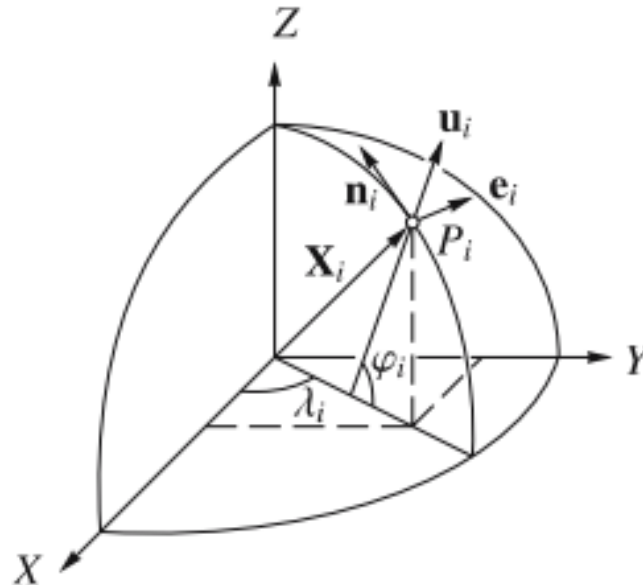


Figura 2.9 – Coordenadas locales.

Fuente: (Hofmann-Wellenhof, Lichtenegger, & Wasle, 2008).

2.2.2.2 Formato de Datos Espaciales

Producto de la naturaleza de la información geoespacial, se hace necesario el uso de herramientas de apoyo para su tratamiento de datos espaciales, como los Sistemas de Información Geográfica (SIG) que disponen de aplicaciones para su procesamiento.

SIG se refiere a un sistema informático que captura, almacena, verifica y muestra datos relacionados con su posición en la superficie de la Tierra. Un beneficio importante es la capacidad de integrar múltiples tipos de datos provenientes de diferentes fuentes de información.

Al captar la información, esta se puede visualizar mediante modelos de representación que registran los elementos que se observan en la superficie terrestre (ICDE, 2021). Estos modelos de representación, comúnmente llamados modelos de datos se pueden mapear a partir de dos alternativas principales:

a) Modelo Vectorial

Los elementos se representan mediante tres geometrías: punto, línea, polígono, además de registrar las coordenadas de sus vértices. Este modelo permite tener límites precisos, facilitando las relaciones entre los elementos, permitiendo que los archivos sean óptimos para su manejo y/o análisis posterior.

b) Modelo Ráster

Una zona de la superficie se divide en filas y columnas, formando una serie o conjunto de píxeles. Cada píxel recoge información de la superficie y lo traduce en un único valor, además de almacenar las coordenadas de su ubicación. Este modelo de representación permite almacenar variables que varían constantemente como elevación y temperatura.

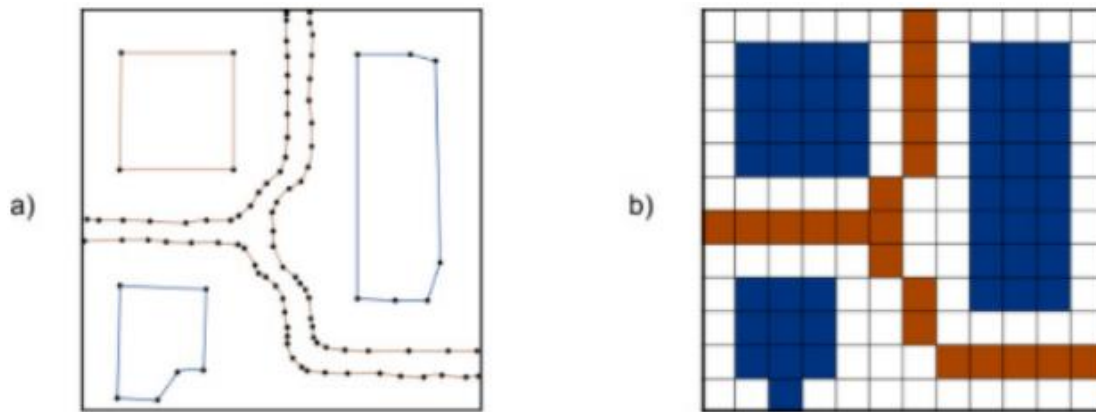


Figura 2.10 – Modelos de Representación de Datos Vectorial (a) y Ráster (b).

Fuente: (ICDE, 2021).

2.2.3 Herramientas online que detectan focos de incendio

2.2.3.1 Sistema de Información sobre Incendios para la Gestión de Recursos (FIRMS)

El Sistema de Información sobre Incendios para la Gestión de Recursos (FIRMS) distribuye datos de incendios activos en tiempo casi real (NRT) del sensor Espectroradiómetro de Imágenes de Resolución Moderada (MODIS) a bordo de los satélites Aqua y Terra, y el conjunto de sensores Radiómetros de Imágenes Infrarrojas Visibles (VIIRS) a bordo de S-NPP y NOAA 20 (formalmente conocido como JPSS-1). A nivel mundial, estos datos están disponibles dentro de las 3 horas posteriores a la observación por satélite, pero para Estados Unidos y Canadá, las detecciones están disponibles en tiempo real (FIRMS, s.f.).

FIRMS fue desarrollado en 2007 por la Universidad de Maryland, con fondos del Programa de Ciencias Aplicadas de la NASA y la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) (Earthdata, 2021).

El enfoque y objetivos de FIRMS son (FIRMS, s.f.):

- Proporcionar recursos de calidad para información solicitado sobre incendios.
- Trabajar con los usuarios finales para mejorar aplicaciones críticas.
- Ayudar a organizaciones mundiales en los esfuerzos de análisis de incendios.
- Ofrecer una presentación y una gestión de datos eficaces.

Los datos de incendios/puntos calientes activos se pueden ver en el Fire Map de FIRMS o en Worldview con colores rojos y anaranjados. Además de poder recibir alertas por correo electrónico o descargarse en los siguientes formatos: SHP, KML, TXT, WMS; para los tres primeros formatos existe información disponible durante las últimas 24, 48 horas y 7 días. En caso de requerir data para una región y/o intervalos de tiempo específicos, se puede emitir la solicitud para recibirla por email.



Figura 2.11 – Puntos calientes detectados en las últimas 24 horas al mediodía del 09 de febrero de 2024 para la Región Metropolitana.

Fuente: Elaboración propia usando el Fire Map de FIRMS.

2.2.3.1.1 Espectrorradiómetro de Imágenes de Resolución Moderada (MODIS)

El Espectrorradiómetro de Imágenes de Resolución Moderada (MODIS) es un sensor a bordo de satélites que se utiliza para medir la tierra y el clima. Hay dos sensores MODIS en órbita: uno a bordo de los satélites Terra y Aqua. La órbita de Terra está cronometrada de modo que pasa de norte a sur sobre el ecuador por la mañana, mientras que Aqua pasa en sentido sur a norte atravesando el ecuador por la tarde. El sensor está diseñado para proporcionar mediciones en la dinámica global a gran escala, incluyendo cambios en la cubierta de nubes de la Tierra, el balance de radiación y los procesos que ocurren en los océanos, en la tierra y en la atmósfera inferior (MODIS, s.f.).

MODIS proporciona una alta resolución radiométrica (12 bits) capturan datos en 36 bandas espectrales que varían en longitud de onda de 0,405 μm a 14,385 μm y en tres resoluciones espaciales (2 bandas a 250 m, 5 bandas a 500 m y 29 bandas a 1 km). Juntos, los instrumentos toman imágenes del planeta cada 1 o 2 días. Un patrón de escaneo de ± 55 grados en la órbita LEO de 705 km logra una franja de 2330 km y brinda cobertura global cada uno o dos días.

El ensamblaje del espejo de escaneo utiliza un espejo de escaneo de doble cara que

gira continuamente para escanear ± 55 grados y es impulsado por un codificador de motor construido para operar al 100 por ciento del ciclo de trabajo durante los 6 años de vida útil del sensor. El sistema óptico consta de un telescopio afocal fuera del eje de dos espejos, que dirige la energía a cuatro conjuntos de objetivos refractivos; uno para cada una de las regiones espectrales VIS, NIR, SWIR/MWIR y LWIR para cubrir su rango espectral.

El sensor entrega dos productos contra incendios de nivel 2 (es decir, los productos cuentan con correcciones radiométrica, geométrica y cartográfica) llamados MOD14 (para el satélite Terra) y MYD14 (Aqua). Estos son los productos contra incendios más básicos en el que se identifican incendios activos y otras anomalías térmicas, como volcanes. El producto de Nivel 2 se define en la geometría de la órbita MODIS que cubre un área de aproximadamente 2340×2030 km en las direcciones de exploración a lo largo y a lo largo de la trayectoria, respectivamente. Se utiliza para generar todos los productos de fuego de alto nivel y contiene los siguientes componentes (Giglio, 2013):

- Una firemask: componente principal del producto contra incendios MODIS y se almacena como un conjunto de datos científicos (SDS) de 8 bits denominado "firemask" que marca incendios y otros píxeles relevantes. En él, a los píxeles individuales de 1 km se les asigna una de nueve clases:

Tabla 2.1 – Clases de los píxeles del "firemask" de los MOD14/MYD14.

CLASE	SIGNIFICADO
0	No procesado (falta ingresar valor)
2	No procesado (otra razón)
3	Agua
4	Nubes
5	Terreno libre de fuego
6	Desconocido
7	Fuego de baja confianza
8	Fuego de media confianza
9	Fuego de alta confianza

Fuente: (Giglio, 2013).

La Figura 2.12 muestra un ejemplo de "firemask" para un gránulo (segmento no proyectado que contiene aproximadamente 5 minutos de información) del satélite Terra. En esta imagen, el agua se muestra en azul, las nubes en violeta, los píxeles libres de fuego en gris y los píxeles de fuego en blanco.

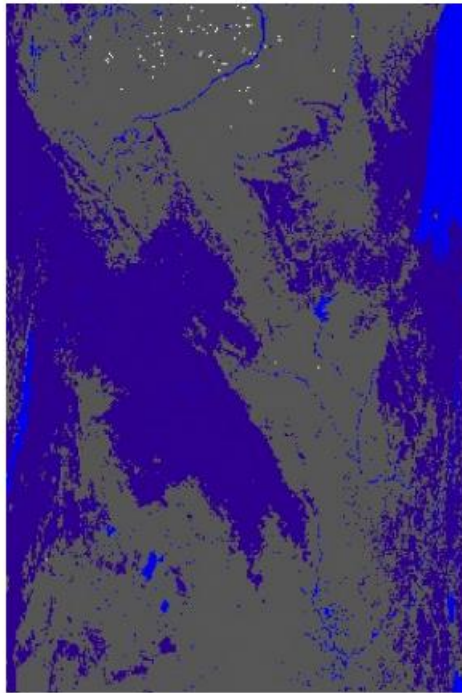


Figura 2.12 – Ejemplo de un gránulo de MOD14 tomado el 19 de agosto de 2002 a las 03:00 horas con el satélite Terra.

Fuente: (Giglio, 2013).

Adicionalmente, se incorpora una confianza de detección destinada a ayudar a los usuarios a medir la calidad de los píxeles de incendio. Esta estimación de confianza oscila entre 0% y 100%, se utiliza para asignar una de las tres clases de fuego (baja, media o alta confianza) a todos los píxeles de fuego. Los usuarios que requieren menos errores de detección (o falsas alarmas) pueden desear destacar solamente a los píxeles de fuego de media y alta confianza, y tratar los píxeles de fuego de baja confianza como píxeles de tierra libres de fuego.

- una imagen de garantía de calidad (QA) a nivel de píxel, que incluye 19 bits de información de QA sobre cada píxel. El control de calidad a nivel de píxel se almacena en un SDS de 32 bits denominado "algoritmo QA", con campos individuales almacenados en bits específicos. El significado exacto de estos campos se define en la especificación del archivo.
- una tabla de píxeles de fuego, que consiste en una colección de 19 SDS independientes que contienen información radiométrica y de algoritmos internos sobre los píxeles de fuego detectados dentro de un gránulo.
- extensos metadatos obligatorios y específicos del producto: Los metadatos son archivos de textos que indican la cantidad de píxeles de un parámetro, para el producto de nivel 2 incorporan píxeles de nubes, agua, sin fuego, fuego, desconocidos y otros que ocurren dentro de un gránulo;

2.2.3.1.2 Conjunto de Radiómetros de Imágenes Infrarrojas Visibles (VIIRS)

El Conjunto de Radiómetros de Imágenes Infrarrojas Visibles (VIIRS) observa y recopila observaciones satelitales del planeta abarcando longitudes de onda visibles e infrarrojas. VIIRS cuenta con 22 bandas que van desde de 412 nm a 12 μ m en dos resoluciones espaciales, 375 m y 750 m, que se pueden reproyectar a 500 m, 1 km y 0,05 grados en los productos compatibles con MODIS (LP DAAAC, s.f.). Cinco de estas bandas son de imagen de alta resolución (bandas I), y dieciséis sirven como bandas de resolución moderada (bandas M). VIIRS también alberga una banda pancromática única de día/noche (DNB), que es ultrasensible en condiciones de poca luz y facilita la observación de luces nocturnas (LAADS DAAC, s.f.).

VIIRS está a bordo de dos satélites: Suomi National Polar-orbiting Partnership (Suomi NPP) y NOAA-20. Suomi NPP contiene cinco instrumentos, incluyendo el VIIRS. Es el primero de una serie de cuatro satélites del Sistema de Satélites Polares Conjuntos (JPSS), una misión colaborativa entre la NOAA y la NASA. El segundo satélite, NOAA-20 es la primera nave espacial de la próxima generación de satélites en la órbita polar de NOAA, contiene instrumentos similares a Suomi NPP como VIIRS. NOAA-20 gira alrededor de la tierra en la misma órbita que Suomi NPP, con una separación de 50 minutos. VIIRS observa la superficie de la Tierra dos veces al día cruzando el ecuador aproximadamente 14 veces al día por satélite, Suomi NPP cruza el ecuador alrededor de la 1:30 am y la 1:30 pm y mientras que NOAA-20 a las 2:20 am y las 2:20 pm, hora local, lo que proporciona una cobertura adicional sobre las áreas previamente capturadas por Suomi NPP.

El sensor VIIRS se diseñó para ampliar y mejorar la serie de mediciones iniciadas por sus predecesores, el Radiómetro Avanzado de Muy Alta Resolución (AVHRR), el Espectroradiómetro de Imágenes de Resolución Moderada (MODIS) y el Sensor de Campo de Visión Amplio con Vistas al Mar (SeaWIFS). Los productos de datos derivados de VIIRS se utilizan para medir las propiedades de las nubes y los aerosoles, el color del océano, la temperatura de la superficie terrestre y del océano, el movimiento y la temperatura del hielo, los incendios y el albedo de la Tierra.

Los productos de datos de VIIRS son desarrollados por la NASA y distribuidos a través del Centro de Archivo Activo Distribuido de Procesos Terrestres (LP DAAC) de la NASA.

Los productos de datos de incendios activos VIIRS se diseñaron después de los productos MOD14/MYD14 MODIS para dar continuidad de datos entre los dos

programas satelitales y los registros de datos ambientales correspondientes. El procesamiento de datos se divide principalmente entre los siguientes niveles (Schroeder & Giglio, 2018):

- Nivel 2: proyección de datos sin remuestreo de datos o se aplican otras correcciones.
- Nivel 3: remuestreo espacial realizado empleando algún tipo de proyección y tamaño de píxel fijo junto con alguna integración temporal.

Actualmente, solo están disponibles los conjuntos de datos de incendios activos de Nivel 2 VNP14, VNP14IMG y Nivel 3 VNP14A1.

Un gránulo de Nivel 2 de aproximadamente 6 minutos abarca múltiples escaneos (N), con cada uno contiene un número fijo de filas, con una fila para cada detector. Los canales VIIRS de 375 m y 750 m tienen 32 y 16 detectores por escaneo, respectivamente. Las filas individuales contienen un total de 6400 y 3200 muestras (eje X) en los datos de 375 m y 750 m. En consecuencia, los gránulos de productos de fuego cubren un total de $6400 * N * 32$ y $3200 * N * 16$ elementos, respectivamente, abarcando una franja de terreno de aproximadamente 3060 km de ancho.

En el archivo de nivel 2 se incluyen atributos que proporcionan información sobre cada gránulo individual. Esos atributos describen estadísticas que detallan la cantidad de píxeles de fuego, tierra y agua, tiempos de inicio/finalización del gránulo y las coordenadas geográficas, entre otros.

El producto incorpora clases SDS de "firemask" de 8 bits VNP14IMG y VNP14 similares a sus contrapartes de MOD14/MYD14. La clase 0 se identifica a los píxeles que no se pudieron procesar debido a información faltante o de mala calidad. La clase 1 se usa para marcar los píxeles 'bowtie' o elementos de datos redundantes que se eliminan antes de retransmitir a la Tierra.

La clase 2 se utiliza para marcar áreas afectadas por el destello solar donde se procesan los píxeles, aunque el rendimiento del algoritmo a bordo normalmente se reduce. Los píxeles de nubes, agua y tierra (clases 3-5) se clasifican mediante pruebas internas. Los píxeles no clasificados (clase 6) coinciden con aquellos casos cuyo análisis no fue factible debido a información insuficiente.

Los píxeles de fuego diurno de baja confianza (clase 7) generalmente se asocian con áreas de destello solar o píxeles de agua, y anomalías de temperatura relativa inferior ($<15K$) en el canal infrarrojo medio I4. Los píxeles de confianza media (clase 8) son aquellos píxeles libres de posible contaminación por destellos solares durante el día y marcados por una fuerte anomalía de temperatura ($>15K$) en las muestras diurnas o nocturnas. Finalmente, los píxeles de fuego de alta confianza (clase 9) se asocian con

píxeles saturados diurnos o nocturnos y que superan en gran medida la temperatura de saturación que hace que el valor del número digital (DN) se duplique.

Tabla 2.2 – Clases de los SDS del “firemask” del VNP14IMG.

CLASE	SIGNIFICADO
0	No procesado
1	“Bowtie”
2	Destello solar
3	Agua
4	Nubes
5	Terreno
6	Sin clasificar
7	Fuego de baja confianza
8	Fuego de media confianza
9	Fuego de alta confianza

Fuente: (Schroeder & Giglio, 2018).

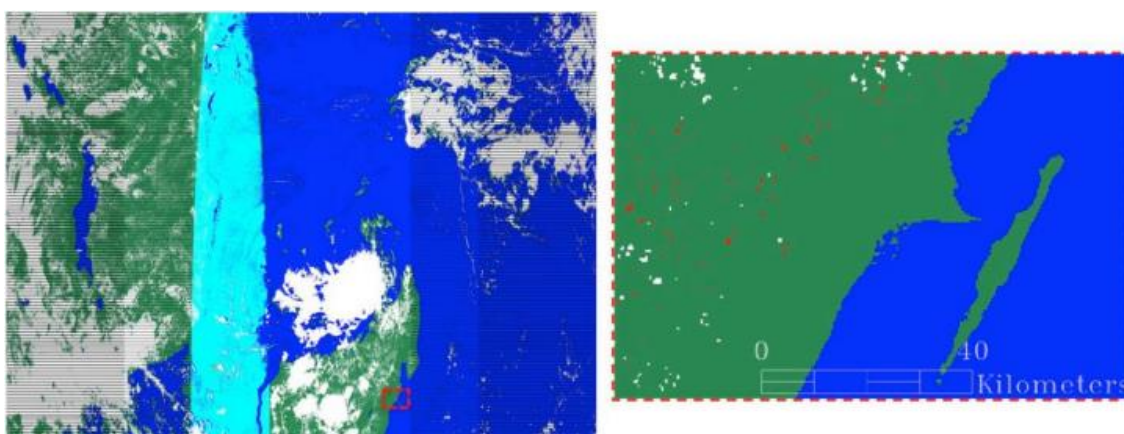


Figura 2.13 – Ejemplo de un “firemask” de VIIRS tomada el 22 de noviembre de 2015.

Fuente: (Schroeder & Giglio, 2018).

Adicionalmente, el producto incluye SDS del 'algoritmo QA' que almacena en un formato de 32 bits varios campos que juntos pueden usarse para reconstruir algunas de las condiciones de observación de cada píxel y analiza los resultados de cada píxel del gránulo. Además de las capas de datos 'firemask' y 'algoritmo QA' anteriores, existen SDS que proporcionan parámetros para cada píxel de fuego detectado en el gránulo.

El producto contra incendios de nivel 3 diario VNP14A1 se basa en mosaicos, y cada archivo de producto abarca un único mosaico de $1200 * 1200 \text{ km}^3$. El producto es un compuesto cuadrículado de 1 km de píxeles de fuego VNP14 de 750 m detectados en cada celda de la cuadrícula durante períodos de 24 horas; la cuadrícula de 1 km se adoptó por compatibilidad con los registros de datos de MODIS: MOD14A1 y MYD14A1 de 1 km

existentes.

2.2.3.2 Sistema Mundial de Información sobre Incendios Forestales (GWIS)

El Sistema Mundial de Información sobre Incendios Forestales (GWIS) es una iniciativa conjunta del Grupo de Observación de la Tierra (GEO) y los Programas de Trabajo de Copernicus. GWIS tiene como fin proporcionar una plataforma continua de información sobre incendios forestales que podría usarse a diferentes escalas, desde nacional hasta global.

GWIS se basa en las actividades del Sistema Europeo de Información sobre Incendios Forestales (EFFIS), la Observación Global de la Cubierta Forestal, la Observación Global de la Dinámica de la Tierra (GOFC GOLD), el Equipo de Implementación de Incendios y las Redes Regionales asociadas, que complementan las actividades existentes que se realizan alrededor del mundo respecto a la recopilación de información sobre incendios forestales (GEO, 2019). El desarrollo de GWIS cuenta con el apoyo de organizaciones asociadas y agencias espaciales.

Actualmente, GWIS se compone de cinco aplicaciones (GWIS, s.f.):

1. Visor de Situación Actual proporcionando información casi en tiempo real sobre:
 - Pronóstico de peligro de incendio con hasta 10 días de anticipación usando como base el Índice Canadiense de Clima de Incendios (FWI).
 - Ocurrencia de rayos.
 - Detecciones de incendios de los sensores MODIS y VIIRS de la NASA.
 - Perímetros de áreas quemadas en tiempo casi real derivados de MODIS y VIIRS.
 - Emisiones de incendios del servicio CAM de Copernicus.
 - Mapa de material combustible en terreno.

