

---

**ESTUDIO DE LA OCURRENCIA DE INCENDIOS  
EN LA RESERVA NATURAL VILLAVICENCIO  
UTILIZANDO HERRAMIENTAS DE  
TELEDETECCIÓN**

---



Tesis de Grado  
**Ingeniería en Recursos Naturales Renovables**  
**2023**  
**Florencia Muñoz**



Estudio de la ocurrencia de incendios en la Reserva Natural Villavicencio utilizando herramientas de teledetección.

**TESISTA:** Muñoz, Florencia

[flor.98.27@gmail.com](mailto:flor.98.27@gmail.com)

**DIRECTOR:** Mastrantonio, Leandro

[Imastra@fca.uncu.edu.ar](mailto:Imastra@fca.uncu.edu.ar)

**CO-DIRECTORA:** D'Amario, M. Julieta

[jdamarior@fca.uncu.edu.ar](mailto:jdamarior@fca.uncu.edu.ar)

**COMISIÓN EVALUADORA:**

Sorli, Laura

[lsorli@fca.uncu.edu.ar](mailto:lsorli@fca.uncu.edu.ar)

Chiaradia, Guillermo

[Choquille@gmail.com](mailto:Choquille@gmail.com)

Rodríguez Plaza, Luis

[lrodriguez@fca.uncu.edu.ar](mailto:lrodriguez@fca.uncu.edu.ar)

## RESUMEN

Los incendios forestales son unos de los fenómenos que en los últimos años han causado grandes impactos en el planeta. Algunos de los efectos negativos que se encuentran asociados a ellos son: la pérdida de biología, la contaminación de recursos y la alteración de los procesos naturales que son llevados a cabo por los mismos ecosistemas, entre otros. La creación y conservación de las áreas naturales protegidas junto a la generación de conocimientos, son estrategias esenciales que el hombre ha implementado para contrarrestar dichos efectos y proteger el ambiente. En la reserva Natural Villavicencio (RNV) ubicada dentro de la provincia de Mendoza, han ocurrido diversos eventos de incendios que han modificado su normal funcionamiento. Por ese motivo es esencial el estudio de este fenómeno dentro de la misma.

El objetivo general de la presente tesis fue determinar la ocurrencia de incendios en la reserva Natural de Villavicencio, desde el año 2000 hasta 2023. Para ello se utilizaron diferentes herramientas de teledetección que permitieron el análisis de dichos eventos (situación pre y post incendio) y la posterior generación de un mapa de probabilidad de ocurrencia de incendio para la misma.

La metodología consistió, en primer lugar, en la identificación y localización de los focos de incendios ocurridos dentro de la reserva (plataforma Firms, área técnica de la reserva y Ferraris, Téc. en la conservación de la natural de Mendoza). A partir de esta información, se seleccionaron las variables que se encontraban asociadas a los focos de incendio y la posterior descarga de imágenes satelitales para la obtención de los valores de las mismas. Dichas variables fueron procesadas por el Sistemas de Información Geográfico: QGIS y SAGA GIS y analizadas estadísticamente de manera descriptiva e inferencial mediante el software InfoStat.

Los resultados obtenidos demostraron que la RNV es un ecosistema heterogéneo, ya que existen zonas con diferentes probabilidades de ocurrencia de incendios dentro de la misma. Las ecorregiones del Monte y Puna son las áreas que presentaron mayores valores de probabilidades de ocurrencia de estos eventos, caracterizándose por poseer probabilidades de “altas” a “muy altas”. El Cardonal, por su parte, es la región menos propensa a dichos fenómenos. En cuanto a las variables analizadas, permitieron distinguir notablemente las áreas incendiadas de las no incendiadas y ayudaron a la interpretación de los resultados de probabilidad. Finalmente, dicho trabajo, servirá para la incorporación de conocimientos acerca de las distintas probabilidades de ocurrencia de incendios de la reserva y estas a su vez ayudarán a la generación de nuevas estrategias de prevención y control como así también, el mantenimiento de las ya establecidas.