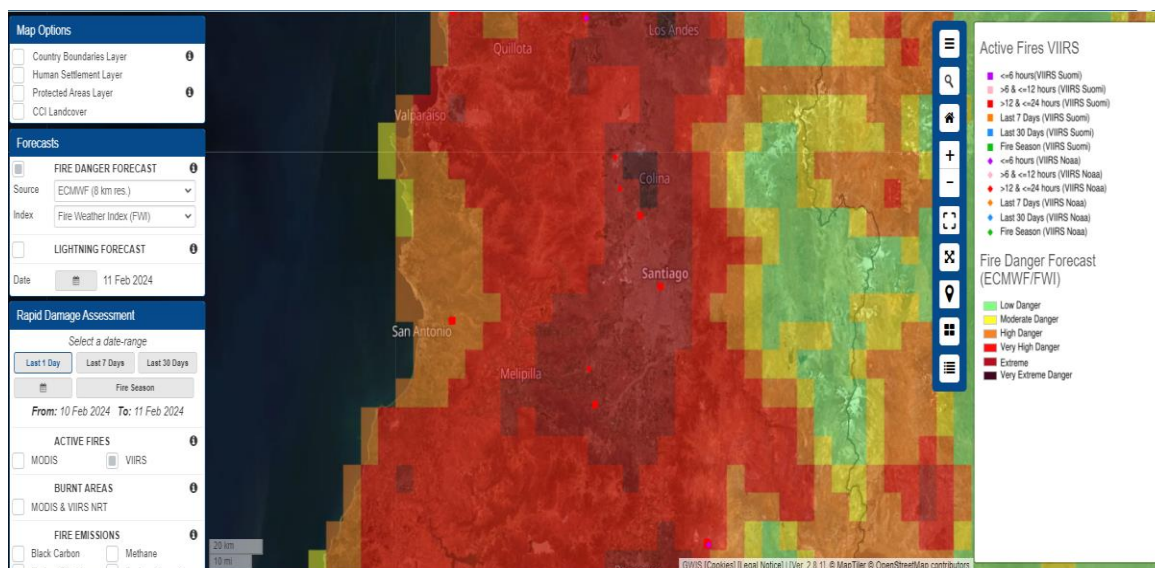


Figura 2.14 – Visor de la situación actual de GWIS indicando los Incendios Activos y el Pronóstico de Peligro de Incendio en la Región Metropolitana para el período del 10 al 11 de febrero de 2024.

Fuente: GWIS.

2. Portal de Estadísticas Actuales: Se proporcionan estadísticas a nivel nacional y para regiones de interés. El portal brinda información sobre la evolución de la actual temporada de incendios, en comparación a la media de los últimos 10 años, de:

- Estadísticas actuales de áreas quemadas y número de incendios.
- Evolución estacional acumulada de áreas quemadas y número de incendios.
- Número de anomalías térmicas detectadas por el sensor VIIRS y MODIS.

3. Perfil de País: Esta función proporciona una descripción histórica descargable de los incendios a nivel de país y regiones para el período 2002-2019. Incluye mapas de áreas quemadas anuales/mensuales, frecuencia de áreas quemadas y estacionalidad de áreas quemadas. Además, proporciona gráficos de períodos anuales de:

- Número de incendios.
- Áreas quemadas.
- Regímenes de incendios (estacionalidad).
- Distribución mensual del tamaño de los incendios por año.
- Daños en la cobertura terrestre.
- Emisiones de incendios forestales anuales/mensuales.

4. Pronóstico Meteorológico de Incendios a Largo Plazo: Pronóstico mensual y estacional de las anomalías de temperatura y lluvia que se espera prevalezcan

en el mundo.

5. Servicios de Datos: Esta aplicación proporciona acceso a los datos utilizados en las aplicaciones GWIS. Los datos del Visor de Situación Actual se proporcionan en forma de Servicios de Mapas Web (WMS).

2.2.3.3 Worldview

La herramienta Worldview del Sistema de Información y Datos del Sistema de Observación de la Tierra (EOSDIS) de la NASA brinda la capacidad de observar interactivamente más de mil capas de imágenes satelitales y descargar sus datos. Muchas de las capas de imágenes se actualizan diariamente y están disponibles dentro de las tres horas posteriores a la observación, lo que ayuda en situaciones donde el tiempo es crítico, como la gestión de incendios forestales y el control de inundaciones. Adicionalmente, permite animar las imágenes en lapsus de tiempo. Las capas de imágenes geoestacionarias también están disponibles en tiempo real (Earthdata, 2022).

También está disponible la herramienta Worldview Snapshots para crear instantáneas a partir de la selección de capas de imágenes satelitales de la NASA, en el caso de incendios forestales, utiliza imágenes de MODIS y VIIRS (NASA, 2019). Los usuarios pueden tener una vista previa y descargar imágenes en diferentes combinaciones de bandas y superposición de capas de incendios detectados, límites costeros, fronteras y carreteras.

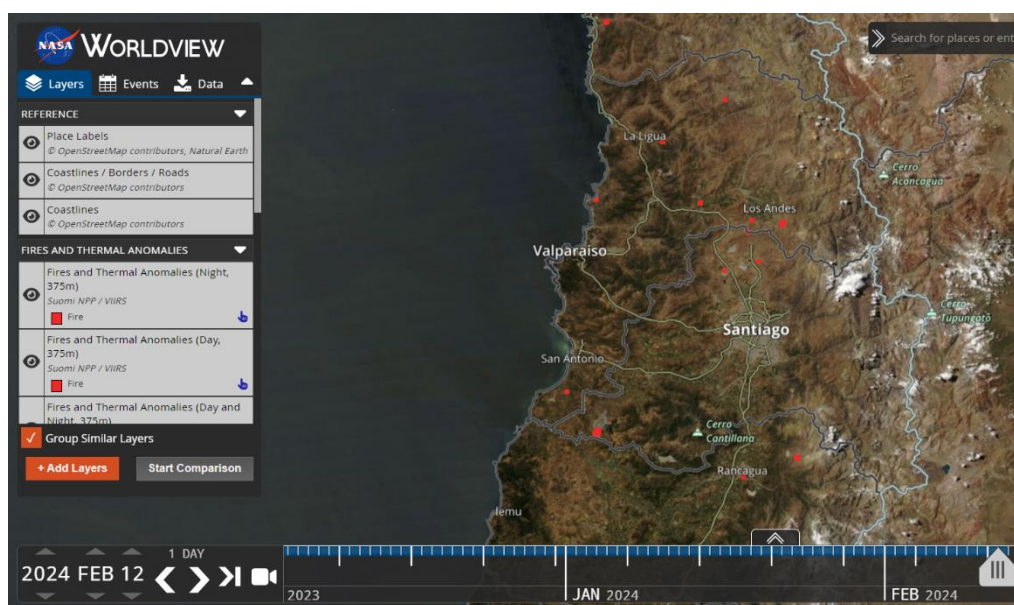


Figura 2.15 – Imagen de Worldview indicando los Incendios y Anomalías Térmicas detectadas por los sensores MODIS y VIIRS en las regiones de Valparaíso y Metropolitana el 12 de febrero de 2024.
Fuente: Worldview.

2.2.3.4 Rama de Meteorología Regional y de Mesoescala (RAMMB)

La Rama de Meteorología Regional y de Mesoescala (RAMMB) de NOAA/NESDIS realiza investigaciones sobre el uso de datos satelitales para mejorar el análisis, los pronósticos y las advertencias de eventos meteorológicos regionales y a mesoescala. RAMMB comparte ubicación con el Instituto Cooperativo para la Investigación de la Atmósfera (CIRA) en la Universidad Estatal de Colorado en Fort Collins, CO (RAMMB, 2023). Los objetivos de los proyectos de investigación que realiza RAMMB son (NOAA, s.f.):

- Análisis y pronóstico de huracanes y ciclones tropicales.
- Pronóstico/pronóstico inmediato de tiempo severo.
- Investigación del clima invernal para comprender la atmósfera.
- Detección de peligros atmosféricos tales como estratos, polvo en el aire, cenizas volcánicas y humo de incendios.
- Aplicaciones de climatología satelital (compuesto de nubes), como medida de la frecuencia/persistencia de las nubes sobre una región en particular.
- Estudios GOES-R, programa con una serie de satélites compuestos por tecnologías mejoradas de naves espaciales e instrumentos, lo que dará como resultados pronósticos meteorológicos más oportunos y precisos, y mejorará el apoyo para la detección y observación de fenómenos meteorológicos.
- Verificación/validación de las imágenes EDR de la serie de radiómetros de imágenes infrarrojas visibles (VIIRS).

RAMMB incluye un visualizador que permite observar una serie de imágenes en un intervalo de tiempo, tanto la hora como el satélite de donde se obtienen las imágenes se seleccionan por el usuario. Adicionalmente, se permite superponer capas para observar elementos como: nubes, masa de aire, nieve/niebla, polvo, temperatura del fuego, fuego de día, entre otros. En la imagen siguiente se visualiza un ejemplo para ver la temperatura del fuego usando GOES-16, imágenes que CONAF utiliza comúnmente en RAMMB para obtener las coordenadas. Finalmente, el visualizador permite descargar una imagen tipo GIF mostrando los cambios en la zona con el pasar del tiempo.

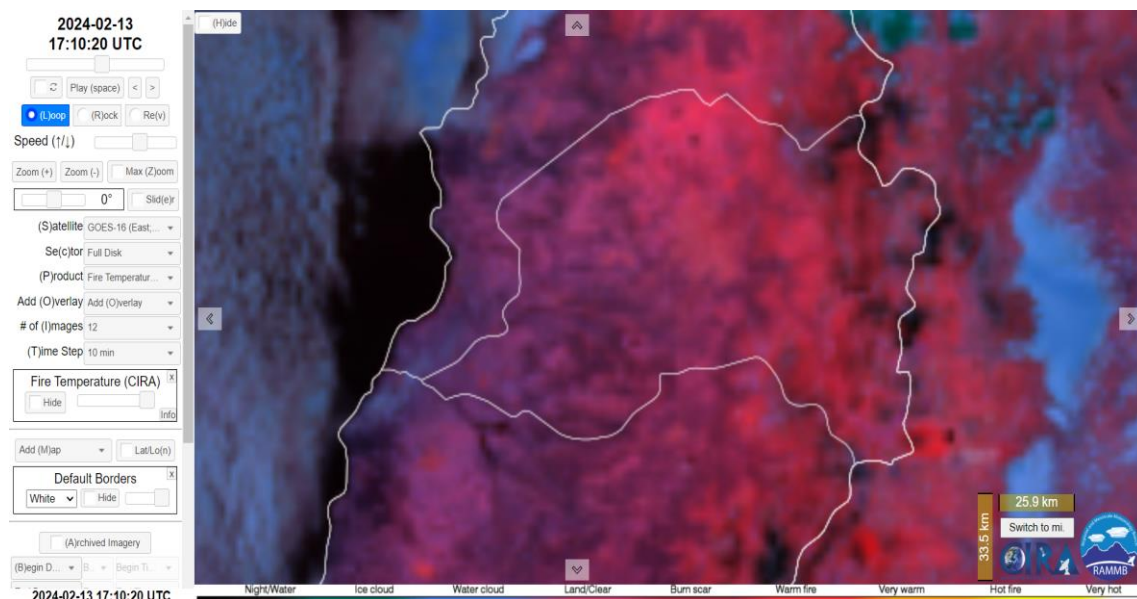


Figura 2.16 – Visor de RAMMB mostrando las temperaturas del terreno detectadas el 13 de febrero de 2024 para la Región Metropolitana.
Fuente: RAMMB.

2.2.3.4.1 GOES-16

GOES-16 es el primero de la serie GOES-R del proyecto de Satélite Geoestacionario Operacional Ambiental (GOES) realizado por NASA y NOAA. El satélite gira alrededor de la Tierra en una órbita geosincrónica, es decir orbitan el plano ecuatorial de la Tierra a una velocidad que coincide con la rotación de la Tierra, esto le permite permanecer en una posición fija en el cielo. Los satélites GOES observan continuamente el hemisferio occidental desde 36 mil kilómetros sobre la Tierra.

La serie GOES-R proporciona imágenes avanzadas y mediciones atmosféricas del clima, los océanos y el medio ambiente, mapeo en tiempo real de la actividad total de rayos y monitoreo mejorado de la actividad solar y el clima espacial. La serie conlleva los siguientes beneficios y aplicaciones (GOES-R, s.f.):

- Pronósticos de trayectoria e intensidad de huracanes.
- Alerta temprana de tormentas severas y tornados.
- Detección, monitoreo y estimación de intensidad de incendios.
- Identificación de los rayos con mayor probabilidad de provocar incendios.
- Detección de nubes bajas y niebla.
- Monitoreo de eventos fluviales atmosféricos que pueden causar inundaciones y deslizamientos de tierra.
- Monitoreo de humo, polvo y aerosoles.
- Datos para avisos y alertas de calidad del aire.
- Datos para la planificación de rutas de aviación y la reducción de retrasos en los

vuelos relacionados con el clima.

- Detección de erupciones volcánicas y seguimiento de cenizas y dióxido de azufre.
- Detección de riesgos de lluvias torrenciales e inundaciones repentinas.
- Datos de la temperatura de la superficie del mar para monitorear la pesca y la vida marina.
- Seguimiento de la sanidad vegetal.
- Datos para estudios de variabilidad climática a largo plazo.
- Detección de meteoros que ingresan a la atmósfera terrestre.
- Detección de agujeros coronales, erupciones solares y regiones fuente de eyección de masa coronal.
- Advertencia de peligros del clima espacial responsables de interrupciones en las comunicaciones y la navegación y apagones.
- Monitoreo de partículas energéticas responsables de los riesgos de radiación.

Dentro de los componentes que incorporan los satélites del programa GOES-R se destaca el Generador Avanzado de Imágenes Base (ABI). ABI es el instrumento principal para obtener imágenes del clima, los océanos y el medio ambiente (NASA & NOAA, s.f.).

GOES-16 proporciona muchas herramientas para monitorear los incendios mediante sus canales visibles (0,64 μm) e infrarrojos de onda corta (3,9 μm). Durante el día, las imágenes visibles son útiles para resaltar cortinas de humo y para alertar sobre cambios en el comportamiento del viento. El infrarrojo de onda corta se utiliza para detectar incendios (Lindstrom, 2017).

Los canales GOES-16 se pueden combinar para crear imágenes Rojo Verde Azul (RGB) que permiten identificar incendios. El Fire RGB combina el IR de onda corta (3,9 μm) con los canales de 2,2 μm y 1,6 μm ; a medida que los incendios se calientan, la radiación se emite en longitudes de onda cada vez más cortas. Cuando este RGB muestra valores blancos, puede estar seguro de que el fuego está muy caliente. En algunos momentos de la animación RGB, faltan las imágenes de 3,9 μm donde el fuego está excepcionalmente caliente, lo que significa que el componente “rojo” del RGB no tiene valor, y el RGB adquiere un tono azul y verde.

El RGB de Temperatura del Fuego ofrecen información cualitativa sobre el fuego. Los productos relacionados con el fuego para GOES-16 incluyen Área de fuego y Temperatura del fuego. Los productos dan el tamaño del fuego dentro del píxel y su temperatura. Estos productos son valiosos en incendios que evolucionan rápidamente para monitorear la situación.

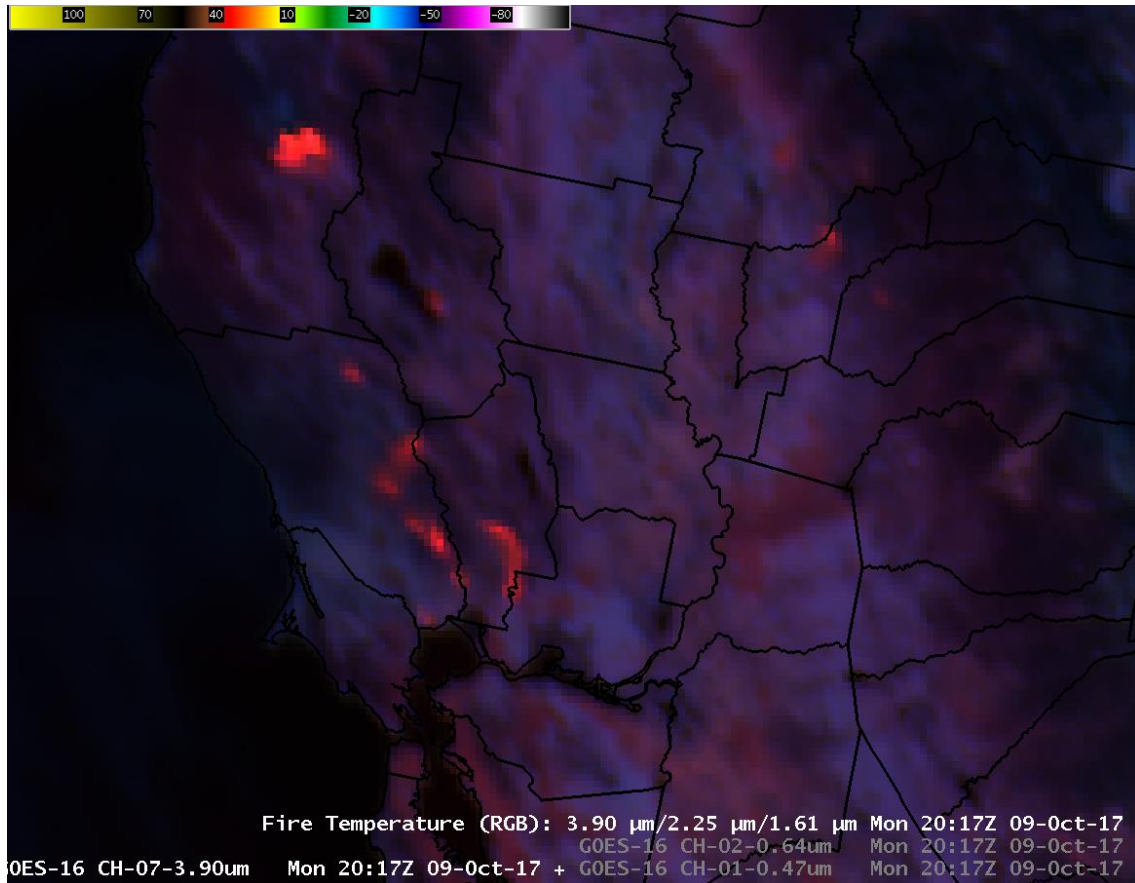
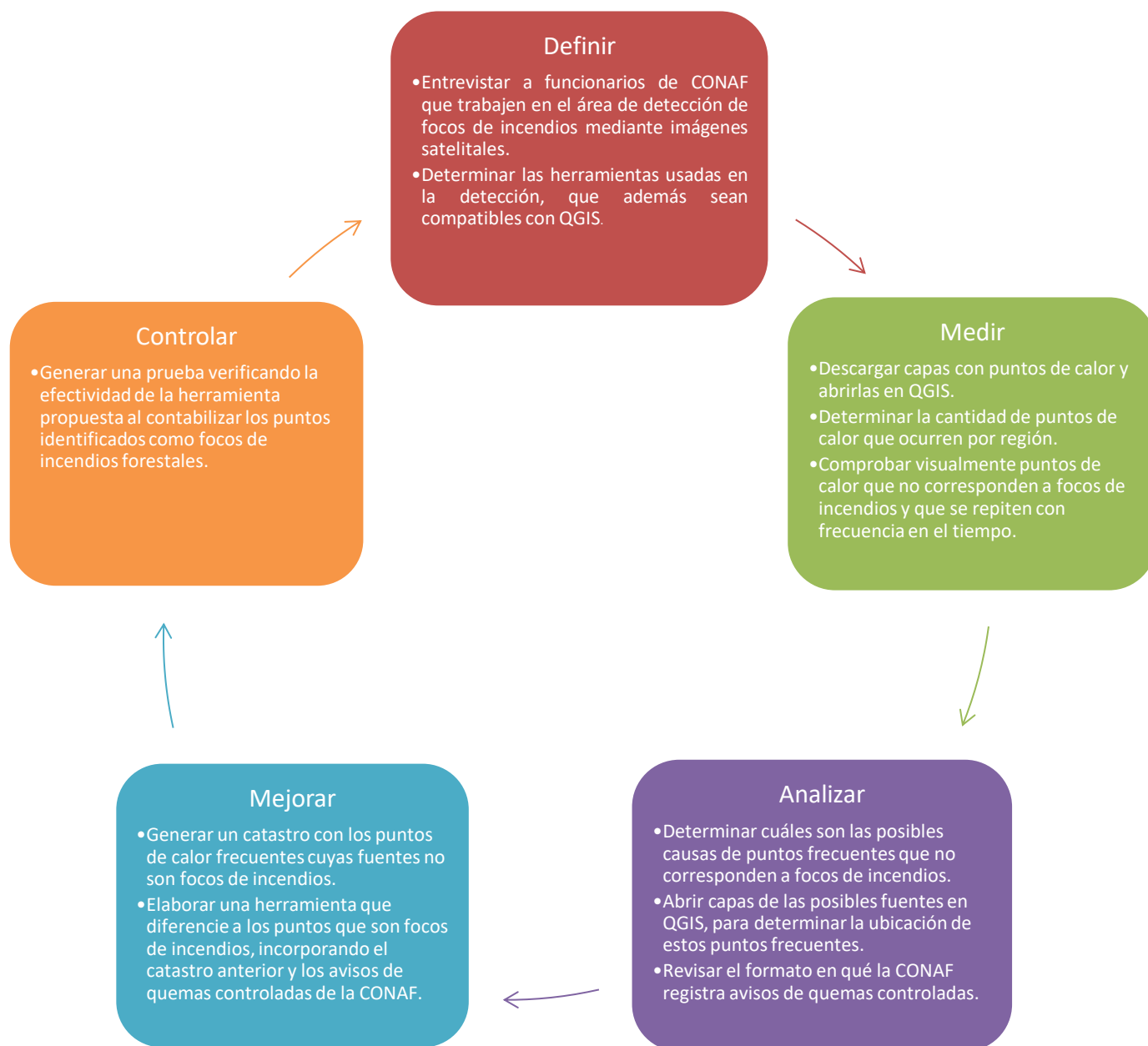


Figura 2.17 – Producto RGB de Temperatura del Fuego tomado el 09 de octubre de 2017.

Fuente: (Lindstrom, 2017).

2.3 Propuesta metodológica

La metodología que se empleará en esta memoria es “DMAIC”. Esta herramienta de la gestión de calidad es utilizada para mejorar procesos existentes. La metodología considera 5 pasos: Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar. El primero consiste determinar en cuál es la necesidad por satisfacer. Posteriormente en medir, se busca recolectar datos que permitan medir el rendimiento objetivo que se comparable en el tiempo. Analizar busca identificar las causas del problema para continuar con Mejorar. En este paso tiene por objetivo desarrollar e implementar propuestas que den solución a las necesidades existentes. Finalmente, en Controlar se debe realizar seguimiento de las medidas implementadas. A continuación, se presenta gráficamente cómo la metodología es aplicada en este trabajo:



Capítulo 3: Desarrollo

3.1 Detección de focos de incendios

3.1.1 Corporación Nacional Forestal (CONAF)

La CONAF es el ente encargado de coordinar la respuesta primaria para contener y extinguir los incendios forestales, por lo cual es necesario detectar sus focos en el menor tiempo posible. Tal como se mencionó anteriormente, la corporación cuenta con distintos métodos de detección (ver sección 2.1.1.3), sin embargo, cada uno presentan falencias que imposibilitan un monitoreo constante de la situación actual de Chile.

En la mañana del pasado 6 de mayo de 2023, se realizó una visita a las instalaciones del área de la CENCO de la CONAF, localizada en la comuna de Santiago. Durante la reunión se conversó con personal de turno en la central, encargada de vigilar el estado de los incendios forestales en Chile, así como de coordinar el envío de recursos y actualizar la base de datos respecto a las gestiones realizadas y el estado de los incendios. En concreto, se explicó cómo se realiza el envío de recursos y el uso de imágenes satelitales para sus gestiones.

En primer lugar, una vez detectado un foco de incendio los centros regionales deben avisar a la central mediante llamadas o mensajes utilizando el sistema de comunicación interno o WhatsApp, indicando localización e información adicional. Posteriormente, la central realiza las gestiones para el envío de recursos, incorporando en el Sistema de Información Digital para Control de Operaciones (SIDCO) cuáles se destinarán y su destino. De ser necesario el uso de aviones, lo primero es determinar el equipo a ocupar usando criterios como distancia al sitio del incendio, tamaño, disponibilidad, propietario (CONAF, privados u otras instituciones gubernamentales), fin que se le dará (extinción de incendios, monitoreo del avance del fuego), entre otros.

Por otro lado, la central también utiliza portales web desde donde se extrae data para verificar el estado de Chile al instante. En sus paredes, el personal proyecta simultáneamente diversos portales para monitorear al país, estos son:

- a. Sentinelhub: portal web de pago que permite monitorear las capas de uso de suelo. Esto facilita identificar cuerpos de agua para determinar su proximidad al incendio e incorporarlo a la ruta del avión enviado a combatir el incendio.
- b. Tropical Tidbits: portal web gratuito que reporta pronósticos meteorológicos sobre precipitaciones.
- c. Zoom Earth: portal gratuito el cual reporta información meteorológica

respecto a precipitaciones, ráfagas de viento, temperatura, humedad relativa y presión. Asimismo, el portal muestra imágenes satelitales en color real y realiza pronósticos para un plazo máximo de tres días.

- d. Regional and Mesoscale Meteorology Branch (RAMMB): portal de libre acceso y gratuito, el cual entrega información meteorológica, sin embargo, su principal uso es identificar puntos de calor debido a su corto desfase (20 a 30 minutos).

Adicionalmente, la central tiene acceso a índices confeccionados por la SAPIF, tales como la Humedad Relativa del Combustible Seco y el Botón Rojo, necesarios para ver la probabilidad de que se produzca un incendio forestal. Por otro lado, CENCO recibe correos del portal Fire Information for Resource Management System (FIRMS) de la NASA, estos correos proporcionan las coordenadas de un punto de calor detectado mediante imágenes satelitales. Al recibir el documento, el personal lo abre en Google Earth y analiza si corresponde a una quema autorizada e informada a la CONAF o se realiza un análisis visual del entorno del punto. De no ser posible su descarte, se compara con otros portales como RAMMB para determinar que el punto de calor corresponde a un incendio forestal.

Posteriormente, el día 1 de junio de 2023, se realizó una segunda visita a la oficina de la CONAF, en esta oportunidad para entrevistar al analista Juan Cortes del SAPIF. Durante se centró en identificar los productos que realiza esta sección de la corporación y las herramientas empleadas para su confección, para ello se clasificaron en las 3 fases de un evento: antes, durante y posterior a un incendio forestal.

SAPIF constantemente genera mapas con indicadores para alertar sobre la probabilidad de que ocurra un incendio forestal, entre ellos destacan factores meteorológicos (humedad relativa, viento, temperatura y precipitaciones), del estado de la vegetación (humedad del combustible) y la probabilidad de ignición, estos se combinan en el índice denominado “Botón Rojo” que busca alertar sobre la probabilidad de incendios forestales simultáneos de magnitud. Por otro lado, la sección genera pronósticos meteorológicos a corto, mediano y largo plazo, si el informe coincide con lo reportado por la Dirección Meteorológica de Chile, CONAF toma acciones preventivas para disminuir el impacto de los posibles incendios forestales.

En segundo lugar, cuando se inicia un incendio forestal, SAPIF busca localizar el incendio forestal identificando su ubicación e intensidad. Comúnmente, la sección no utiliza imágenes satelitales debido a la presencia de humo en incendios de magnitud, lo que obstaculiza la visión de los focos. Para evitarlo lo anterior, se priorizan otros medios alternativos, entre se encuentran:

- Reportes emitidos por personal en terreno vía WhatsApp, o medios similares, con imágenes centrándose en el comportamiento del fuego.
- Cámaras térmicas a bordo de aviones tripulados (conocidos como aeronaves de “observación y coordinación”).
- Imágenes desde satélites geoestacionarios, principalmente RAMMB, donde se extrae la intensidad y ubicación del foco de incendio.

SAPIF integra las imágenes e informaciones detectadas por las diferentes metodologías para confeccionar reportes indicando el perímetro del incendio y realizando simulaciones sobre el potencial de crecimiento del fuego mientras sucede el evento.

Finalmente, una vez finalizada la tragedia, la sección de análisis utiliza imágenes satelitales para determinar la severidad del incendio, las cicatrices del terreno, perímetro (necesario para el índice de área quemada), daño evitado (índice que contrasta el daño efectivo con el daño posible sin la respuesta para contener y extinguir el fuego), capacitaciones, revisión del comportamiento del fuego y la confección de fichas que facilitan el análisis del incendio.

Además, Juan Cortes comenta en la entrevista que los productos que la sección confecciona son realizados gracias a la herramienta Google Engine. Mientras que, para la detección de focos de incendio utiliza portales gratuitos que permiten identificar puntos de calor como FIRMS cuyos archivos se abren en Google Earth. Sin embargo, FIRMS proporciona información con un desfase de horas versus los minutos de RAMMB, pero la primera entrega mayor cantidad de datos utilizados para el monitoreo de los incendios y sus consecuencias una vez terminados. A pesar de ello, SAPIF igualmente utiliza FIRMS para detectar incendios en horario nocturno (dada la baja visibilidad) y en regiones remotas como montañas, pero considerando que presenta errores al detectar elementos no deseados como parques fotovoltaicos y quemas autorizadas.

3.1.2 Productos de los portales detectores de incendios

De los portales de acceso que CONAF proyecta, solamente dos permiten identificar puntos de calor: FIRMS y RAMMB, los cuales fueron tratados con mayor detalle en la sección 2.2.3. RAMMB es un portal centrado principalmente para el análisis de fenómenos meteorológicos, sin embargo, permite observar capas de la temperatura del fuego (ver figura 3.1), adicionalmente, al seleccionar un punto se señalan sus coordenadas. Finalmente, el portal permite descargar archivos en los formatos PNG o GIF, tanto para imágenes estáticas como en movimiento, respectivamente.

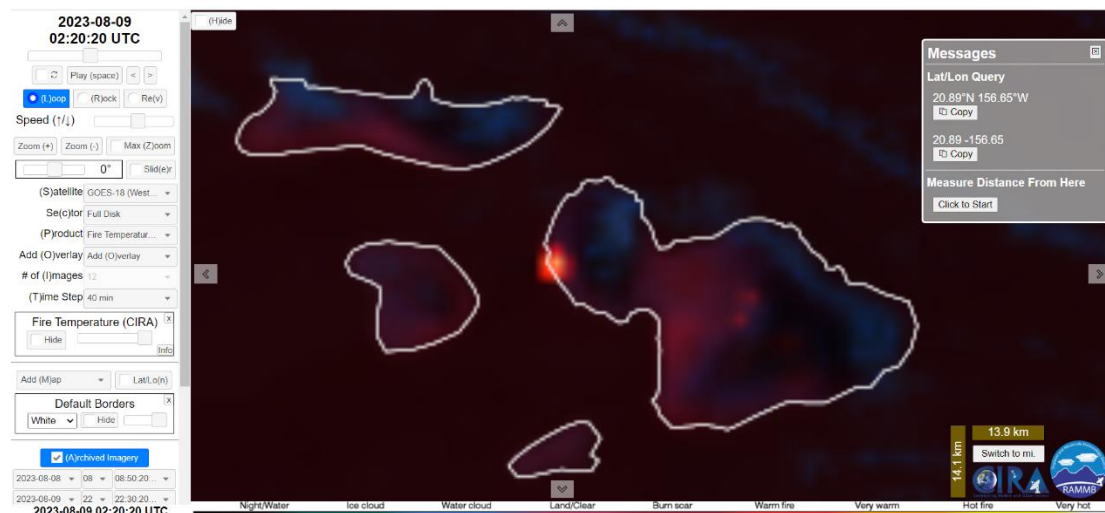


Figura 3.1 – Visor de RAMMB mostrando las temperaturas de un foco de incendio y sus coordenadas detectado el 09 de agosto de 2023.

Fuente: RAMMB.

FIRMS permite descargar información sobre puntos de calor en las modalidades de Keyhole Markup Language (KML), archivo de texto y Shapefile.

1. KML: formato que permite ser abierto en Google Earth, programa informático de Google que genera una representación 3D de la Tierra basada en imágenes satelitales. En el programa, el punto de calor detectado se representa con el icono de fuego (ver figura 3.2). Además, el dato incorpora dentro de sus propiedades:
 - Coordenadas: latitud y longitud del centro del píxel.
 - Fecha y hora en qué se hizo la detección.
 - Confianza: valor destinado a medir la calidad de los píxeles de incendio. Esta estimación de confianza oscila entre 0% y 100% y se utiliza para asignar una de las tres clases de fuego: fuego de baja confianza, fuego de confianza nominal o fuego de alta confianza (Giglio, Schroeder, Hall, & Justice, 2018).
 - Satélite que realizó la detección: Aqua (A), Terra (T), Suomi National Polar-orbiting Partnership (SNPP) y NOAA-20 (1).

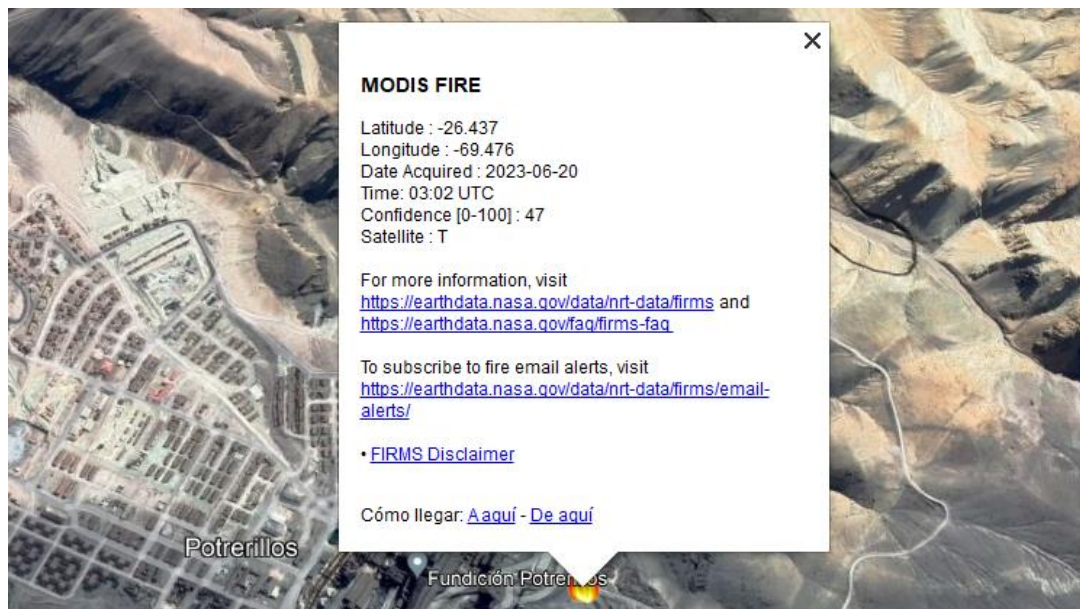


Figura 3.2 – KMZ de FIRMS abierto en Google Earth, mostrando un punto de calor detectado en la Fundación Potrerillos por el sensor MODIS abordo del satélite Terra el 20 de junio de 2023.

Fuente: FIRMS.

2. Archivo de texto (Comma-Separated Values o CSV): formato compatible con Excel (ver figura 3.2) y, tal como su nombre lo indica, es un archivo de texto cuya información está separada por comas (Earthdata, 2023):

- Latitud y Longitud del centro del píxel.
- Bright o Temperatura de Brillo: corresponde a los fotones en una longitud de onda particular recibidos por el sensor, pero presentados en unidades de temperatura (Kelvin).
- Scan y Track: representan las resoluciones espaciales reales en la dirección Este-Oeste y Norte-Sur de la detección.
- Fecha y Hora (en el Tiempo Universal Coordinado o UTC) en la cual se realizó la medición.
- Satélite qué efectuó la detección: Aqua (A), Terra (T), Suomi National Polar-orbiting Partnership (N) y NOAA-20 (1).
- Confianza: sigue la misma lógica que la confianza en KML, pero dependiendo del satélite puede encontrarse el valor o la clase.
- Versión: El prefijo identifica la colección a la que corresponde la imagen: VIIRS 1, VIIRS 2 (Earthdata, 2021) o MODIS 6.1 (Earthdata, 2021). Mientras que el sufijo señala la fuente que procesa los datos (Tiempo ultrareal (URT), Tiempo real (RT), Tiempo casi real (NRT) o Procesamiento estándar (solo colección)).
- FRP o Potencia Radiativa del Fuego: producción de calor radiante por unidad de tiempo durante los incendios medida en MW

(megavatios). El FRP se ha utilizado ampliamente como indicador de la intensidad del fuego para caracterizar los tipos de fuego y está relacionado con la tasa de combustión de biomasa y la tasa de emisiones (Taborda Ramírez, 2013).

- Día/Noche: si se trata de un incendio diurno (D) o nocturno (N).

	A	B	C	D	E
1	latitude,longitude,bright_ti4,scan,track,acq_date,acq_time,satellite,confidence,version,bright_ti5,frp,daynight				
2	-44.34222,171.1725,338.74,0.48,0.48,2023-08-25,0200,N,nominal,2.0NRT,286.02,3.21,D				
3	-43.31643,171.96007,326.4,0.43,0.46,2023-08-25,0200,N,nominal,2.0NRT,287.08,1.91,D				
4	-41.62107,173.3739,336.22,0.53,0.42,2023-08-25,0200,N,nominal,2.0NRT,288.17,4.52,D				
5	-40.04356,176.30539,333.77,0.41,0.37,2023-08-25,0202,N,nominal,2.0NRT,282.13,2.52,D				
6	-21.54436,165.88753,338.24,0.53,0.5,2023-08-25,0206,N,nominal,2.0NRT,295.59,5.53,D				
7	-21.01456,164.68803,340.3,0.62,0.54,2023-08-25,0206,N,nominal,2.0NRT,299.94,14.48,D				
8	-21.01517,164.68208,339.9,0.62,0.54,2023-08-25,0206,N,nominal,2.0NRT,298.08,14.48,D				
9	-20.81171,164.44936,367,0.32,0.55,2023-08-25,0206,N,high,2.0NRT,299.99,10.88,D				
10	-20.81202,164.4462,338.98,0.32,0.55,2023-08-25,0206,N,nominal,2.0NRT,296.16,5.51,D				
11	-20.31909,164.49077,326.56,0.63,0.54,2023-08-25,0206,N,nominal,2.0NRT,296.62,2.52,D				
12	-19.53104,169.44722,342.02,0.47,0.4,2023-08-25,0206,N,nominal,2.0NRT,295.12,9.98,D				

Figura 3.3 – Extracto de un CSV de FIRMS abierto en Excel de los puntos de calor detectados en Chile por el sensor VIIRS abordo del satélite Suomi durante el 25 de agosto de 2023.

Fuente: FIRMS.

3. Shapefile (SHP): formato de datos vectoriales geoespaciales compatible con los softwares de Sistemas de Información Geográfica (SIG) que cuentan con herramientas para el procesamiento de la información (de la Fuente, 2020). El shapefile describe espacialmente capas vectoriales (ver figura 3.3) e incorpora atributos que los describen. Para el caso de FIRMS, las mediciones se representan mediante puntos de colores, cuya información se presentan en la tabla de atributos donde cada columna corresponde a uno de los datos del CSV (ver figura 3.4).



Figura 3.4 – Shapefile de FIRMS, abierto en el software QGIS, con los puntos de calor detectados en la Fundación Potrerillos por el sensor VIIRS abordo del satélite NOAA-20 durante el 17 de junio de 2023.

Fuente: FIRMS.

	LATITUDE	LONGITUDE	BRIGHTNESS	SCAN	TRACK	ACQ_DATE	ACQ_TIME	SATELLITE	INSTRUMENT	CONFIDENCE	VERSION	BRIGHT_T31	FRP	DAYNIGHT
2	-26.4311100000	-69.4786200000	325,8100000000	0.43	0.38	17-06-2023	0536	1	VIIRS	n	2.0NRT	276,3200000000	1,6200000000	N
3	-26.4345800000	-69.4792800000	298,8000000000	0.43	0.38	17-06-2023	0536	1	VIIRS	n	2.0NRT	278,2400000000	1,6200000000	N
4	-33.2943900000	-70.7284900000	330,7500000000	0.4	0.37	17-06-2023	0538	1	VIIRS	n	2.0NRT	280,1200000000	3,0800000000	N
5	-34.1052400000	-70.4557600000	327,0900000000	0.39	0.37	17-06-2023	0538	1	VIIRS	n	2.0NRT	283,7000000000	6,5700000000	N
6	-34.1059700000	-70.4514900000	297,6800000000	0.39	0.37	17-06-2023	0538	1	VIIRS	n	2.0NRT	281,0500000000	0.94	N
7	-35.2021100000	-72.0745100000	300,5900000000	0.42	0.38	17-06-2023	0538	1	VIIRS	n	2.0NRT	279,3600000000	1,0500000000	N
8	-35.2063400000	-72.0710700000	306,8900000000	0.42	0.38	17-06-2023	0538	1	VIIRS	n	2.0NRT	279,5200000000	1,1300000000	N
9	-35.3703800000	-72.2758600000	301,2500000000	0.43	0.38	17-06-2023	0538	1	VIIRS	n	2.0NRT	278,8200000000	1,1900000000	N
10	-35.3712100000	-72.2712700000	311,7000000000	0.43	0.38	17-06-2023	0538	1	VIIRS	n	2.0NRT	278,0500000000	1,1900000000	N
11	-35.3729700000	-72.2816200000	300,3400000000	0.43	0.38	17-06-2023	0538	1	VIIRS	n	2.0NRT	278,0600000000	0.39	N
12	-35.3746600000	-72.2722900000	300,5200000000	0.43	0.38	17-06-2023	0538	1	VIIRS	n	2.0NRT	277,5500000000	0.79	N
13	-35.3772400000	-72.2781100000	297,9700000000	0.43	0.38	17-06-2023	0538	1	VIIRS	n	2.0NRT	277,4100000000	0.79	N
14	-35.8597100000	-71,1961000000	339,5500000000	0.4	0.37	17-06-2023	0538	1	VIIRS	n	2.0NRT	289,4600000000	9,4600000000	N
15	-35.8604900000	-71,1914700000	352,8300000000	0.4	0.37	17-06-2023	0538	1	VIIRS	n	2.0NRT	298,1300000000	9,4600000000	N
16	-35.8630900000	-71,1968100000	333,7500000000	0.4	0.37	17-06-2023	0538	1	VIIRS	n	2.0NRT	289,8400000000	3,7900000000	N
17	-35.8638800000	-71,1921500000	299,2900000000	0.4	0.37	17-06-2023	0538	1	VIIRS	n	2.0NRT	286,1400000000	3,7900000000	N
18	-35.8760600000	-72.3671500000	306,1000000000	0.42	0.38	17-06-2023	0538	1	VIIRS	n	2.0NRT	275,1000000000	1,0700000000	N
19	-35.8769100000	-72.3624600000	295,4600000000	0.42	0.38	17-06-2023	0538	1	VIIRS	n	2.0NRT	273,4900000000	0.47	N
20	-35.8636700000	-72.4956100000	308,7800000000	0.43	0.38	17-06-2023	0538	1	VIIRS	n	2.0NRT	279,0400000000	1,3400000000	N
21	-35.8784600000	-72.5144200000	313,6900000000	0.43	0.38	17-06-2023	0538	1	VIIRS	n	2.0NRT	280,1400000000	1,2600000000	N
22	-35.8836000000	-72.5060800000	316,2900000000	0.43	0.38	17-06-2023	0538	1	VIIRS	n	2.0NRT	277,1400000000	1,7000000000	N
23	-35.9779500000	-72.6095400000	295,1300000000	0.43	0.38	17-06-2023	0538	1	VIIRS	n	2.0NRT	276,6900000000	0.6	N
24	-36.0882900000	-72.7248300000	301,3600000000	0.43	0.38	17-06-2023	0538	1	VIIRS	n	2.0NRT	276,8900000000	0.7	N
25	-36.0917200000	-72.7261400000	304,1200000000	0.43	0.38	17-06-2023	0538	1	VIIRS	n	2.0NRT	276,0700000000	0.7	N

Figura 3.5 – Extracto de la Tabla de Atributos del Shapefile de FIRMS, abierto en el software QGIS, con los puntos de calor en Chile detectados por el sensor VIIRS abordo del satélite NOAA-20 durante el 17 de junio de 2023.

Fuente: FIRMS.

Al contrastar los dos portales utilizados por CONAF, es posible afirmar que los productos de FIRMS, en especial los shapefile, son los más convenientes para este trabajo. Esto se basa en que RAMMB sólo entrega imágenes con y sin movimiento, las cuales para la detección de focos de incendios dependen del constante monitoreo de la zona en estudio para visualizar un foco de incendio. Mientras que FIRMS permite solicitar datos para un territorio en un intervalo de tiempo determinado, además de entregar información adicional que su contraparte no realiza. Finalmente, los shapefiles permiten realizar análisis visuales y de procesos en Sistemas de Información Geográfica como QGIS, que permiten localizar el punto de calor y precisar su fuente de emisión.