**Palabras claves:** incendio, área protegida, herramientas de teledetección, indicadores de susceptibilidad, mapa de ocurrencia de incendio.

## ABSTRACT

Forest fires are one of the phenomena that in recent years have caused great impacts on the planet. Some of the negative effects associated with them are: loss of biology, contamination of resources and alteration of the natural processes carried out by the ecosystems themselves, among others. The creation and conservation of natural protected areas and the generation of knowledge are essential strategies that humans have implemented to counteract these effects and protect the environment. In the Villavencio Natural Reserve (VNR), located in the province of Mendoza, there have been several fire events that have modified its normal functioning. For this reason, it is essential to study this phenomenon within the reserve.

The general objective of this thesis was to determine the occurrence of fires in the Villavencio Natural Reserve from 2000 to 2023. For this purpose, different remote sensing tools were used to analyze these events (pre- and post-fire situation) and the subsequent generation of a fire occurrence probability map for the reserve.

The methodology consisted, first, in the identification and location of fire outbreaks within the reserve (Firms platform, technical area of the reserve and Ferraris, Technician in the conservation of Mendoza's nature). From this information, we selected the variables associated with the fire outbreaks and then downloaded satellite images to obtain their values. These variables were processed by the Geographic Information Systems: QGIS and SAGA GIS and statistically analyzed in a descriptive and inferential manner using InfoStat software.

The results obtained showed that the VNR is a heterogeneous ecosystem, since there are areas with different probabilities of fire occurrence within it. The Monte and Puna ecoregions are the areas with the highest probabilities of occurrence of these events, characterized by "high" to "very high" probabilities. The Cardonal, on the other hand, is the region least prone to these phenomena. As for the variables analyzed, they made it possible to distinguish notably the burned areas from the non-fired areas and helped in the interpretation of the probability results. Finally, this work will be useful for the incorporation of knowledge about the different probabilities of fire occurrence in the reserve and these in turn will help in the generation of new prevention and control strategies as well as the maintenance of those already established.

**Key words:** fire, protected area, remote sensing tools, susceptibility indicators, fire occurrence map.



## AGRADECIMIENTOS

*A mi familia, por el apoyo incondicional que me han brindado en esta y en todas las etapas por las que he transitado, gracias por confiar en mí siempre y alentarme a luchar por mis sueños cueste lo que cueste, los quiero un muchísimo.*

*A Lucas, que es una de las personas que desde que nos conocimos me ha ayudado cumplir todas mis metas y a recorrer toda esta etapa de la facultad de la mejor manera, ¡Gracias por todo!*

*A mis amigas y amigos tanto de la facu como de otros lados que siempre estuvieron para apoyarme en todo momento.*

*A Leandro Mastrantonio y Julieta D'Amario, mi director y co-directora de esta tesis, que confiaron en mí para llevar adelante este trabajo y me impulsaron todo el tiempo seguir.*

*A mis evaluadores Laura Sorli, Guillermo Chiaradia y Luis Rodriguez que se tomaron el tiempo de leer este trabajo y sugerir nuevas ideas para que sea aún mejor.*

*A la facultad de Ciencias Agrarias, por brindarme conocimiento para poder crecer no solo como profesional, sino también como persona*

*A la Reserva Natural Villavicencio por abrirme las puertas y dejarme hacer esta tesis que es tan importante para mí.*

*Sin mucho más que decir, sin ustedes esto no podría haber sido posible, de verdad ¡Muchas gracias!*