3.2 Fuentes de calor detectadas por FIRMS

Tras determinar que FIRMS es la herramienta por emplear, se prosigue con descargar las tres capas con los puntos de calor detectados en Chile utilizando los sensores MODIS y VIIRS, durante el período de 28 días a contar del 17 de junio al 14 de julio de 2023, época invernal con una baja cantidad de incendios forestales. Los productos de FIRMS vienen en el Sistema Geodésico Mundial (WGS 84), sistema de referencia de coordenadas tridimensional cuyo punto donde las verticales del elipsoide y geoide, coinciden y se hacen tangentes al geoide (o Datum) coinciden con el centro de la Tierra (Tapia, 2015). Además, dado su carácter universal, es el Sistema Geodésico de Referencia (SGR) más común en la actualidad, llegando a ser utilizado por los GPS.

Sin embargo, es necesario proyectar las capas en un plano bidimensional o mapa para trabajar distancias en metros, para ello se ocupa el proceso de reproyección en el software QWIS, el cual ajusta una capa a un Sistema de Referencia de Coordenadas (SRC) distinto al que trae por defecto, usando como SRC objetivo la proyección Universal Transversal de Mercator (UTM), detallado en profundidad en la sección 2.2.2.2. La UTM tiene la particularidad de que a medida que el observador se aleja del meridiano central la proyección va perdiendo fidelidad (Tapia, 2015), por lo tanto, se divide al globo terráqueo en 60 Husos y, por su ubicación, a Chile Continental le corresponden los Husos 19 Sur entre las Regiones de Arica y Parinacota hasta Maule y el Huso 18 Sur del Bío-Bío hasta Magallanes. Es importante señalar la información que se trabaja en esta memoria es a nivel nacional y no sectorizada, por lo que se debe seleccionar un huso a utilizar para Chile, en este caso se ha convenido utilizar el Huso 19S, teniendo en consideración que se pierde precisión debido a la naturaleza del UTM.

Luego, a las tres capas se unifican mediante el proceso de “Combinar capas vectoriales” generando una cuarta capa con la información de las capas anteriores,

contabilizando un total de 907 filas, equivalente a la suma de las filas de las tres capas originales.

Posteriormente, se descargó desde la página web de la Infraestructura de Datos Geospaciales de Chile (IDE Chile), red dependiente del Ministerio de Bienes Nacionales, la capa vectorial con el límite de las regiones reportada por Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo (Subdere). A la capa se le aplica el proceso de reproyección, dado que su SRC de origen es Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas o SIRGAS Chile 2002. Al reproyectar la pantalla muestra un listado con métodos para realizar el proceso, cada uno con un error de precisión asociado, en este proceso se selecciona el menor error que corresponde a 9 metros, sin embargo, en el listado aparece una opción con precisión desconocida.

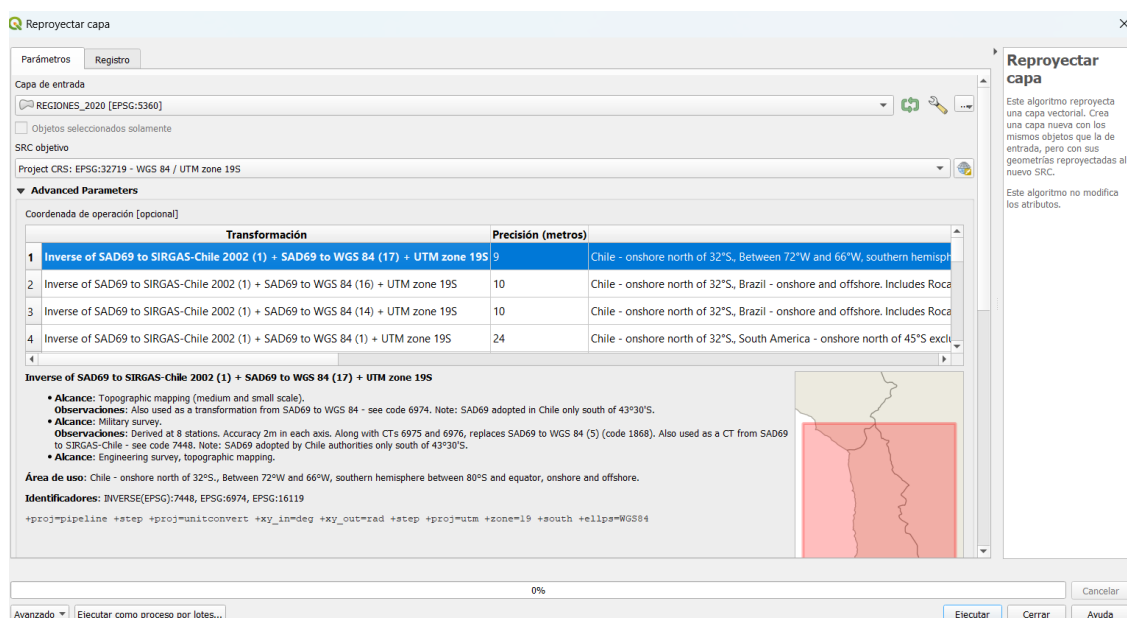


Figura 3.6 – Pantalla del proceso “Reproyectar capa” de los límites regionales de Chile.
Fuente: QWIS

Finalmente, las capas generadas con las regiones y los puntos de calor se trabajan en conjunto en la función “Contar puntos en un polígono”, generando una nueva capa idéntica a la capa de límites regionales, pero dentro de sus atributos se incorpora una nueva columna con la cantidad de puntos de calor detectados por región (ver figura 3.5).

	fid	CUT_REG	REGION	SUPERFICIE	NUMPOINTS
1	1	11	Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo	106796,55	0
2	2	07	Maule	30321,08	137
3	3	02	Antofagasta	126066,54	198
4	4	09	La Araucanía	31811,89	17
5	5	12	Magallanes y de la Antártica Chilena	130482	1
6	6	06	Libertador General Bernardo O'Higgins	16347,03	94
7	7	03	Atacama	75650,08	124
8	8	05	Valparaíso	16240,5	93
9	9	10	Los Lagos	48372,46	0
10	10	08	Biobío	23996,18	91
11	11	01	Tarapacá	42288,81	27
12	12	13	Metropolitana de Santiago	15401,94	27
13	13	14	Los Ríos	18324,18	2
14	14	15	Arica y Parinacota	16864,28	18
15	15	16	Ñuble	13096,62	64
16	16	04	Coquimbo	40587,56	11

Figura 3.7 – Tabla de atributos de la capa con los límites regionales de Chile al contabilizar los puntos de calor detectados por FIRMS para el período del 17 de junio al 14 de julio de 2023.
Fuente: Elaboración propia.

La tabla permite concluir que las regiones del norte del país concentran gran parte de los puntos de calor detectados, sobresaliendo Antofagasta y Atacama. Sin embargo, CONAF se encarga de analizar las regiones desde Coquimbo hasta Magallanes, de este grupo destacan las regiones del Maule, O'Higgins, Valparaíso, Biobío y Ñuble.

Para visualizar las posibles fuentes de calor se descargaron durante una semana los puntos detectados por los sensores VIIRS y MODIS en la región de Sudamérica en formato KML, pero centrando el análisis en Chile. Posteriormente, estos puntos fueron abiertos en Google Earth, llegando a las siguientes conclusiones:

- Una de las fuentes de calor que el portal FIRMS detecta es la actividad volcánica. El Volcán Villarrica, en la actualidad activo, diariamente es captado por el sensor VIIRS a bordo del satélite NOAA-20.



Figura 3.8 – KMZ de FIRMS abierto en Google Earth, mostrando un punto de calor detectado en el Volcán Villarrica por el sensor VIIRS a bordo del satélite NOAA-20.
Fuente: FIRMS.

- Puntos de calor diarios que son recurrentes corresponden a las instalaciones mineras como El Teniente, Chagres, Potrerillos, Altonorte y Chuquicamata. Además, las fuentes de energía eléctrica como centrales termoeléctricas también pueden ser detectadas, tal es el caso de la central localizada en la comuna de Quintero.

Figura 3.9 – KMZ de FIRMS abiertos en Google Earth, mostrando puntos de calor detectados en la Mina El Teniente y la Central Termoeléctrica ENEL de Quintero.



Fuente: FIRMS.

A raíz de lo observado es que se descargaron capas vectoriales desde el Catálogo Nacional de Información Geoespacial de la IDE sobre los volcanes activos y yacimientos mineros, información suministrada por el Servicio Nacional de Geología y Minería (Sernageomin). Adicionalmente, desde el Portal GEOMIN de Sernageomin se descargaron las capas correspondientes a las instalaciones mineras. Por otro lado, se extrajo desde el IDE Energía, dependiente del Ministerio de Energía, capas vectoriales de las distintas centrales de generación eléctrica: bioenergía, geotérmicas, eólicas, solares, termoeléctricas e hidroeléctricas.

Tabla 3.1 – Capas nacionales descargadas para identificar las fuentes de emisión de calor detectadas por la plataforma FIRMS.

Capa	Fuente	Descargado desde	Sistema de Coordenadas	Fecha de actualización	Error de precisión
Volcanes activos	Sernageomin	Catalogo Nacional IDE	WGS 84	06-03-2019	Desconocido
Bioenergía	Ministerio de Energía	IDE Energía	SIRGAS-Chile 2002	30-12-2022	9 metros
Solares	Ministerio de Energía	IDE Energía	SIRGAS-Chile 2002	30-12-2022	9 metros
Termoeléctrica	Ministerio de Energía	IDE Energía	SIRGAS-Chile 2002	30-12-2022	9 metros
Instalaciones mineras 19S	Sernageomin	Portal GEOMIN	PSAD56	11-04-2020	16 metros
Instalaciones mineras 18S	Sernageomin	Portal GEOMIN	PSAD56	11-04-2020	16 metros
Industria forestal	Ministerio de Agricultura	Catalogo Nacional IDE	WGS 84/UTM Huso 19 Sur	31-12-2018	0 metros

Fuente: Elaboración propia.

La mayoría de las capas vectoriales descargadas son reproyectadas, debido a que su SRC de origen es distinto al WGS 84/UTM Huso 19S del proyecto, además en la tabla 3.1 se incluye el error de precisión que conlleva aplicar el proceso. Posteriormente, para poder determinar que lugares emiten energía calórica suficiente para ser detectada por FIRMS es que aplica el proceso de “Búfer múlti-anillos (distancia constante)” a las capas de las posibles fuentes de calor, el cual genera anillos perimetrales de igual medida, en este caso se generó un único anillo de 600 metros, tamaño intermedio entre las resoluciones espaciales de los sensores VIIRS (375 m) y del sensor MODIS (1 km).

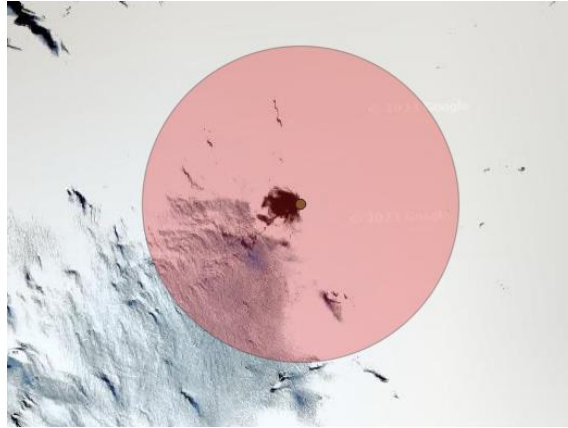


*Figura 3.10 – Buffer de 600 metros generado alrededor de la cima del punto que identifica al volcán Villarrica.
Fuente: Elaboración propia.*

Posteriormente, a los buffers generados se les aplicó la función “Contar puntos en un polígono” para cuantificar la cantidad de puntos de calor generados por la posible fuente. Finalmente, a partir de las capas resultantes se confeccionaron nuevas capas con solamente las fuentes que dentro de su zona de influencia o buffers se detectaron al menos un punto de calor.

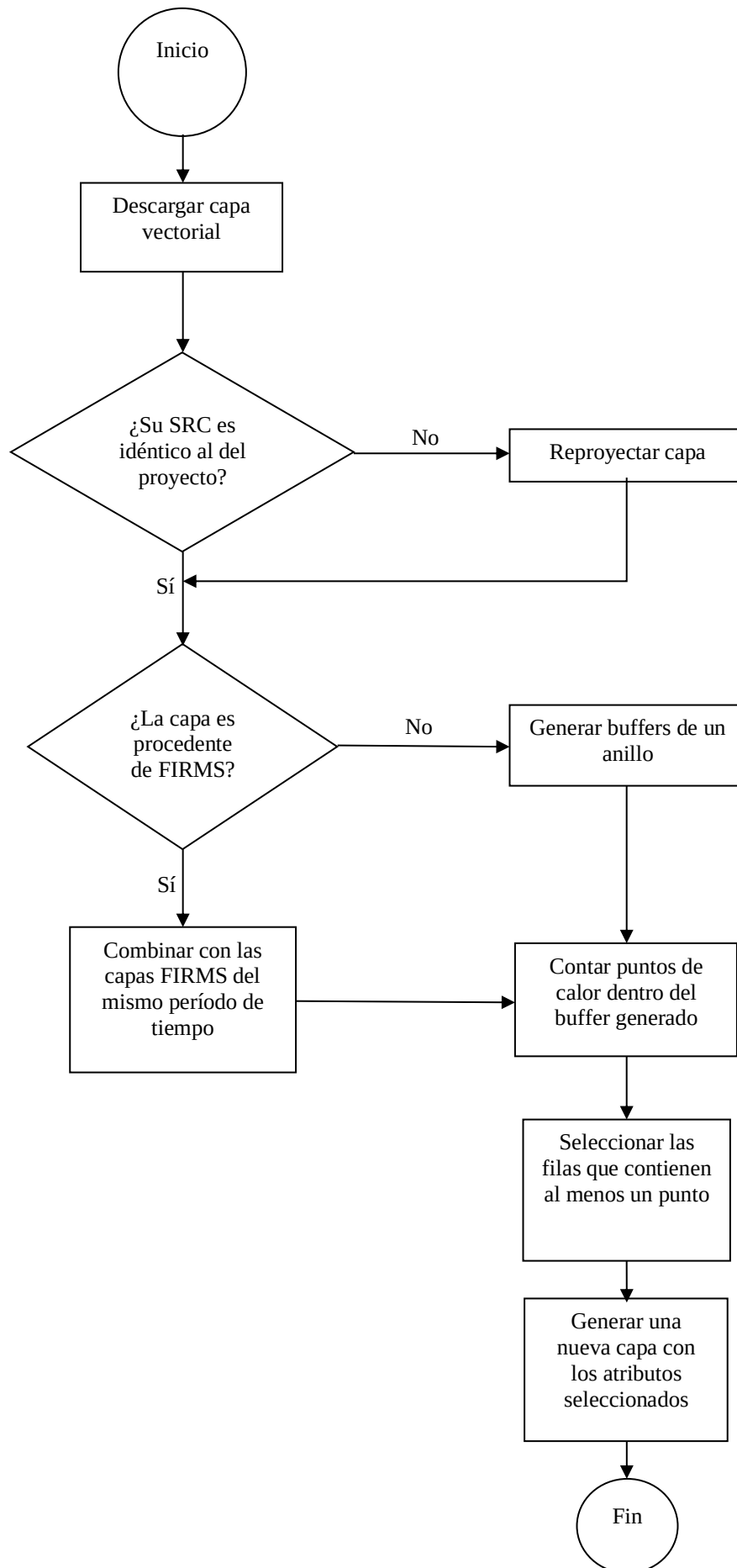


Figura 3.11 – Diagrama de flujo de la detección de fuentes de emisión de calor detectados por FIRMS.
Fuente: Elaboración propia.

A partir de las últimas capas creadas usando el proceso anterior, descrito en el diagrama de flujo de la Figura 3.8, se detectaron las siguientes fuentes de calor:

A. Energía solar

La energía solar se obtiene al aprovechar la radiación electromagnética emitida por el Sol. Actualmente, el calor y la luz del Sol pueden aprovecharse por medio de diferentes tecnologías captadoras, las que clasifican en pasivas o activas según cómo capturan, convierten y distribuyen la energía solar. En el primer grupo se aprovecha la energía procedente del sol sin realizar ninguna transformación. En contraste, las tecnologías activas utilizan dispositivos eléctricos para transformar una corriente a otra y para acumular la energía. Este segundo grupo incluye a las fuentes emisoras detectadas por FIRMS y corresponde a paneles fotovoltaicos y colectores solares térmicos.

1. Energía fotovoltaica

La energía fotovoltaica es la conversión directa de la luz en electricidad a nivel atómico. Algunos materiales exhiben una propiedad conocida como efecto fotoeléctrico que les hace absorber fotones de luz y liberar electrones. Cuando se capturan estos electrones libres, se produce una corriente eléctrica que puede utilizarse como electricidad. La figura 3.9 ilustra el funcionamiento de una célula fotovoltaica básica, también conocida como célula solar.

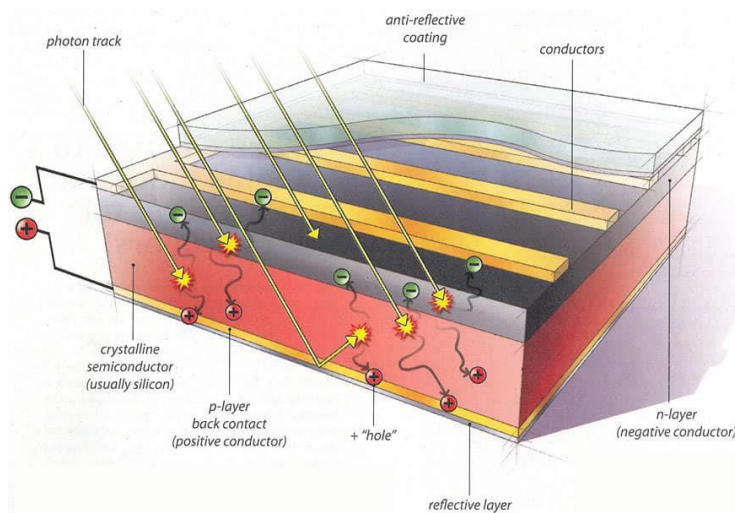


Figura 3.12 – Diagrama de una célula solar típica de silicio.
Fuente: (Struve, s.f.).

Usualmente, la temperatura de los paneles solar oscila entre los 15 °C y 35 °C, rango donde las células solares producen en su máxima eficiencia. Sin embargo, los paneles solares pueden alcanzar temperaturas de hasta 65 °C, instante en el que la eficiencia de las células solares se ve obstaculizada (Marsh, 2020). Durante los momentos en que los

parques solares alcanzan temperaturas en el rango superior de su eficiencia o superiores, los sensores de FIRMS detectan esta temperatura y la representan como puntos de calor.

2. Energía solar térmica

Los sistemas de energía solar térmica recolectan y concentran la luz solar para producir el calor necesario para generar electricidad. Todos los sistemas de Energía Termosolar de Concentración (CSP) poseen colectores de energía con dos componentes principales: reflectores (espejos) que capturan y enfocan la luz hacia un receptor. En la mayoría de los sistemas, un fluido se calienta en el receptor y se utiliza para producir vapor. Este vapor se convierte en energía mecánica al mover una turbina para alimentar un generador para producir electricidad (EIA, 2022).

Tal como sucede con la energía solar fotovoltaica, las plantas de energía solar térmica generan temperaturas superiores a las de su entorno, de hecho, el calor generado oscila en rangos menores a 400°C hasta superar los 1000°C (SETO, s.f.). Estas altas temperaturas son detectadas por sensores y representadas mediante puntos de calor por FIRMS.

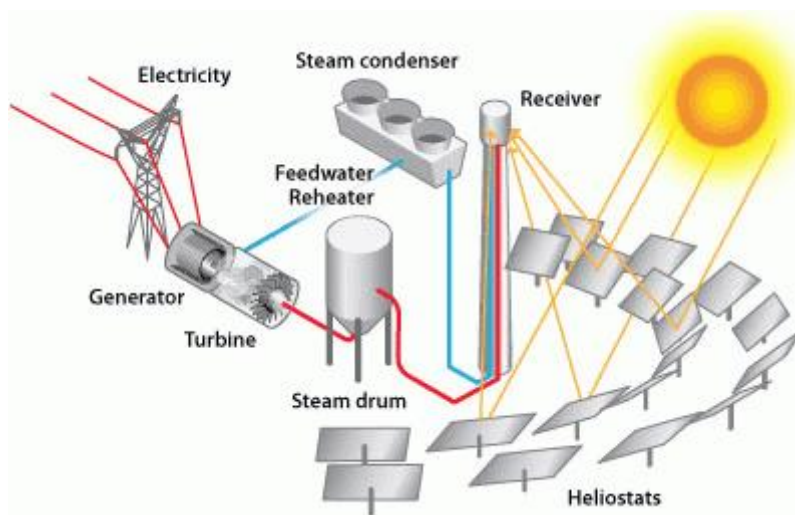


Figura 3.13 – Diagrama de la estructura de un sistema de energía termosolar de concentración.
Fuente: (Solar Energy Technologies Office, s.f.).

B. Bioenergía

La bioenergía es la producción de electricidad a partir de la energía almacenada en materia orgánica. La materia prima de la bioenergía o biomasa proviene de residuos forestales y desechos de madera, residuos agrícolas y de actividades de ganado. La producción de electricidad utilizando bioenergía se realiza en centrales eléctricas a partir del vapor que se libera durante la combustión de la biomasa en una cámara de combustión, este subproducto liberado es utilizado para girar una turbina que acciona un alternador para producir energía. La cámara de combustión puede alcanzar altas temperaturas que pueden oscilar entre los 500 y 1200 °C (GlenFarrow, 2024), lo que hace detectable para los sensores de FIRMS y reportados como puntos de calor.

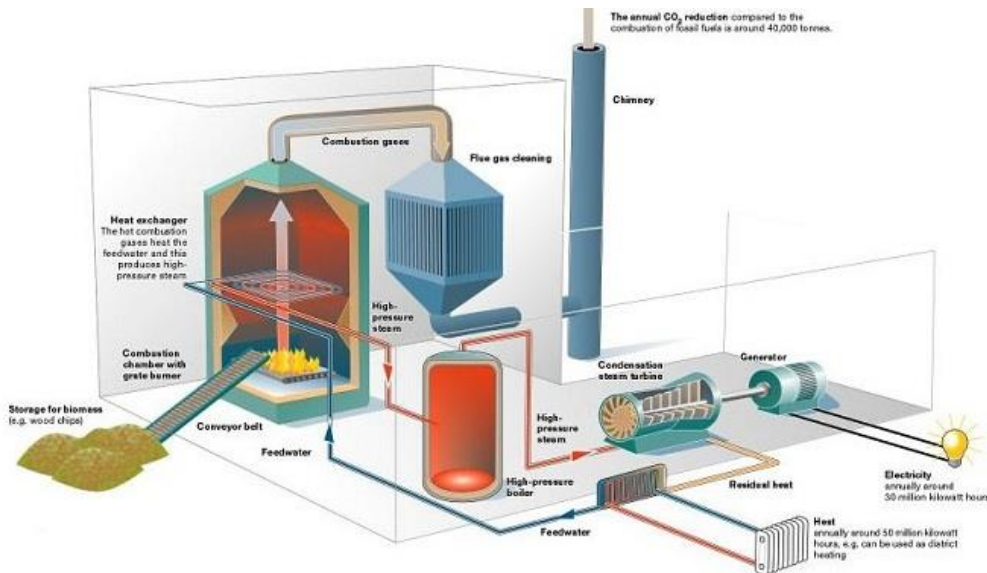


Figura 3.14 – Diagrama de la estructura de una planta de bioenergía.
Fuente: (Engineering World, s.f.).

C. Termoeléctricas

La central térmica o termoeléctrica es un tipo de central que utiliza combustibles fósiles (gas natural, carbón o fueloil) para generar energía eléctrica mediante un ciclo termodinámico de agua-vapor (Endesa, s.f.)

En las centrales térmicas, el combustible se quema en una caldera provocando el calor necesario para calentar agua que se transforma en vapor a alta presión, durante este proceso de evaporación se pueden alcanzar temperaturas entre los 400 °C (Presa Ansotegui, s.f.) y 1400 °C (Endesa, s.f.), dependiendo del tipo de central termoeléctrica. Después, el vapor hace girar una turbina que transforma la energía mecánica en eléctrica en el alternador. La electricidad pasa por un transformador que aumenta su tensión y permite transportarla. Finalmente, el vapor llega a un condensador para convertirse en agua y volver a la caldera para repetir el proceso anterior.

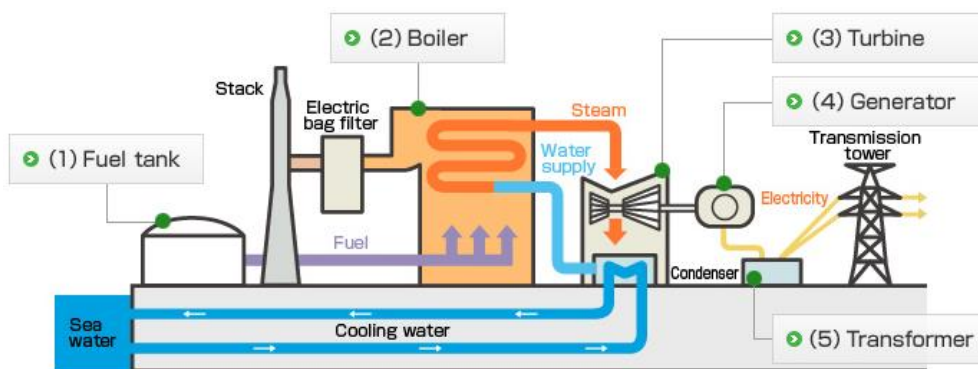


Figura 3.15 – Diagrama de la estructura básica de una central termoeléctrica.
Fuente: (Kansai Electric Power, s.f.).

D. Volcanes

Un volcán es una grieta en la corteza terrestre conectada a una cámara magmática y por la cual los materiales incandescentes en forma magma (ya sea mediante lava, gas y/o líquidos a altas temperaturas) del interior de la Tierra emergen y se acumulan en la superficie.

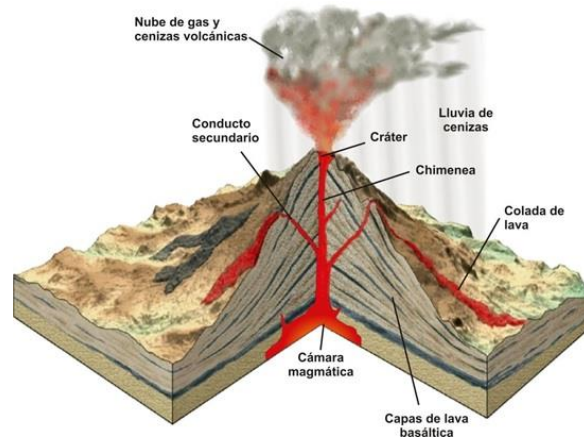


Figura 3.16 – Corte transversal de un volcán.
Fuente: (Argentina.gob.ar, s.f.).

La Figura 3.13 muestra un volcán activo durante una erupción, evento donde el magma asciende por uno o más conductos a través de las capas de roca o estratos hasta llegar a la superficie. La mayor parte del magma alcanza suele salir por la chimenea central, sin embargo, parte puede brotar por un costado del volcán. Cuando ocurre una erupción, el volcán también puede expulsar gases, cenizas, lava y rocas. La lava expulsada no tiene una temperatura fija. De hecho, la temperatura de la lava puede oscilar entre 650 °C y 1600 °C, la variación depende de los minerales derretidos en la lava (Andrei, 2023).

E. Industria minera

La industria minera explota y extrae minerales que son procesados para obtener productos derivados. Durante este último proceso es cuando son expuestos a altas temperaturas dentro de sus instalaciones que son detectadas tanto por los sensores VIIRS como los sensores a bordo de los satélites MODIS.

La detección de la fuente de calor depende del mineral extraído, así como el tamaño de sus instalaciones y el proceso al que es expuesto, por ejemplo, el cobre se envía a hornos de fundición alcanza los 1200 °C (Codelco Educa, s.f.). Dentro de los minerales que logran ser detectados usando el método propuesto anteriormente, se encuentran el carbonato de calcio, hierro, petróleo y gas natural. El primero experimenta altas temperaturas cuando se calcina a 1000 °C (Vaca, Pineda, & Checa, 2018) mientras que el

hierro enfrenta procesos de exposición a altas temperaturas que pueden alcanzar los 2000 °C (Gómez, s.f.) para su purificación y la posterior confección de aleaciones como el acero. Finalmente, el petróleo se trabaja a través de la destilación fraccionada dentro del rango de temperatura de 20 a 600 °C (Oiltanking, 2015) para obtener subproductos como el gas natural que también sufre de transformaciones térmicas, pero con temperaturas menores al rango máximo de la destilación fraccionada.

F. Forestal

La industria forestal es aquella encargada de velar por el procesamiento de la madera, pasando por la tala o corte de la madera, poda, transporte, descortezado, tronzado, secado y cepillado. El proceso de secado que busca eliminar la humedad propia de la madera es la fuente emisora de calor perceptible por los sensores. Sin embargo, el hecho de ser detectado depende del tipo de secado que emplee el establecimiento, destacando métodos de secado al aire libre, a baja temperatura y artificiales. La última metodología utiliza cámaras de secado, en las que se introduce la madera y se exponen a altas temperaturas que pueden sobrepasar los 100 °C (Maderea, 2022), este tipo de secado artificial es comúnmente utilizado para el pino radiata, la cual corresponde a la principal fuente de madera utilizada en la industria forestal chilena (INFOR, s.f.). Tal como se menciona al abordar las plantas de bioenergía, la industria forestal suministra de combustible para generar energía eléctrica, por lo que en ocasiones existan centrales de bioenergía contiguas a empresas forestales.

3.3 Catastro de puntos de calor frecuentes

Luego de identificar las fuentes de calor recurrentes detectadas por los sensores de FIRMS, es necesario definir el formato de las capas vectoriales que conformarán el catastro, debido a que las capas descargadas corresponden a puntos y a la naturaleza propia de la forma de cada fuente emisora. En primer lugar, se recreó el mismo proceso de la sección 3.3 para identificar fuentes de calor, pero se designó un nuevo período de estudio que abarca desde el 01 de enero al 15 de septiembre de 2023.

3.3.1 Volcanes activos

Al realizar el conteo de puntos de calor dentro de la capa de volcanes se identificó actividad únicamente en los volcanes Villarrica y Láscar. El primero cuenta con puntos de calor durante todo el período en estudio, mientras que el volcán Láscar únicamente lo

hace para el mes de enero.

Por otro lado, dada la forma de montaña que presentan, es posible utilizar la forma circular de los buffers para generar el polígono que detectará los puntos de calor que se generen producto del volcán. Sin embargo, es necesario definir un radio mayor para la figura, puesto que tiene que ser lo suficientemente grande para poder encerrar a los puntos y no superponerse sobre la vegetación y edificaciones que rodeen al volcán. De los dos volcanes detectados, el Villarrica cuenta con los puntos más alejados del punto vectorial localizado en el centro del cráter, encontrándose a aproximadamente a 1,577 kilómetros del vector, es por ello por lo que se emplean círculos con radio de 1,6 km.

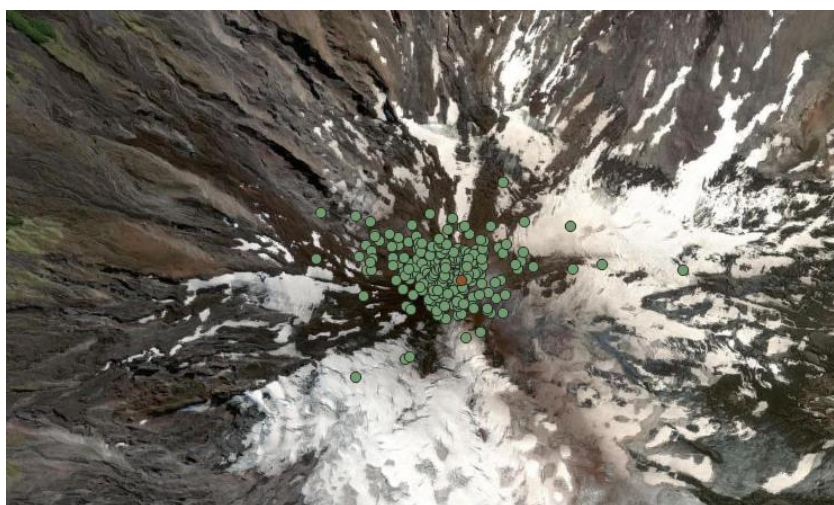


Figura 3.17 – Puntos de calor detectados por los sensores de FIRMS en el Volcán Villarrica desde el 01 de enero al 15 de septiembre de 2023.
Fuente: Elaboración propia.

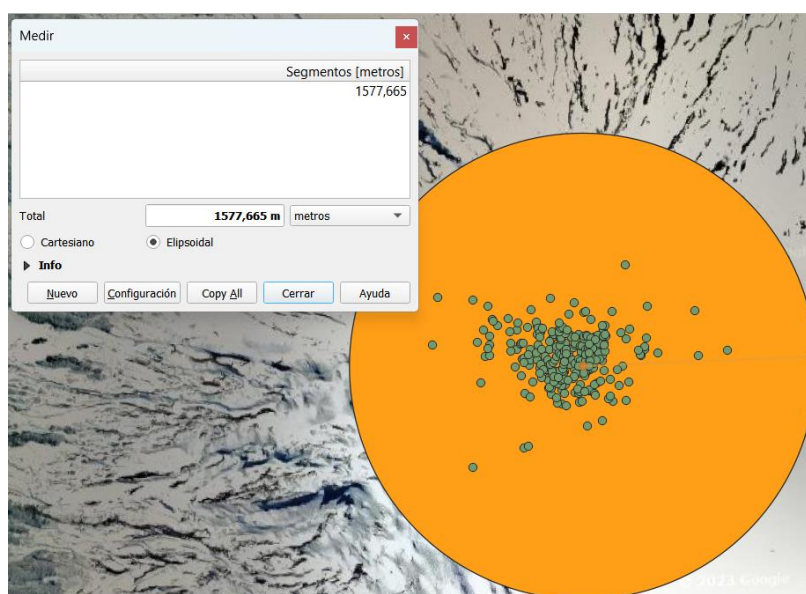


Figura 3.18 – Puntos de calor detectados por FIRMS en el Volcán Villarrica entre el 01 de enero y el 15 de septiembre de 2023 dentro del buffer de 1,6 km de radio.
Fuente: Elaboración propia.

3.3.2 Centrales de Generación de Energía, Instalaciones Mineras y Forestales

De manera similar a lo acontecido con la capa vectorial de volcanes activos, para las capas de fuentes de energía solar, termoeléctrica, bioenergía, instalaciones mineras y forestales, se evidenció que las capas descargadas son únicamente puntos localizados dentro de las instalaciones. Utilizando la metodología para detectar fuentes de calor, se observa que al generar buffers con radio de 600 metros no es eficiente, puesto que, en ocasiones, no cuentan con el tamaño suficiente para poder encerrar a las instalaciones (ver Figura 3.16 con el ejemplo del Parque Fotovoltaico Domeyko).

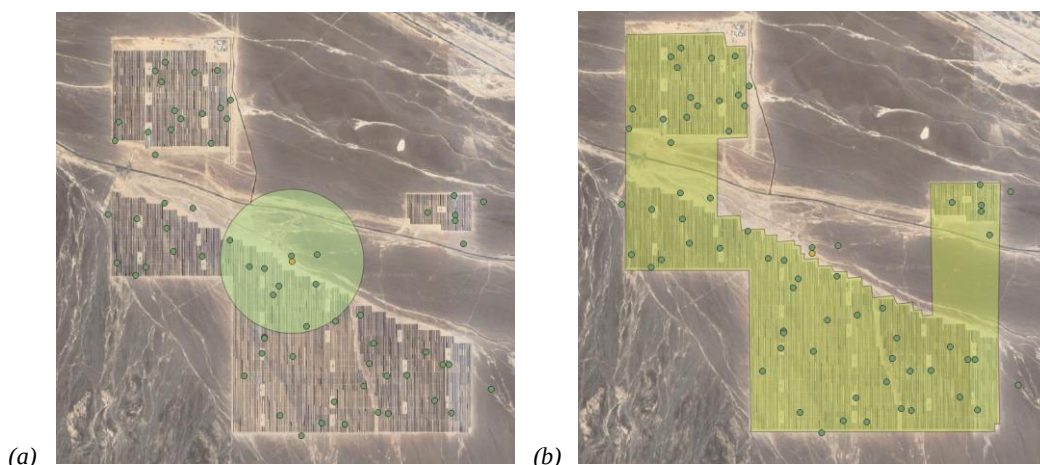


Figura 3.19 – Capa vectorial del Parque Fotovoltaico Domeyko utilizando (a) el método de buffer de 600 m y (b) el método de digitalización.

Fuente: Elaboración propia.

A raíz de lo anterior, se opta por digitalizar manualmente las plantas solares, termoeléctricas e instalaciones mineras con puntos de calor (tal como se observa en la imagen para el ejemplo anterior), en otras palabras, crear una nueva capa y dibujar manualmente cada uno de los vértices de la figura que describe la forma de la fuente emisora de calor. Sin embargo, la capa resultante no siempre logra encerrar todos los puntos, por ello se genera un buffer que rodee la capa a una distancia de 375 metros, equivalente a la resolución espacial de los sensores VIIRS. La creación de esta capa conlleva una nueva problemática, el buffer se superpone a los terrenos que rodean la instalación que emite calor, los cuales pueden ser terreno desértico, urbano o vegetación, entre otros.

Para poder dar respuesta, es necesario generar dos capas una para los buffers que se superponen sobre vegetación y otra para los restantes, la primera lleva por nombre “Alerta” y permite que los puntos que se encuentren dentro se informen como alerta, dado que no se pudo afirmar con certeza si es producto de la fuente, una quema controlada o un incendio forestal y el analista deberá determinar de qué se trata. Por otro lado, el segundo grupo lleva por nombre “Normal” y los puntos que se encuentren en la capa del

buffer serán eliminados, ya que se puede afirmar que es producto de la fuente emisora.



Figura 3.20 – Capas vectoriales (a) “Normal” para el Parque Fotovoltaico Domeyko (a) y (b) “Alerta” para el Parque Doña Carmen Solar.
Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, usando el método propuesto en la memoria se detectaron fuentes calóricas cuyas capas no estaban incluidas en la información entregada por fuentes de información proporcionadas por el Estado chileno, dado que no existen capas de empresas siderúrgicas y refinerías de petróleo, por lo que se incorporaron empresas como Siderúrgica Huachipato y Aza Colina, así como las refinerías de la Empresa Nacional del Petróleo (ENAP) localizadas en Concón y Hualpén. Adicionalmente, en la capa de plantas solares se incluyeron instalaciones que no estaban en la capa original del IDE Energía, probablemente porque entraron en operación o fueron reportadas posteriormente a su última actualización (31 de enero de 2022), por lo que debe actualizarse el catastro al menos una vez al año.

3.3.3 Quemas Controladas

La quema controlada es la acción de usar el fuego para eliminar vegetación en forma dirigida, circunscrita o limitada a un área previamente determinada, conforme a normas preestablecidas para mantener el fuego bajo control. En Chile, la vegetación autorizada para esta actividad está especificada en el Decreto Supremo 276/1980 (CONAF, 2021).

Para poder informar a la CONAF sobre la intención de realizar una quema controlada es necesario asistir a una Oficina Receptora de quemas e inscribir el predio donde se llevará a cabo la quema. Para el trámite (Anexo C) se requiere presentar la documentación que acredite que la persona tiene dominio sobre el terreno, además de la información que identifique su propiedad es decir rol del predio, nombre y ubicación. En cuanto a este último punto, CONAF trabaja con el siguiente sistema de referencia de coordenadas UTM

Huso 19S entre las Regiones de Arica y Parinacota hasta Maule y del Bío-Bío hasta Magallanes con UTM Huso 18S, ambas en WGS 84 (CONAF, 2021).

Posterior a la inscripción, en la oficina receptora se notifican los días y horarios hábiles disponibles para realizar la quema y las fechas de suspensión del uso de fuego informadas en el calendario anual de quemas agrícolas y forestales. Finalmente, se hace entrega del comprobante de aviso (Anexo D), donde se acuerdan los días y horarios para quemar e indican las medidas necesarias para el antes y durante el proceso. Además, siempre se debe estar alerta a CONAF, en caso de que se informe la suspensión de las quemas a través de cualquier medio de comunicación.

Administrativamente, el funcionario que emite el comprobante debe registrarlo en el Sistema de Asistencia a Quemadas (SAQ), software de acceso restringido a través del cual CONAF administra las solicitudes. Dentro del SAQ cada oficina regional informa a la oficina central (CENCO) sus avisos de quemadas, cuyas actualizaciones se realizan diaria o semanalmente dependiendo de la región.

Dentro del Sistema de Asistencia a Quemadas existe la opción de solicitar los “Avisos de quema por ejecutarse (en línea)” para requerir los avisos a nivel regional o nacional, añadiendo como requisitos fechas de duración del aviso o de inscripción. El resultado consiste en un Excel como se aprecia en la Figura 3.18.

CONAF
Ministerio de Agricultura
Gobierno de Chile
Pobertín
ALTO...
Tercera Previsión

SISTEMA DE ASISTENCIA A QUEMADAS

Menú

portada retorno salir

Lunes, 25 de Diciembre de 2023

Sebastián Andrés Poblete Silva - Ejecutivo Externo
Oficina Central
REGION METROPOLITANA DE SANTIAGO

Avisos de quema por ejecutarse (en línea)

Seleccione

Región: DE TARAPACA
Provincia: IQUIQUE
Comuna: ALTO HOSPIICIO

Condición

Nivel: Nacional
Tipo de oficina: Todas
Fecha Quema desde: dd-mm-aaaa hasta dd-mm-aaaa
Fecha Ingreso desde: dd-mm-aaaa hasta dd-mm-aaaa
filas: 5000

Cancelar Continuar

consulta.oirs@conaf.cl

Figura 3.21 – Opción para solicitar “Avisos de quema por ejecutarse (en línea)” en el Sistema de Asistencia a Quemadas.
Fuente: Elaboración propia.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
1	Avisos de quema por ejecutarse (en línea)																	
2	RESUMEN																	
3	Tipo																	
4	Nivel																	
5	Tipo de Oficina																	
6	Fecha de la quema desde Lunes, 11 de Diciembre de 2023																	
7	Fecha de la quema hasta Lunes, 11 de Diciembre de 2023																	
8																		
9	Número Aviso	Oficina	Tipo de aviso	Fecha Ingreso	Provincia	Comuna	Rol	Predio	Ubicación	X	Y	Superficie (ha)	Coordenadas	Calificación de Riesgo	Inicio	Termino	Periodo	
10	53/10-102002/23	Oficina Municipalidad Puqueldon	Aviso de Quema	2023-11-20 10:36:58	CHIOE	PUQUELDON	129-87	SIN NOMBRE	LIUCURA	613039	5E+06	0,50	Agrícola	Baja	21-11-2023	14-12-2023	09:00 18:00	
11	52/10-102002/23	Oficina Municipalidad Puqueldon	Aviso de Quema	2023-11-17 11:08:16	CHIOE	PUQUELDON	138-24	SIN NOMBRE	LINCAY	610783	5E+06	0,50	Agrícola	Baja	18-11-2023	14-12-2023	09:00 18:00	
12	54/10-131001/23	RECEPTORA VIVERO BUIN	Aviso de Quema	2023-12-07 12:08:07	MAIPO	BUIN	651-26	UNO PONIENTE PC 27E	Uno Poniente Linderos PC 27E	338137	6E+06	0,01	Agrícola	Baja	11-12-2023	13-12-2023	20:00 08:00	
13	7/10-132003/23	RECEPTORA SAN JOSE DE MAIPO	Aviso de Quema	2023-12-07 10:18:16	CORDILLERA	SAN JOSE DE MAIPO	00110-00032	SUC. CONTADOR FLORES ALVARO	LA FINCA	376426	6E+06	0,36	Agrícola	Baja	11-12-2023	13-12-2023	20:00 08:00	
14	56/10-102002/23	Oficina Municipalidad Puqueldon	Aviso de Quema	2023-11-24 09:42:26	CHIOE	PUQUELDON	140-10	SIN NOMBRE	LINCAY	610337	5E+06	0,50	Agrícola	Baja	25-11-2023	14-12-2023	09:00 18:00	
15	61/10-132004/23	RECEPTORA	Aviso de Quema	2023-12-07 12:13:14	CORDILLERA	PIRQUE	19-1	PARCELA LAS BANDURRIAS	EL HUINGAN	356761	6E+06	0,50	Agrícola	Baja	11-12-2023	12-12-2023	20:00 08:00	
16	54/10-151001/23	Oficina Regional Arica y Parnacota	Aviso de Quema	2023-12-07 09:39:16	ARICA	ARICA	3400-45	Olivos de Weguelin	Valle de Azapa Km.5	382169	8E+06	0,20	Agrícola	Baja	11-12-2023	15-12-2023	07:00 14:00	
17	55/10-102002/23	Oficina Municipalidad Puqueldon	Aviso de Quema	2023-11-23 11:25:42	CHIOE	PUQUELDON	E/T	SIN NOMBRE	ICHUAC	606463	5E+06	0,50	Agrícola	Baja	24-11-2023	14-12-2023	09:00 18:00	
18	29/10-132005/23	RECEPTORA CALERA DE TANGO	Aviso de Quema	2023-12-07 11:24:57	MAIPO	CALERA DE TANGO	22-156	PARCELA 25	SANTA GABRIELA	336708	6E+06	0,50	Agrícola	Baja	11-12-2023	13-12-2023	20:00 23:59	

Figura 3.22 –Extracto del Excel de “Avisos de quema por ejecutarse (en línea)” para el 11 de diciembre de 2023.
Fuente: Elaboración propia.