# ÍNDICE

<b>1.INTRODUCCIÓN</b> .....	1
1.2. Objetivos .....	2
1.2.1 Objetivo General .....	2
1.2.2 Objetivos Específicos.....	2
<b>2.MARCO TEÓRICO</b> .....	3
2.1 Incendios.....	3
2.2. Legislación .....	8
2.3. Gestión del manejo del fuego .....	9
2.4. Herramientas de teledetección.....	11
<b>3. METODOLOGÍA</b> .....	13
3.1. Área de estudio.....	13
3.2 Identificación de los eventos de incendios .....	17
3.3. Compilación y cálculo de los indicadores de susceptibilidad a la ocurrencia de incendios.....	19
3.3.1. Índices espectrales de vegetación.....	19
3.3.2. Variables climáticas .....	21
3.3.3. Variables morfológicas .....	22
3.4 Análisis estadístico .....	23
3.4.1 Análisis estadístico descriptivo.....	23
3.4.2. Análisis estadístico inferencial.....	24
<b>4. RESULTADOS</b> .....	25
4.1. Identificación y localización de los eventos de incendios.....	25
4.2. Compilación y cálculo de indicadores de susceptibilidad a la ocurrencia de incendios.....	26
4.2.1 Índices espectrales.....	26
4.2.2. Variables climáticas .....	29
4.2.3. Variables morfológicas .....	32
4.3. Análisis estadístico .....	34
4.3.1. Análisis estadístico descriptivo.....	34
4.3.2 Análisis estadístico inferencial.....	41
<b>5. DISCUSIÓN</b> .....	49



<b>6. CONCLUSIONES</b> .....	51
<b>7. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	52
<b>8. ANEXOS</b> .....	59
Anexo 1: Registro de focos de incendios y valores de sus variables .....	59
Anexo 2: Mapas de las variables utilizadas en el análisis de regresión, correspondientes a los años anteriores al 2023.....	68
Anexo 3: Análisis estadístico: Diagramas de caja y matriz de correlación de Pearson para las variables utilizadas.....	79
Anexo 4: Registro de los focos de incendios negativos y valores de sus variables .....	94