En el consolidado a nacional se evidencia que se informan las provincias y comunas donde se localiza el terreno; la duración de los avisos varía entre días a semanas; se indica la superficie en unidades de hectáreas; en las columnas de las coordenadas se combinan husos 18S y 19S y sólo se mencionan las coordenadas de un punto y no los vértices del terreno. Lo observado plantea una serie de dificultades para el desarrollo de la herramienta: el dinamismo de los avisos de quemas conlleva a buscar la manera de actualizar la información al menos diariamente, así como ver la forma de combinar la superficie de los predios y la coordenada reportada para desarrollo un polígono que pueda ser usado para discriminar puntos de calor y, finalmente, solucionar el problema de tener dos sistemas de referencia de coordenadas en una misma fuente de información.

Capítulo 4: Herramienta que diferencia focos de incendios

4.1 Diagrama de flujo de la herramienta

La herramienta que es creada para discriminar las fuentes de los puntos de calor se confecciona empleando el “Modelador gráfico” de QGIS, función que permite secuenciar procesos y unificarlos para solicitar sólo una vez las capas de entrada y se realicen transformen de manera secuenciada. A continuación, la Figura 4.1 muestra el diagrama de flujo de la herramienta creada.

Al abrir el modelo, la ventana solicita como entradas obligatorias el Excel con los avisos de quemas diarios de CONAF, las capas con el catastro de las fuentes de emisión “Normal” y “Alerta”, una capa vectorial con forma rectangular que cubre gran parte del Chile continental y los puntos de calor a analizar. Adicionalmente, la ventana solicita de manera opcional compilados con puntos de calor que se han identificados como avisos de quema, puntos con causas probables y desconocidas. Para evidenciar cómo funciona el proceso se usa el ejemplo de los puntos de calor y avisos de quemas controladas para el día 09 de diciembre de 2023, fecha en que sucede un incendio forestal en la localidad de Limache, Región de Valparaíso.

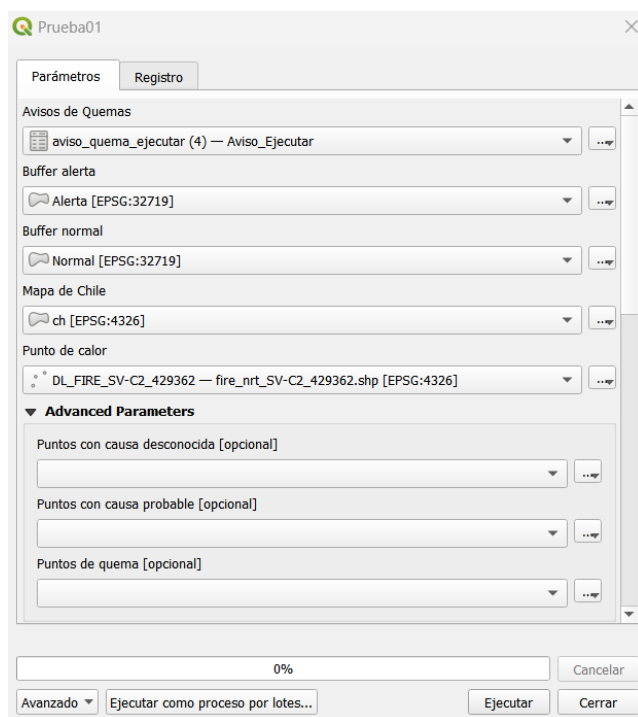


Figura 4.2 – Pantalla con las capas de entrada solicitadas para el proceso creado con el Modelador gráfico de QWIS para discriminar fuentes de puntos de calor.
Fuente: Elaboración propia

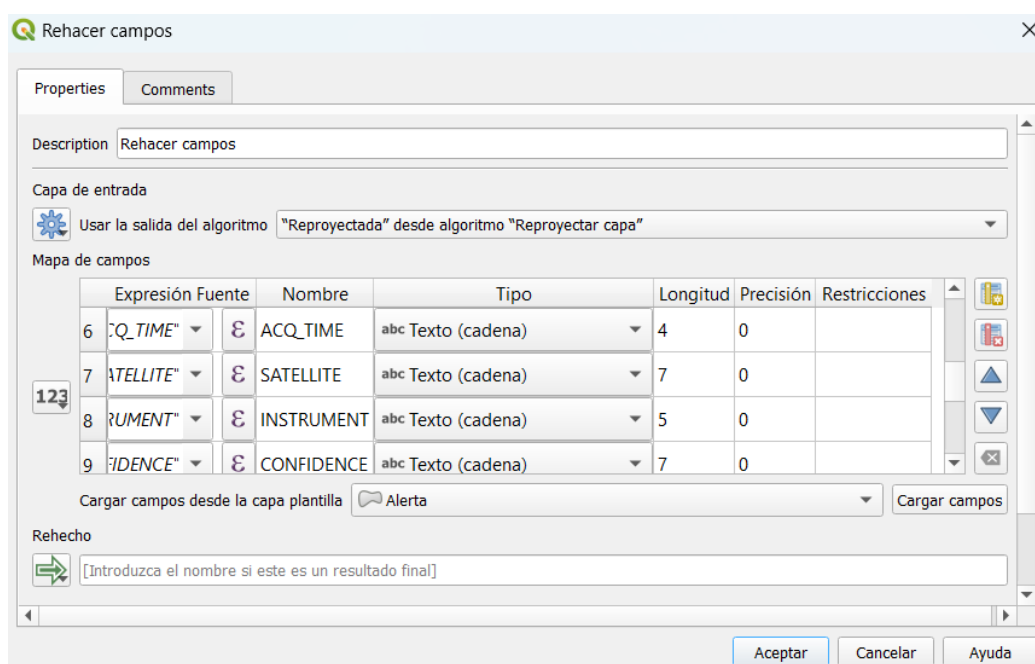
4.2 Correcciones de Sistema de Referencia y de Formato

El primer paso del modelo es reproyectar la capa con los puntos de calor que se ingresen, para adecuarlo al sistema de referencia de coordenadas utilizada en las capas con los catastros de las fuentes de calor (WGS 84/UTM huso 19S).



Figura 4.3 – Puntos de calor detectados en Chile por el sensor VIIRS a bordo del satélite SUOMI durante el 09 de diciembre de 2023.
Fuente: Elaboración propia

Después de la reproyección, los atributos “Satellite” y “Confidence” de la capa con los puntos de calor son modificados mediante la función “Rehacer campos”, a razón de que el largo admitido para sus respuestas varía dependiendo si la capa proviene de MODIS o VIIRS. Las capas procedentes del sensor MODIS contestan en “Satellite” con “Aqua” o “Terra”, mientras que las VIIRS lo hacen con “1” o “N”, por otro lado, en “Confidence” las capas MODIS responden con valores de 0 a 100 y VIIRS con la inicial de la clase de confianza a la que pertenece (“l”, “n” o “h”). El objetivo del proceso “Rehacer campos” es aumentar el límite máximo admitido para estos atributos a 7 caracteres para evitar errores posteriores en el modelo al combinar capas.



	Expresión Fuente	Nombre	Tipo	Longitud	Precisión	Restricciones
6	ACQ_TIME	ACQ_TIME	abc Texto (cadena)	4	0	
7	ATELLITE	SATELLITE	abc Texto (cadena)	7	0	
8	RUMENT	INSTRUMENT	abc Texto (cadena)	5	0	
9	IDENCE	CONFIDENCE	abc Texto (cadena)	7	0	

Figura 4.4 – Pantalla del proceso “Rehacer campos” que aumenta el número máximo de caracteres a 7 para los atributos “Satellite” y “Confidence” para las capas de puntos de calor provenientes de MODIS y VIIRS.
Fuente: Elaboración propia

4.3 Puntos de Calor con Fuente “Normal”

Posteriormente, el modelo aplica el proceso “Extraer por ubicación” solicitando aquellos puntos “inconexos” a la capa de fuentes “Normal”, en otras palabras, el proceso detecta los puntos de puntos de calor reproyectados que no se encuentren dentro de la capa, puesto que se asume que el punto que, si lo esté, es producido por la fuente emisora de calor.

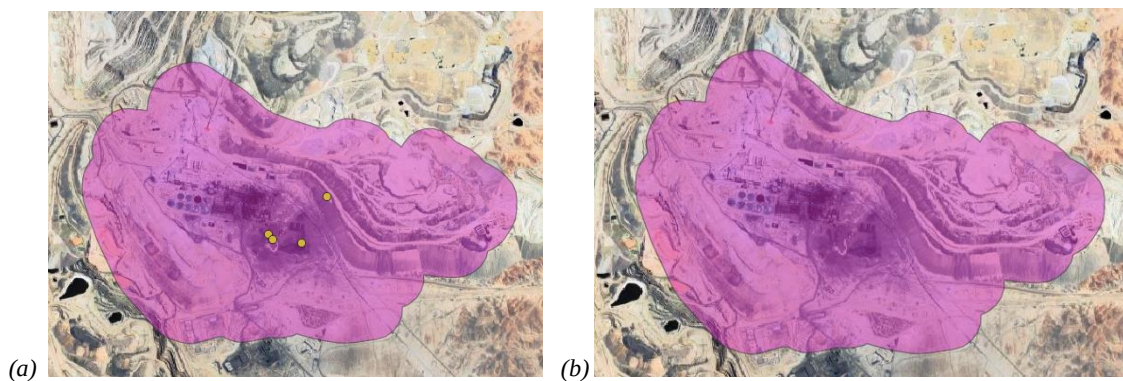


Figura 4.5 – Puntos de calor detectados en la Mina Chuquicamata por el sensor VIIRS a bordo del satélite SUOMI durante el 09 de diciembre de 2023, (a) posterior al proceso de reproyección y, (b) al proceso de extracción por ubicación con respecto a la capa “Normal”.

Fuente: Elaboración propia.

4.4 Puntos de Calor generados por Quemas Controladas

Luego, el modelo se encarga de la comparación de los avisos de quemas por ejecutarse con los puntos resultantes del proceso anterior. Para ello, la tabla con los avisos de quemas debe ser convertida en capas vectoriales de puntos a través del proceso “Crear capa de puntos a partir de tabla” seleccionando como “Campos X e Y” las filas J y K del Excel que corresponden a sus coordenadas. Sin embargo, tal como se indica en la sección 3.4.3, dentro de las coordenadas incorporadas en el documento se combina los sistemas de referencia WGS 84/UTM Huso 18S y 19S.

4.4.1 Corrección de Duplicidad de SRC

Para resolver el problema de los sistemas de referencia se generan dos capas con avisos, una en cada huso, lo que provoca que, al visualizar los avisos, algunos puntos se visualicen en el Océano Pacífico o en Argentina, dependiendo del SRC utilizado (ver Figura 4.7).

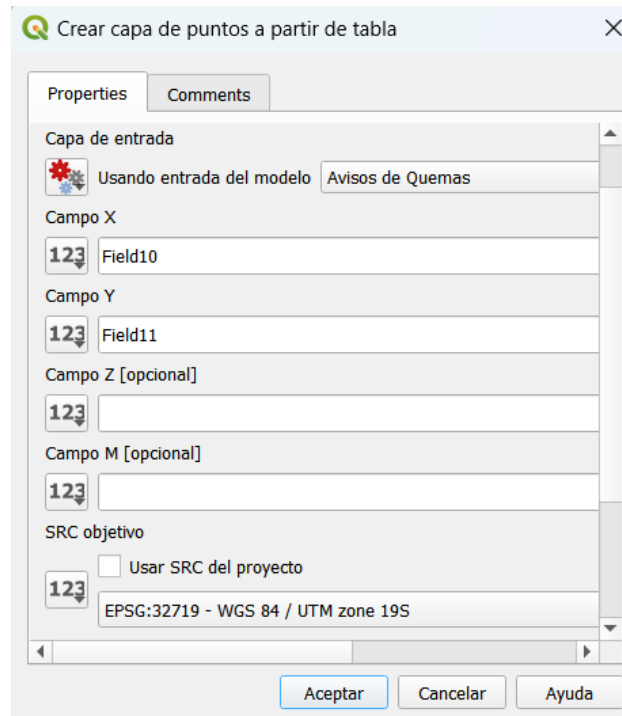


Figura 4.6 – Pantalla del proceso de “Crear capa de puntos a partir de tabla” para convertir los avisos de quemas por ejecutarse de CONAF en capas vectoriales.
Fuente: Elaboración propia.

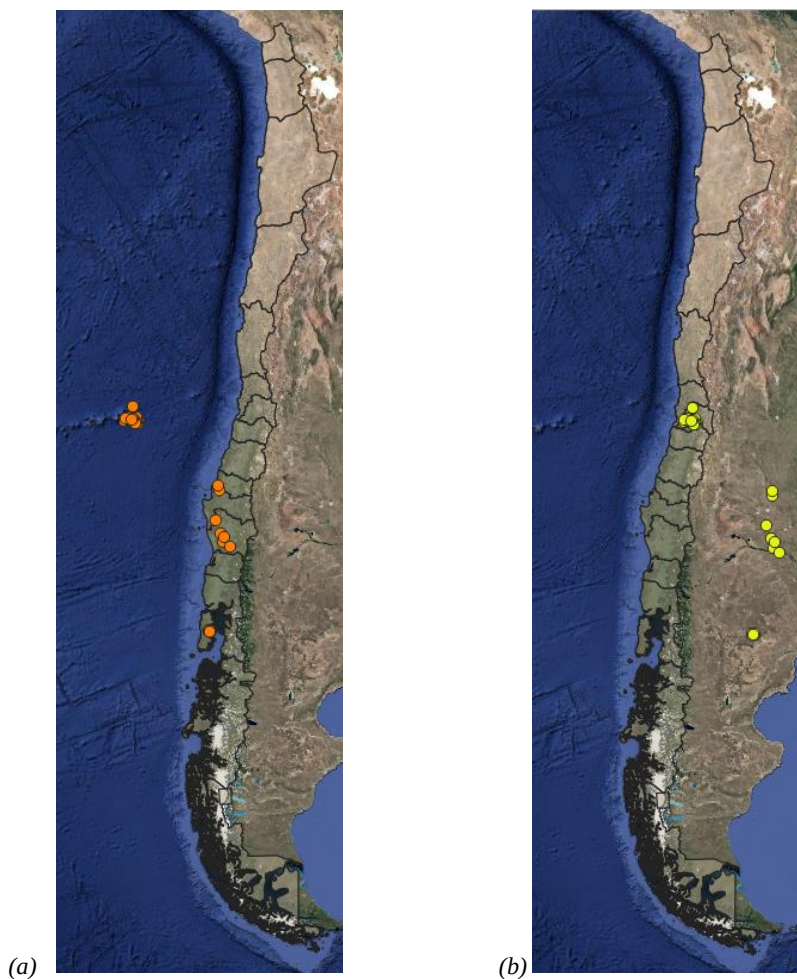


Figura 4.7 – Puntos de los Avisos de quemas por ejecutarse notificados por CONAF en los Sistemas de Referencia de Coordenadas (a) WGS 84/UTM Huso 18 Sur y (b) WGS 84/UTM Huso 19 Sur.
Fuente: Elaboración propia.

Para corregir este error, lo que se hace es crear una capa llamada en el modelo como “Mapa de Chile”, el cual consiste un rectángulo que cubre gran parte del territorio de Chile Continental para seleccionar los puntos que se encuentren dentro del país (ver Imagen X). Esta capa es reproyectada al UTM Huso 19S para aplicar “Extraer por ubicación” a los puntos que interceptan el rectángulo. Posteriormente, los puntos extraídos, tanto los que se encuentren en el Huso 18S como 19S, son reproyectados al sistema de referencia de WGS 84, este SRC permite combinar (unir) los puntos en una única capa y, finalmente, ser reproyectada a UTM Huso 19S.



*Figura 4.8 – Capa vectorial “Mapa de Chile” que cubre gran parte del territorio continental.
Fuente: Elaboración propia.*



*Figura 4.9 – Capa vectorial con los avisos de quemas por ejecutarse informados por CONAF para el 09 de diciembre en el Sistema de Referencia de Coordenadas WGS 84/UTM Huso 19 Sur.
Fuente: Elaboración propia.*

4.4.2 Área de Avisos de Quema Controlada

Sin embargo, estos puntos solo indican la ubicación del aviso de quema y no poseen un área que permita comparar si un punto de calor corresponde a un aviso de quema. Con este propósito, es que se busca generar un nuevo atributo que permita generar esta superficie. El primer proceso es transformar la fila L o Field 12 de la capa de puntos (Superficie) aplicando el proceso de “Rehacer campos” convirtiendo la fila en datos de tipo decimal. La razón es la naturaleza del tipo de dato presente en la tabla de CONAF, en otras palabras, sin realizar la función, la comparación al generar el nuevo atributo trabajaría celdas de texto con números decimales, ocasionando que QGIS tome la fila completa como datos de textos imposibilitando realizar operaciones matemáticas.

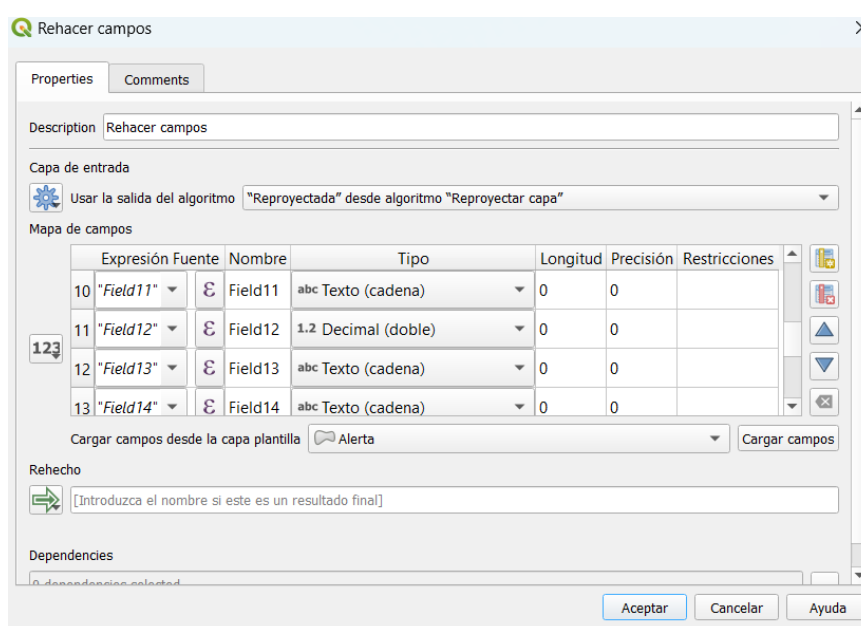


Figura 4.10 – Pantalla del proceso “Rehacer campo” para transformar el atributo “Superficie” del Tipo Texto a Número Decimal en la capa “Avisos de Quemados”.
Fuente: Elaboración propia.

A continuación, lo que se realiza es generar la nueva fila o campo usando el proceso “Calculadora de campos” mediante una expresión matemática que permita transformar el dato de superficie en el radio de una circunferencia. La elección del círculo como el área que representa los terrenos agrícolas provoca la dificultad de que estos no poseen formas de cuadriláteros y que el área de influencia pueda dejar fuera o incluir zonas que no son incorporadas dentro del terreno de la quema controlada.

$$A = \pi r^2 \quad (1)$$

Despejando r en la ecuación 1, se obtiene la siguiente expresión para el radio de una circunferencia:

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} \quad (2)$$

Anteriormente se señaló que el área informada por CONAF se encuentra en hectáreas, unidad que no pertenece al S.I., lo por lo que se emplea la equivalencia de $1 [ha] = 10000 [m^2]$, resultando la ecuación 2 en:

$$r = \sqrt{\frac{A*10000}{\pi}} \quad (3)$$

Al incorporar la ecuación 3 en la “Calculadora de campos” se obtienen los radios de la circunferencia en metros. Además, debido a la naturaleza del campo de superficie y el uso del número π , se indica en la ventana del proceso que el nuevo campo es un dato decimal sin indicar una cantidad máxima de caracteres, mejorando su precisión.

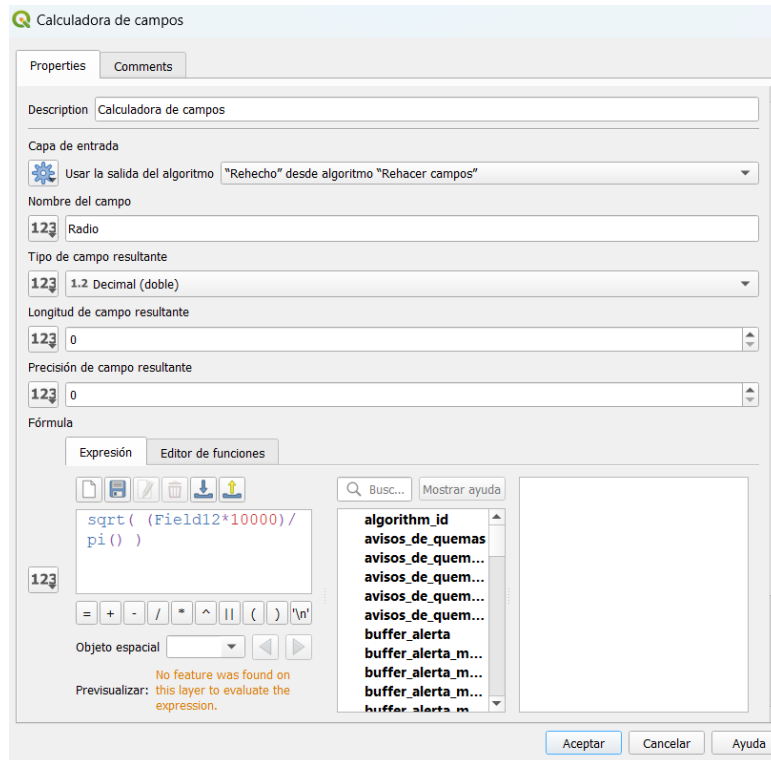


Figura 4.11 – Pantalla del proceso “Calculadora de campos” para crear el atributo “Radio” en la capa “Avisos de Quemados”.

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, lo que hace es emplear el proceso de “Buffer múltiple-anillos (distancia constante)”, el cual permite generar el área de interés circular alrededor del punto del aviso de quema, usando como radios el campo del proceso anterior. Es importante señalar que sólo se realizará un anillo y se le pide al proceso que el radio no sea un valor único, es decir, que sea el mismo radio para todos los puntos, sino que varíe según el punto analizado.

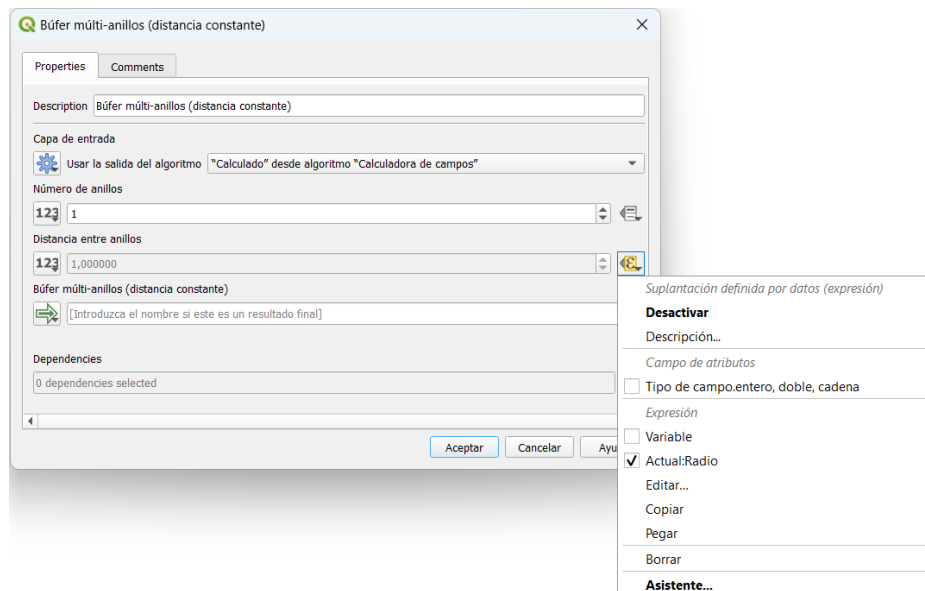


Figura 4.12 – Pantalla del proceso “Búfer multi-anillos (distancia constante)” para crear una capa con polígonos circulares que representen los terrenos donde se llevarán a cabo las Quemadas Controladas.
Fuente: Elaboración propia.



Figura 4.13 – Capa con las áreas de los terrenos donde se llevarán a cabo las quemadas controladas durante el 09 de diciembre de 2023.
Fuente: Elaboración propia.

4.4.3 Detección de Puntos de Quema

Las áreas resultantes se usan para verificar si las quemas controladas son las causantes de los puntos de calor restantes de la comparación con la capa vectorial “Normal”. A través del uso del proceso “Extracción por ubicación” se solicitan aquellos puntos que intercepten a los buffers creados, en caso de asistir al menos una coincidencia, la capa se unirá a la capa “Compilado de Quemas”, en la situación de que no se hubiera ingresado esta capa opcional, se generará una capa con este nombre que será entregada como una de las salidas finales del modelo.

4.5 Puntos de Calor con Fuente Probable

Sin embargo, en el caso de existir puntos de calor que no sean productos de quemas, se realiza una segunda “Extracción por ubicación”, pero seleccionado aquellos puntos que no interceptan a estas áreas. Estos puntos nuevamente pasan por el proceso de “Extracción por ubicación” usando como condición si intercepta la capa del catastro de “Alerta”, donde se incluyen aquellas fuentes rodeadas con vegetación que generan la duda de si el punto es producto de la fuente o no, la respuesta a la incógnita queda a criterio del observador. Al igual que con los avisos de quemas, en caso de existir algún punto de calor que cumpla la condición se combinará a la capa “Compilado Causas Probables”, en suceso de que no exista, se crea una capa como salida del modelo con este nombre.



*Figura 4.14 – Puntos de calor detectados por el sensor VIIRS a bordo del satélite SUOMI en la Fundación Chagres durante el 09 de diciembre de 2023 que forman parte del “Consolidado Causas Probable”.
Fuente: Elaboración propia.*

4.6 Puntos de Calor con Fuente Desconocida

Los puntos que no pertenecen al compilado anterior se obtienen con “Extracción por ubicación” solicitando aquellos puntos que no interceptan la capa “Alerta”. Estos se combinan a la capa “Compilado Causas Desconocidas” y tal como sucede con los compilados anteriores, en caso de no existir como entrada al modelo, se crea una capa homónima como salida.

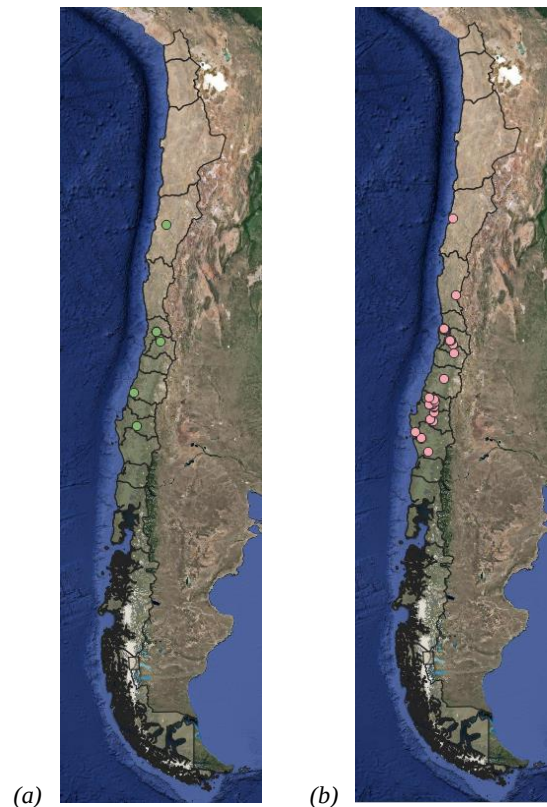


Figura 4.15 – Capas vectoriales con el (a) “Compilado Causas Probables” y (b) “Compilado Causa Desconocida” para los puntos de calor detectados por VIIRS a bordo del satélite SUOMI durante el 09 de diciembre de 2023.
Fuente: Elaboración propia.

4.7 Resultados

El modelo tarda segundos en ejecutarse, la capa con los puntos de calor detectados por el sensor VIIRS a bordo del satélite Suomi son 109. Mientras tanto, 13 corresponde a puntos con causa probable y 85 a causa desconocida, equivalentes al 11,93% y 77,98% del total, respectivamente. Sin embargo, estos datos pueden variar dado que algunas posibles fuentes emisoras, como plantas solares, no están incluidas en el catastro a raíz de que no forman parte del listado entregado por el Ministerio de Energía (ver Figura 3.31), ocasionando que se sobreestime la cantidad de puntos de calor con causa desconocida.

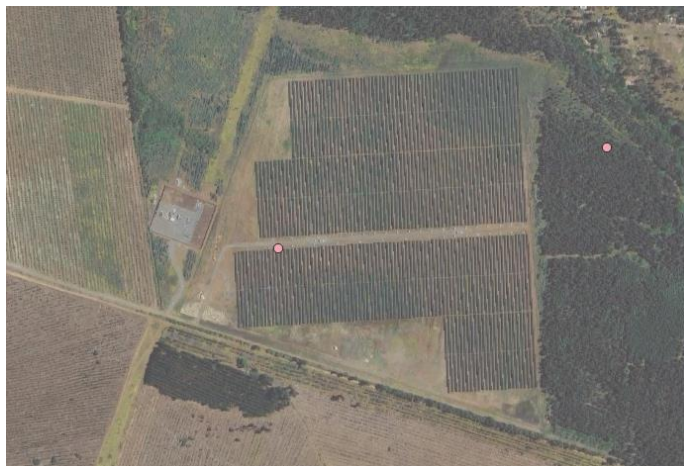


Figura 4.16 – Puntos de calor detectados el 09 de diciembre catalogados como “Puntos con causa desconocida” próximos a una planta solar cercana a localidad de Laguna Quilmo, Región del Biobío.
Fuente: Elaboración propia.

Para el análisis del día 09 de diciembre, es necesario volver a aplicar el modelo utilizando las capas con los puntos de calor de los otros sensores, agregando los compilados como las entradas del modelo. Al finalizar el proceso se generan nuevos consolidados que se agregan en el visualizador de capas sobre los compilados anteriores (Figura 3.34), esto genera un problema visual que puede conllevar a errores, por lo que se propone que cada vez que se ocupe el modelo deben eliminarse los consolidados usados como entradas y conservar los consolidados resultantes.

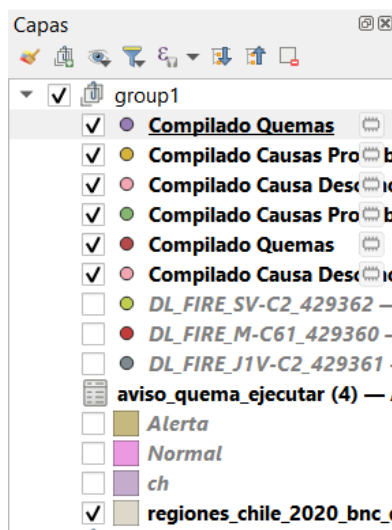


Figura 4.17 –Visualizador de capas de QWIS después de aplicar el modelo por segunda vez.
Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, los compilados de puntos con causa probable y desconocida cuentan con 23 y 155 puntos de calor, equivalentes a 11,17% y 75,24% de los 206 puntos de calor detectados en el día 09 de diciembre. Mientras tanto, ningún punto de calor se atribuye a quemas controladas, lo que puede deberse a que las quemas fueron suspendidas o no emiten el calor suficiente para ser detectadas.

De los puntos con causa desconocida se contabilizan que 48 corresponden al incendio forestal de Limache (Emol, 2023) y 49 al incendio forestal de María Pinto (ADN Radio, 2023), en conjunto suman más de la mitad de los puntos de calor con causa desconocida. Adicionalmente, llama la atención que se detecten puntos de calor en zonas urbanas y/o desérticas, quizás sea conveniente que la herramienta creada sea complementada con capas de usos de suelo para incorporar condiciones de ubicación al discriminar puntos de calor. Lo anterior, se suma al hecho que los catastros de fuentes de calor se deban actualizar debido a la ausencia de plantas de energía e instalaciones en la IDE Energía, lo que provoca que puntos de calor con causa probable se contabilicen como causa desconocida (Figura 3.31).

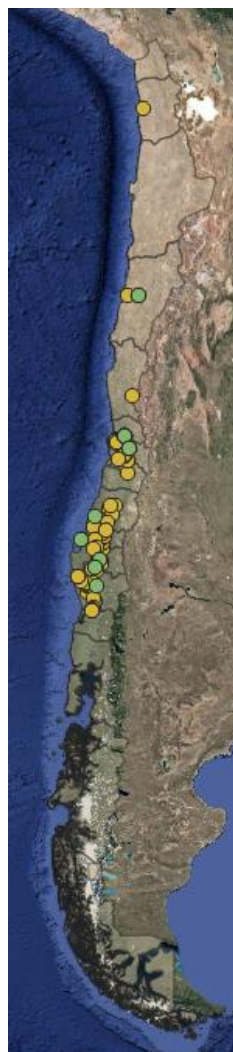


Figura 4.18 – Puntos de calor detectados por FIRMS en Chile durante el 09 de diciembre de 2023. En verde se encuentran los puntos con “Causa Probable”, mientras que en amarillo están los puntos con “Causa Desconocida”. Fuente: Elaboración propia.

Capítulo 5: Conclusiones y recomendaciones

Los incendios forestales en Chile han incrementado en los últimos años, ocasionando daños para el medioambiente y la sociedad. Según la Corporación Nacional Forestal (CONAF), durante el 2022 sucedieron 6947 incendios que consumieron 125335,08 hectáreas en Chile, equivalente al tercer período con el mayor número de incendios y hectáreas consumidas de la década.

La CONAF es la entidad encargada de tomar medidas preventivas y de respuesta ante incendios, por ello el organismo busca disminuir su tiempo de detección, el primer paso para realizar la coordinación de recursos para el combate. Dentro de los métodos de detección con los que cuenta CONAF están las imágenes satelitales, que permiten acceder durante la noche a zonas remotas, pero se usa principalmente para el monitoreo y el posterior análisis, ya que depende del tiempo entre las pasadas del satélite por el mismo sector y la ausencia de nubes y humo.

A pesar de las dificultades anteriores, CONAF tiene acceso a herramientas online gratuitas que permiten detectar focos de incendios, como la Rama de Meteorología Regional y de Mesoescala (RAMMB) y el Sistema de Información sobre Incendios para la Gestión de Recursos (FIRMS). Para detección en RAMMB es necesario visualizar constantemente la herramienta para identificar un foco y extraer sus coordenadas. Mientras que, FIRMS entrega información detallada en productos con coordenadas, fecha y hora, etc. Además, es enviada por correo electrónico, pero con un desfase de 6 horas. Resalta dentro de su gama de productos, el formato Shapefile, compatible con el software QWIS y facultado para ser analizado visualmente y mediante procesos, característica necesaria para confeccionar una nueva herramienta que discrimine puntos de calor y disminuya el tiempo que dedique el analista en identificarlos.

La condición propuesta para diferenciar puntos de calor es su fuente emisora, que se determinó al generar una base de datos con los puntos de calor detectados entre el 01 de enero al 15 de septiembre de 2023. Además, se descargaron capas vectoriales con posibles fuentes emisoras de calor desde las páginas web de la Infraestructura de Datos Geoespaciales de Chile (IDE Chile), Sernageomin e IDE Energía. Todas las capas son reproyectadas para trabajar en un sistema de referencia de coordenadas único (UTM Huso 19 Sur, usualmente empleado a nivel nacional) y a las capas candidatas se les creó un área de influencia circular de 600 m de radio (intermedia entre los píxeles de 375 m de VIIRS y 1 km de MODIS, sensores usados por FIRMS). Esta superficie verificó si algún punto de calor se superpone a la capa de la posible fuente, resultando como fuentes emisoras de

puntos de calor: volcanes activos, plantas de energía solar, termoeléctricas, bioenergía, instalaciones de la industria forestal y mineras de gran tamaño que trabajan cobre, carbonato de calcio, hierro, petróleo y gas natural.

Las fuentes se recopilaron en un catastro de capas vectoriales con polígonos: los volcanes mantuvieron su forma circular, pero su radio aumentó a 1,6 km considerando que el punto más alejado al Volcán Villarrica está a 1,577 km. El resto de las fuentes fueron dibujadas manualmente ya que el área circular tiende a subestimar algunas instalaciones, adicionalmente se les generó un área de influencia de 375 metros, equivalente al área del píxel de las imágenes de VIIRS. El catastro se dividió en dos grupos: el primero denominado “Alerta” asociado a fuentes rodeadas de vegetación y que deja la incógnita si el punto se debe a esa instalación o un incendio en el terreno circundante. En contraste, la capa “Normal” corresponde a edificaciones en zonas desérticas y que se puede asegurar que el punto se debe a la fuente.

La herramienta fue confeccionada con el modelador gráfico de QGIS, generando una secuencia de procesos que sufre un grupo de capas de entrada: Puntos de Calor, Fuentes “Normal” y “Alerta”, Avisos de Quemas y Recuadro de Chile Continental. Los avisos de quemas se presentan como una tabla dentro de un Excel, el cual son transformados en puntos, posteriormente llevados al sistema de coordenadas UTM Huso 19S (dado que la tabla combina dos sistemas de coordenadas), y transformados en áreas circulares usando la superficie dentro de la tabla. La herramienta corrobora si el punto se superpone sobre alguna fuente de calor, si está sobre la capa “Normal” los puntos se eliminan, si lo hace en una quema se presenta en el “Compilado Quemas”, en el caso de “Alerta” se presenta como “Compilado Causas Probable” y, en el caso de no pertenecer a ninguna se denomina “Compilado Causa Desconocida”.

A continuación, se realizó una prueba con los puntos de calor del 09 de diciembre de 2023, el proceso demora aproximadamente segundos versus el minuto que tarda el analista manualmente. Los resultados son 23 y 155 puntos de calor con causa probable y desconocida, respectivamente, equivalentes a 11,17% y 75,24% de los 206 puntos detectados. Este último dato está sobredimensionado producto que la información extraída desde organismos gubernamentales es incompleta y necesita ser actualizada al menos una vez al año, por lo que algunas causas desconocidas son realmente probables. Además, ciertos puntos desconocidos aparecen en zonas urbanas y desérticas, de manera que sería conveniente incluir la condición del uso de suelo en la que se localice el punto. Por otro lado, ningún punto de calor corresponde a quemas controladas, lo que puede deberse a que fueron suspendidas o no emiten calor suficiente.

Finalmente, durante el desarrollo de esta memoria se evidenciaron algunas dificultades y suposiciones que pueden conllevar problemas en la precisión de la herramienta creada: capas incompletas o inexistentes de las fuentes como industrias siderúrgicas y refinerías de petróleo; el hecho que las capas de la IDE no cuentan con un sistema de referencias de coordenadas único, lo que obliga a reproyectarlas para adecuarlas a un sistema y perder metros de precisión; los terrenos de las quemas se representaron como áreas circulares debido a la dificultad de generar rectángulos, lo que puede incluir y/o dejar fuera parte del terreno y; que al utilizar el modelo incorporando consolidados previos como el “Compilados Causa Probable” se generan nuevos compilados con el mismo nombre sobre el anterior, esto tiende a confundir y producir errores, por lo que es conveniente ir eliminando consolidados previos para reducir la cantidad de estos.

Bibliografía y fuentes de información

- ADN Radio. (09 de Diciembre de 2023). *Incendio forestal en María Pinto: brigadistas mantienen labores de emergencia por cuarto día consecutivo*. Obtenido de <https://www.adnradio.cl/2023/12/09/incendio-forestal-en-maria-pinto-brigadistas-mantienen-labores-de-emergencia-por-cuarto-dia-consecutivo/>
- Aguirre, M. A. (2012). *Introduction to Space Systems: Design and Synthesis* (Vol. 27). Springer.
- Andrei, M. (30 de Abril de 2023). *How hot is lava, according to experts*. (Z. Gordon, Editor, & ZME Science) Obtenido de <https://www.zmescience.com/feature-post/natural-sciences/geology-and-paleontology/planet-earth/how-hot-is-lava/>
- Argentina.gob.ar. (s.f.). *Volcanes*. Obtenido de <https://www.argentina.gob.ar/inpres/docentes-y-alumnos/volcanes>
- Bakker, W. H., Feringa, W., Gieske, A. S., Gorte, B. G., Grabmaier, K. A., Hecker, C. A., . . . Woldai, T. (2009). *Principles of Remote Sensing - An introductory textbook* (Cuarta ed.). (K. Tempfli, N. Kerle, G. C. Huurneman, & L. L. Janssen, Edits.) Enschede, The Netherlands: International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation (ITC). Recuperado el 09 de Julio de 2023, de https://webapps.itc.utwente.nl/librarywww/papers_2009/general/principlesremotesensing.pdf
- Beck, R. (15 de Julio de 2003). *EO-1 User Guide v. 2.3*. Recuperado el 17 de Julio de 2023, de <https://d9-wret.s3.us-west-2.amazonaws.com/assets/palladium/production/s3fs-public/atoms/files/EO1userguidev2pt320030715UC.pdf>
- Campbell, J. B., & Wynne, R. H. (2011). *Introduction to Remote Sensing* (Quinta ed.). New York, NY, United States of America: The Guilford Press. Recuperado el 09 de Julio de 2023, de https://istncrg.files.wordpress.com/2019/09/introduction_to_remote_sensing_www.gisman.ir_.pdf
- CCRM. (s.f.). *Fundamentals of Remote Sensing. Canada Centre for Remote Sensing - Natural*. Recuperado el 17 de Julio de 2023, de https://natural-resources.canada.ca/sites/nrcan/files/earthsciences/pdf/resource/tutor/fundam/pdf/fundamentals_e.pdf
- Chuvieco. (2010). *Teledetección Ambiental: La observación de la Tierra desde el espacio* (Tercera ed.). Barcelona, España: Editorial Ariel.
- Chuvieco, E. (1995). *Fundamentos de Teledetección Espacial* (Segunda ed.). Madrid: Ediciones Rialp, S.A. Recuperado el 27 de Mayo de 2023, de <http://cursosihlla.bdh.org.ar/Sist.%20Cart.%20y%20Teledet./Bibliografia/FUNDAMENTO S-DE-TELEDETECCION-EMILIO-CHUVIECO.pdf>
- Codelco Educa. (s.f.). *Proceso de fundición del cobre*. Obtenido de <https://www.codelcoeduca.cl/codelcoeduca/site/edic/base/port/fundicion.html>
- CONAF. (Septiembre de 2015). *Manual para el Usuario del Sistema de Asistencia a Quemas en Línea*. Obtenido de https://avisoenlinea.conaf.cl/documentos/Manual_Conaf_Aviso_en_linea_final_sep_2015.pdf
- CONAF. (31 de Julio de 2018). *Departamento de Prevención de Incendios Forestales*. Recuperado el 07 de Julio de 2023, de Presentación de Power Point - CONAF: <https://www.conaf.cl/wp-content/uploads/2015/12/Presentacion-Prevencion-Incendios-Forestales.pdf>
- CONAF. (Junio de 2021). *Botón Rojo*. Recuperado el 07 de Julio de 2023, de Boletín Informativo Geprif, CONAF: https://www.conaf.cl/wp-content/uploads/2021/06/Boletin_Geprif-Boton-rojo_JUNIO-2021.pdf
- CONAF. (Septiembre de 2021). *Información de Quemas Controladas Zona Sur*. Obtenido de https://saq.conaf.cl/documentos/02_CONAF_SUR_sept2021.pdf
- CONAF. (Septiembre de 2022). *Estadísticas - Causas según Ocurrencia de Incendios Forestales 1987 -2022*. Recuperado el 30 de Abril de 2023, de <https://www.conaf.cl/incendios-forestales/incendios-forestales-en-chile/estadisticas-historicas/>
- CONAF. (Diciembre de 2022). *Estadísticas - Resumen Nacional Ocurrencia (Número) y Daño (Superficie Afectada) por Incendios Forestales 1964 - 2022*. Recuperado el 30 de Abril de 2023, de <https://www.conaf.cl/incendios-forestales/incendios-forestales-en-chile/estadisticas-historicas/>

- CONAF. (2022). *Memoria Corporación Nacional Forestal 2018-2022*. Recuperado el 01 de Mayo de 2023, de https://www.conaf.cl/cms/editorweb/institucional/Memoria-CONAF_2018-2022.pdf
- CONAF. (s.f.). *Despacho y coordinación de recursos*. Recuperado el 08 de Julio de 2023, de <https://www.conaf.cl/incendios-forestales/combate-de-incendios-forestales/despacho-y-coordinacion-de-recursos/>
- CONAF. (s.f.). *Detección de incendios forestales*. Recuperado el 08 de Julio de 2023, de <https://www.conaf.cl/incendios-forestales/combate-de-incendios-forestales/deteccion-de-incendios-forestales/>
- CONAF. (s.f.). *Organigrama CONAF*. Recuperado el 17 de Julio de 2023, de <https://www.conaf.cl/cms/editorweb/transparencia/organigrama.html>
- CONAF. (s.f.). *Solicitud de Inscripción Predio para dar Aviso de Quemadas Controladas*. Obtenido de <https://saq.conaf.cl/documentos/inscripcionPredio.pdf>
- Cortes, J. (06 de Mayo de 2023). Reunión remota con Analista de Incendios Forestales, Sección Análisis y Predicción de CONAF. (S. Poblete, Entrevistador)
- CSI. (s.f.). *Energy: The Driver of Climate*. Recuperado el 17 de Julio de 2023, de <https://www.ces.fau.edu/nasa/module-2/radiation-sun.php>
- Dana, P. H. (07 de Septiembre de 1994). *UTM Zones*. Obtenido de https://foote.geography.uconn.edu/gcraft/notes/mapproj/mapproj_f.html
- de la Fuente, C. (2020). *Guía práctica para la publicación de Datos Espaciales*. Obtenido de https://datos.gob.es/sites/default/files/doc/file/guia_publicacion_datos_espaciales.pdf
- Diner, D. J., Asner, G. P., Davies, R., Knyazikhin, Y., Muller, J.-P., Nolin, A. W., . . . Stroeve, J. (1999). *New Directions in Earth Observing: Scientific Applications of Multiangle Remote Sensing* (Vol. 80). Bulletin of the American Meteorological Society. Recuperado el 18 de Julio de 2023
- Drewes, H., & Sánchez, L. (2011). *Curso en Sistemas de Referencias*. Santiago.
- Earthdata. (02 de Abril de 2021). *About FIRMS*. Obtenido de <https://www.earthdata.nasa.gov/learn/find-data/near-real-time/firms/about-firms>
- Earthdata. (03 de Mayo de 2021). *MCD14DL-NRT*. Obtenido de <https://www.earthdata.nasa.gov/learn/find-data/near-real-time/firms/mcd14dl-nrt>
- Earthdata. (07 de Julio de 2021). *VNP14IMGTDL_NRT*. Obtenido de <https://www.earthdata.nasa.gov/learn/find-data/near-real-time/firms/vnp14imgtdlnrt>
- Earthdata. (03 de Junio de 2022). *Worldview*. Obtenido de <https://www.earthdata.nasa.gov/worldview>
- Earthdata. (07 de Septiembre de 2023). *FIRMS Frequently Asked Questions*. Obtenido de <https://www.earthdata.nasa.gov/faq/firms-faq>
- EIA. (15 de Abril de 2022). *Solar thermal power plants*. Obtenido de <https://www.eia.gov/energyexplained/solar/solar-thermal-power-plants.php>
- Emol. (09 de Diciembre de 2023). *Senapred ordena evacuación para sector en Limache por incendio forestal: 20 viviendas han resultado quemadas*. Obtenido de <https://www.emol.com/noticias/Nacional/2023/12/09/1115273/incendios-forestales-limache-valparaiso-evacuacion.html>
- Endesa. (s.f.). *Central térmica convencional*. Obtenido de <https://www.fundacionendesa.org/es/educacion/endesa-educa/recursos/centrales-electricas-convencionales/central-termica-convencional>
- Endesa. (s.f.). *Central térmica de ciclo combinado*. Obtenido de <https://www.fundacionendesa.org/es/educacion/endesa-educa/recursos/centrales-electricas-convencionales/central-termica-convencional-ciclo-combinado>
- Engineering World. (s.f.). *Types of Renewable Energy | With Advantages and Disadvantages*. Obtenido de <https://www.engineeringworldchannel.com/renewable-energy-sources/>
- Estes, J., & Simonett, D. (1975). Fundamentals of image interpretations. En R. G. Reeves (Ed.), *Manual of Remote Sensing* (Primera ed., págs. 869-1076). Falls Church: American Society of Photogrammetry.
- FIRMS. (s.f.). *Fire Information for Resource Management System*. Obtenido de <https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/>
- GEO. (20 de Febrero de 2019). *GEO Initiative: Global Wildfire Information System (GWIS) Implementation Plan*. Obtenido de https://www.earthobservations.org/documents/gwp20_22/GWIS.pdf

- Giglio, L. (31 de Marzo de 2013). *MODIS Collection 5 Active Fire Product User's Guide*. Obtenido de https://www.earthdata.nasa.gov/s3fs-public/imported/MODIS_Fire_Users_Guide_2.5.pdf
- Giglio, L., Schroeder, W., Hall, J., & Justice, C. O. (Diciembre de 2018). *MODIS Collection 6 Active Fire Product User's Guide Revision B*. Obtenido de https://modis-fire.umd.edu/files/MODIS_C6_Fire_User_Guide_B.pdf
- GlenFarrow. (29 de Enero de 2024). *Biomass boiler temperature ranges: Everything you need to know*. Obtenido de <https://glenfarrow.co.uk/biomass-boiler-temperature-ranges/>
- GOES-R. (s.f.). *Mission Overview*. Obtenido de <https://www.goes-r.gov/mission/mission.html>
- Gómez, V. (s.f.). *Alto Horno: Obtención de Arrabio o Hierro de primera fusión*. Obtenido de http://www.frt.utn.edu.ar/tecnoweb/imagenes/file/mecanica/Alto%20Horno_%20Alumno.pdf
- GWIS. (s.f.). *GWIS - Welcome to GWIS*. Obtenido de <https://gwis.jrc.ec.europa.eu/>
- Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., & Wasle, E. (2008). *GNSS - Global Navigation Satellite Systems*. SpringerWienNewYork.
- ICDE. (2021). *Unidad 5 - Datos Geoespaciales*. Obtenido de https://www.icde.gov.co/sites/default/files/cursos/Unidad%205_0.pdf
- INFOR. (s.f.). *Resumen de Indicadores del Sector Forestal*. Obtenido de <https://wef.infor.cl/index.php/sector-forestal>
- Kansai Electric Power. (s.f.). *Outline of Thermal Power Generation*. Obtenido de https://www.kepc.co.jp/english/energy/fuel/thermal_power/shikumi/index.html
- LAADS DAAC. (s.f.). *Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS)*. Obtenido de <https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov/missions-and-measurements/viirs/>
- Levin, N. (1999). *Fundamentals of Remote Sensing*. (N. Levin, Ed.) Tel Aviv, Israel: GIS unit, the Society for the Protection of Nature in Israel. Recuperado el 09 de Julio de 2023, de <http://www.geoservis.ftn.uns.ac.rs/downloads/ISP/1999-fundamentals-of-remote-sensing.pdf>
- Lindstrom, S. (09 de Octubre de 2017). *GOES-16 Tools to Observe and Monitor Fires*. Obtenido de <https://cimss.ssec.wisc.edu/satellite-blog/archives/25676>
- López, D. M., & Torres, A. C. (s.f.). *Diplomado en Análisis de Información Geoespacial: ¿Cuáles son los componentes del dato espacial?* Obtenido de <https://centrogeo.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1012/181/1/08-%C2%BF%20Cu%C3%A1les%20son%20los%20Componentes%20del%20Dato%20Espacial%20-%20Diplomado%20en%20An%C3%A1lisis%20de%20Informaci%C3%B3n%20Geoespacial.pdf>
- LP DAAAC. (s.f.). *VIIRS Overview*. Obtenido de <https://lpdaac.usgs.gov/data/get-started-data/collection-overview/missions/s-npp-nasa-viirs-overview/>
- Maderea. (04 de Julio de 2022). *Métodos del secado de la madera*. Obtenido de <https://www.maderea.es/metodos-del-secado-de-la-madera/>
- Marsh, J. (15 de Julio de 2020). *How hot do solar panels get? Effect of temperature on solar performance*. (EnergySage) Obtenido de <https://news.energysage.com/solar-panel-temperature-overheating/>
- Meliá, J. (1991). *La teledetección en el seguimiento de los fenómenos naturales. Recursos naturales: Agricultura. Curso de postgrado*. Valencia: Universitat de València. Recuperado el 28 de Mayo de 2023, de https://books.google.cl/books?id=t8ZLSpM20m8C&pg=PA51&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
- MODIS. (s.f.). *About: MODIS*. Obtenido de <https://modis.gsfc.nasa.gov/about/>
- MODIS. (s.f.). *Specifications*. Obtenido de <https://modis.gsfc.nasa.gov/about/specifications.php>
- NASA. (Noviembre de 2019). *NASA Worldview*. Obtenido de https://d10a3v3te7tlzl.cloudfront.net/s3fs-public/imported/2019_Worldview_4Pager_RevNov2019.pdf
- NASA, & NOAA. (s.f.). *GOES-R Generador Avanzado de Imágenes Base (ABI)*. Obtenido de https://www.goes-r.gov/education/docs/ABI_Fact_Sheet_SPAN.pdf
- NOAA. (10 de Abril de 2023). *Electromagnetic waves*. Recuperado el 17 de Julio de 2023, de <https://www.noaa.gov/jetstream/satellites/electromagnetic-waves>
- NOAA. (s.f.). *Regional and Mesoscale Meteorology Branch (RAMMB)*. Obtenido de https://www.star.nesdis.noaa.gov/star/RMMB_index.php
- Oiltanking. (Diciembre de 2015). *El Proceso de Refinación de Petróleo*. Obtenido de

- <https://www.oiltanking.com/es/publicaciones/glosario/el-proceso-de-refinacion-de-petroleo.html>
- Para Topografía. (s.f.). *Geodesia*. Obtenido de <https://paratopografia.com/geodesia/>
- portaldelagro.cl. (11 de Septiembre de 2017). *Conaf crea nuevas unidades de análisis para frenar incendios forestales*. Recuperado el 07 de Julio de 2023, de <https://www.portaldelagro.cl/2017/09/11/conaf-crea-nuevas-unidades-de-analisis-para-frenar-incendios-forestales/>
- Presa Ansotegui, A. (s.f.). *Energía Termoeléctrica*. Obtenido de <https://www.aprean.com/energia-termoelectrica/>
- RAMMB. (2023). *Home: Regional and Mesoscale Meteorology Branch*. Obtenido de <https://rammb2.cira.colostate.edu/>
- Schroeder, W., & Giglio, L. (Julio de 2018). *Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS) 375 m & 750 m Active Fire Products: Product User's Guide Version 1.4*. Obtenido de https://viirsland.gsfc.nasa.gov/PDF/VIIRS_activefire_User_Guide.pdf
- SETO. (s.f.). *Solar-Thermal Power and Industrial Processes Basics*. Obtenido de <https://www.energy.gov/eere/solar/solar-thermal-power-and-industrial-processes-basics>
- Solar Energy Technologies Office. (s.f.). *Power Tower System Concentrating Solar-Thermal Power Basics*. Obtenido de <https://www.energy.gov/eere/solar/power-tower-system-concentrating-solar-thermal-power-basics>
- Struve, K. (s.f.). *Photovoltaics*. Obtenido de <https://www.seia.org/initiatives/photovoltaics>
- Taborda Ramírez, L. E. (2013). *Detección de emisiones generadas por incendios forestales y quema de residuos agrícolas a partir de la energía y la potencia radiativa del fuego*. Obtenido de <https://bibliotecadigital.usb.edu.co/server/api/core/bitstreams/c4412339-3bfa-49d1-9c05-10506ab93282/content>
- Tapia, G. (Junio de 2015). *Informe Técnico: "Conceptos Básicos de Georreferencias y su utilización en las labores de la Dirección General de Aguas"*. Obtenido de <https://snia.mop.gob.cl/sad/SIS5780.pdf>
- Tarrío, J. A., Aravena, S., & Silva, C. (2017). *Asesoría en Geodesia y Cartografía Aplicada a SIG*. Obtenido de <https://biblioteca.digital.gob.cl/bitstream/handle/123456789/1014/Informe%20final%20Desarrollo%20de%20un%20sistema%20que%20estandarice%20y%20transforme%20sistemas%20de%20referencia.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- UCSUSA. (1 de Enero de 2023). *UCS Satellite Database*. Recuperado el 17 de Julio de 2017, de https://www.ucsusa.org/resources/satellite-database#.Vr_MSPnhCUk
- Urzúa, N., & Cáceres, F. (2011). Incendios forestales: principales consecuencias económicas y ambientales en Chile. *Revista Interamericana de Ambiente y Turismo*, 7(1), 18-24. Recuperado el 30 de Abril de 2023, de https://handbook.usfx.bo/nueva/vicerrectorado/citas/ECONOMICAS_6/Ingenieria_Comercial/60.pdf
- USGS. (s.f.). *Landsat 8*. Recuperado el 18 de Julio de 2023, de <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-8>
- Vaca, V., Pineda, J. A., & Checa, A. (2018). *Producción de carbonato de calcio precipitado a partir de piedra caliza*. Obtenido de <https://www.cebaecuador.org/wp-content/uploads/2021/06/Biorrefineri%CC%81a-02-2019-VERSION-COMPLETA-85-91.pdf>

Anexos

A. Bandas MODIS

Tabla 1 – Longitudes de onda de las bandas del sensor MODIS.

Banda	Longitud de onda (nm)	Resolución (m)	Uso
1	620–670	250	Límites de tierra/nubes/aerosoles
2	841–876	250	Límites de tierra/nubes/aerosoles
3	459–479	500	Propiedades de la tierra/nubes/aerosoles
4	545–565	500	Propiedades de la tierra/nubes/aerosoles
5	1230–1250	500	Propiedades de la tierra/nubes/aerosoles
6	1628–1652	500	Propiedades de la tierra/nubes/aerosoles
7	2105–2155	500	Propiedades de la tierra/nubes/aerosoles
8	405–420	1000	Color del océano/fitoplancton/biogeoquímica
9	438–448	1000	Color del océano/fitoplancton/biogeoquímica
10	483–493	1000	Color del océano/fitoplancton/biogeoquímica
11	526–536	1000	Color del océano/fitoplancton/biogeoquímica
12	546–556	1000	Color del océano/fitoplancton/biogeoquímica
13	662–672	1000	Color del océano/fitoplancton/biogeoquímica
14	673–683	1000	Color del océano/fitoplancton/biogeoquímica
15	743–753	1000	Color del océano/fitoplancton/biogeoquímica
16	862–877	1000	Color del océano/fitoplancton/biogeoquímica
17	890–920	1000	Vapor de agua atmosférico
18	931–941	1000	Vapor de agua atmosférico
19	915–965	1000	Vapor de agua atmosférico
Banda	Longitud de onda (μm)	Resolución (m)	Uso
20	3.660–3.840	1000	Temperatura de la superficie/nube
21	3.929–3.989	1000	Temperatura de la superficie/nube
22	3.929–3.989	1000	Temperatura de la superficie/nube
23	4.020–4.080	1000	Temperatura de la superficie/nube
24	4.433–4.498	1000	Temperatura atmosférica
25	4.482–4.549	1000	Temperatura atmosférica
26	1.360–1.390	1000	Nubes cirros/vapor de agua
27	6.535–6.895	1000	Nubes cirros/vapor de agua
28	7.175–7.475	1000	Nubes cirros/vapor de agua
29	8.400–8.700	1000	Propiedades de las nubes
30	9.580–9.880	1000	Ozono
31	10.780–11.280	1000	Temperatura de la superficie/nube
32	11.770–12.270	1000	Temperatura de la superficie/nube
33	13.185–13.485	1000	Altitud máxima de la nube
34	13.485–13.785	1000	Altitud máxima de la nube
35	13.785–14.085	1000	Altitud máxima de la nube
36	14.085–14.385	1000	Altitud máxima de la nube

Fuente: (MODIS, s.f.).

B. Bandas VIIRS

Tabla 2 – Longitudes de onda de las bandas del sensor VIIRS.

Uso	Banda	Centro (micrómetro)	Ancho (Anchura a Media Altura)
Color Aerosol del Océano	M1	415	2
Color Aerosol del Océano	M2	445	2
Color Aerosol del Océano	M3	49	2
Color Aerosol del Océano	M4	555	2
Banda de Imágenes	I1	64	75
Color Aerosol del Océano	M5	673	21
Banda Día/Noche	DNB	7	4
Corrección Atmosférica	M6	746	21
NDVI	I2	865	39
Color Aerosol del Océano	M7	865	39
Tamaño de Partículas en Nube	M8	124	2
Cobertura de Nubes Cirros	M9	1378	2
Mapa Binario de Nieve	I3	161	6
Fracción de Nieve	M10	161	6
Nubes	M11	225	5
Banda de Imágenes de Nubes	I4	374	38
Temperatura de la Superficie del Mar	M12	37	18
Temperatura de la Superficie del Mar/Incendios	M13	405	155
Propiedades de las Nubes Superiores	M14	855	3
Temperatura de la Superficie del Mar	M15	10763	1
Banda de Imágenes de Nubes	I5	1145	19
Temperatura de la Superficie del Mar	M16	12013	95

Fuente: (LAADS DAAC, s.f.).

C. Solicitud de Inscripción Predio para dar Aviso de Quemas Controladas

La presente solicitud se acompaña de una fotocopia de C.I. del propietario (a)/ representante legal (en caso de que el propietario sea una persona jurídica), además de los siguientes documentos, en original o fotocopia (marcar con una x):

_____ Certificado de dominio vigente _____ Escritura _____ Talón de pago de contribuciones
 _____ Declaración de impuestos a la renta _____ Título que acredite la calidad de poseedor sobre el predio

El (o la) propietario(a)/representante legal autoriza que la información contenida en este instrumento pueda ser utilizada por la Corporación, para los fines propios que se susciten en el marco de los procedimientos asociados al uso del fuego como quema controlada, acorde a las disposiciones establecidas en la legislación vigente; y declara que todos los datos y documentos entregados son verídicos.

Además, en caso de cambio de propietario(a), se compromete a informar de la necesidad de actualizar sus datos en la Oficina Receptora mas cercana al predio.

Firma del -o la- que solicita _____

El presente documento es sólo una solicitud, no asegura la inscripción. Los resultados pueden ser consultados en esta Oficina Receptora o aquella más cercana al predio, luego de _____ días hábiles desde la recepción.

Nombre funcionario: _____

Oficina: _____

Fecha recepción: _____ / _____ / 201_____

DATOS A LLENAR POR CONAF/EVALUADOR Nro. ingreso SAQ _____

Fecha _____ / _____ / _____

Calificación de riesgo (marcar con una x) :

☐ Alta ☐ Baja ☐ Prohibición permanente (tipo documento): _____ Nro: _____

Temporalidad de la clasificación(marcar con una x):

☐ Enero	☐ Mayo	☐ Septiembre
☐ Febrero	☐ Junio	☐ Octubre
☐ Marzo	☐ Julio	☐ Noviembre
☐ Abril	☐ Agosto	☐ Diciembre

Observaciones: _____

*Se entenderá por "Quema Controlada" a la acción de usar el fuego para eliminar vegetación en forma dirigida, circunscrita o limitada a un área previamente determinada, conforme a normas técnicas preestablecidas, con el fin de mantener el fuego bajo control, en terrenos agrícolas, ganaderos o de aptitud preferentemente forestal (D.S. 276, ARTICULO 2º-3º-4º) y evitar que se origine un incendio forestal.



LAS QUEMAS SON UNA DE LAS CAUSAS DE INCENDIOS FORESTALES EN CHILE, Y DE LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL, CONSIDERE ALTERNATIVAS AL USO DEL FUEGO.

☐ Ganadero sin probabilidad de incendios forestales ☐ Ganadero con probabilidad de incendios forestales ☐ Sin uso productivo sin probabilidad de incendios forestales ☐ Sin uso productivo con probabilidad de incendios forestales ☐ Turístico sin probabilidad de incendios forestales ☐ Turístico con probabilidad de incendios forestales ☐ Otros usos con probabilidad de incendios forestales, especificar _____ ☐ Otros usos sin probabilidad de incendios forestales, especificar _____	☐ Presencia de oleoductos ☐ Presencia de gaseoductos ☐ Otro tipo de situación especial Especificar _____
--	---

Figura 1 – Documento “Solicitud de Inscripción Predio para dar Aviso de Quemas Controladas”
 Fuente: (CONAF, s.f.).

D. Comprobante de Aviso de Quema Controlada

CONAF Corporación Nacional Forestal

COMPROBANTE DE AVISO DE QUEMA CONTROLADA*

N°3/10-/14 Fecha: 13-08-2014 Hora: 19:14

El (o la) Sr(a) C.I. autorizado por Sr (a)
C.I. Propietario(a)/Representante Legal del
predio **La parcelita**, ROL ubicado **Quillón**, en la comuna **Quillon** de la Región **Del Bio-bio**, cuya unidad de Carabineros mas cercana es **Tenencia Quillon** y según inscripción de persona/predio N° **1/1-81001/14**; con fecha **13-08-2014** da aviso de una Quema Controlada* a efectuarse en el predio citado, en una superficie de **1** hectáreas de **Ramas y material leñosos en terrenos agrícolas**, con el objetivo(s) **Reducción del peligro de incendios forestales**. La quema controlada será ejecutada por **1** personas.

La quema podrá ser realizada entre el:
Fecha Inicio : **14-08-2014**. Fecha Término: **15-08-2014**
Entre las: **12:12** y las **13:13 hrs.** del mismo día o del día siguiente según corresponda.

Como medidas a considerar en la ejecución de la Quema Controlada*, se tienen:

Deberá abstenerse de usar el fuego o paralizar la quema si se presentan las siguientes condiciones: - Si la columna de humo se proyecta hacia el poblado, carreteras, líneas de transmisión y/o distribución de energía eléctrica. - Cuando exista mucho viento en la zona. Evite usar el fuego bajo tendido eléctrico. En caso de emergencia de incendio forestal avise al Fono 130. Debe avisar a sus vecinos, Carabineros y Bomberos sobre el día y la hora en que realizará la quema.* Debe mantenerse atento a una posible suspensión del uso del fuego por parte de CONAF, la que será comunicada mediante algún medio de difusión (mensaje de texto, contacto telefónico, aviso radial, etc.) Debe portar su aviso de quema en el lugar de la faena. Después de realizada la quema asegúrese que el fuego este completamente apagado.

Tipo de cortafuegos para la quema: Canales
Disponibilidad de agua: Lago o laguna

Figura 2 – Documento Tipo de “Comprobante de Avisos de Quemaz”

Fuente: (CONAF, 2015).