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>TABLA 1:</b> LEYES RELACIONADAS CON LOS INCENDIOS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA .....	9
<b>TABLA 2:</b> REGIONALIZACIÓN DEL SERVICIO NACIONAL DE MANEJO DEL FUEGO (SNMF), MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SUSTENTABLE (MAYDS), A LOS EFECTOS DE COORDINAR LAS ACCIONES CON LAS PROVINCIAS Y LOS PARQUES NACIONALES. FUENTE: MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO. ....	10
<b>TABLA 3:</b> ANÁLISIS DE VECINOS MÁS PRÓXIMOS DE LOS FOCOS DE CALOR DE FIRMS. ....	26
<b>TABLA 4:</b> ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA DE LOS ÍNDICES ESPECTRALES CORRESPONDIENTES A LOS REGISTROS DE FIRMS. ....	35
<b>TABLA 5:</b> ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA DE LAS VARIABLES CLIMÁTICAS PRECIPITACIÓN Y HUMEDAD CORRESPONDIENTES A LOS REGISTROS DE FIRMS. ....	35
<b>TABLA 6:</b> ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA DE LA VARIABLE CLIMÁTICA TEMPERATURA CORRESPONDIENTES A LOS REGISTROS DE FIRMS. ....	36
<b>TABLA 7:</b> ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA DE LAS VARIABLES MORFOLÓGICAS CORRESPONDIENTES A LOS REGISTROS DE FIRMS.....	36
<b>TABLA 8:</b> ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA DE LOS ÍNDICES ESPECTRALES CORRESPONDIENTE A LOS REGISTROS DEL ÁREA TÉCNICA DE VILLAVICENCIO.....	37
<b>TABLA 9:</b> ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA DE LAS VARIABLES CLIMÁTICAS - PRECIPITACIÓN CORRESPONDIENTE A LOS REGISTROS DEL ÁREA TÉCNICA DE VILLAVICENCIO.....	37
<b>TABLA 10:</b> ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA DE LAS VARIABLES CLIMÁTICAS – TEMPERATURA CORRESPONDIENTE A LOS REGISTROS DEL ÁREA TÉCNICA DE VILLAVICENCIO.....	38
<b>TABLA 11:</b> ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA DE LAS VARIABLES MORFOLÓGICAS CORRESPONDIENTE A LOS REGISTROS DEL ÁREA TÉCNICA DE VILLAVICENCIO.. ....	38
<b>TABLA 12:</b> ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA DE LOS ÍNDICES ESPECTRALES CORRESPONDIENTE A LOS REGISTROS DEL TÉC. FERRARIS.....	39
<b>TABLA 13:</b> ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA DE LAS VARIABLES CLIMÁTICAS PRECIPITACIÓN Y HUMEDAD CORRESPONDIENTE A LOS REGISTROS DEL TÉC. FERRARIS. ....	40
<b>TABLA 14:</b> ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA DE LA VARIABLE CLIMÁTICA TEMPERATURA CORRESPONDIENTE A LOS REGISTROS DEL TÉC. FERRARIS.....	40
<b>TABLA 15:</b> ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA DE LAS VARIABLES MORFOLÓGICAS CORRESPONDIENTE A LOS REGISTROS DEL TÉC. FERRARIS.....	41
<b>TABLA 16:</b> TABLA DE CLASIFICACIÓN CRUZADA (TASA DE ERROR APARENTE) PARA DATOS DE FIRMS Y DEL ÁREA TÉCNICA DE VILLAVICENCIO. ....	41
<b>TABLA 17:</b> TABLA DE CLASIFICACIÓN CRUZADA (TASA DE ERROR APARENTE) PARA LOS DATOS OBTENIDOS DE FIRMS SIN CONSIDERAR LA VARIABLE HUMEDAD DEL SUELO.....	42
<b>TABLA 18:</b> TABLA DE CLASIFICACIÓN CRUZADA (TASA DE ERROR APARENTE) PARA LOS DATOS OBTENIDOS DE FIRMS CONSIDERANDO LA VARIABLE HUMEDAD DEL SUELO.....	42
<b>TABLA 19:</b> CENTROIDES EN EL ESPACIO DISCRIMINANTE PARA LOS DATOS OBTENIDOS DEL TÉC. FERRARIS SIN CONSIDERAR LA VARIABLE "HUMEDAD DEL SUELO". ....	43
<b>TABLA 20:</b> TABLA DE CLASIFICACIÓN CRUZADA (TASA DE ERROR APARENTE) PARA LOS DATOS OBTENIDOS DEL TÉC. FERRARIS SIN CONSIDERAR LA VARIABLE "HUMEDAD DEL SUELO"..	43
<b>TABLA 21:</b> CENTROIDES EN EL ESPACIO DISCRIMINANTE PARA LOS DATOS OBTENIDOS DEL TÉC. FERRARIS Y FIRMS CONSIDERANDO LA VARIABLE "HUMEDAD DEL SUELO". ....	43
<b>TABLA 22:</b> TABLA DE CLASIFICACIÓN CRUZADA (TASA DE ERROR APARENTE) PARA LOS DATOS OBTENIDOS DEL TÉC. FERRARIS Y FIRMS CONSIDERANDO LA VARIABLE "HUMEDAD DEL SUELO". ....	44



<b>TABLA 23:</b> PRUEBA DE BONDAD DE AJUSTE DEL MODELO PLANTEADO. ....	44
<b>TABLA 24:</b> PRUEBA DE RAZÓN DE VEROSIMILITUD PARA EL MODELO PLANTEADO. ....	45
<b>TABLA 25:</b> TABLA DE CLASIFICACIÓN PARA LOS DATOS SELECCIONADOS. ....	45
<b>TABLA 26:</b> COEFICIENTES DEL MODELO. ....	46
<b>TABLA 27:</b> VALORES DE LOS INTERVALOS DE PROBABILIDAD. ....	48
<b>TABLA 28:</b> REGISTRO DE LOS FOCOS DE INCENDIOS OBTENIDOS DE FIRMS. ....	59
<b>TABLA 29:</b> REGISTRO DE LOS FOCOS DE INCENDIOS OBTENIDOS POR EL ÁREA TÉCNICA DE VILLAVICENCIO. ....	60
<b>TABLA 30:</b> REGISTRO DE LOS FOCOS DE INCENDIOS OBTENIDOS POR EL TÉC. FERRARIS. ....	60
<b>TABLA 31:</b> VALORES DE LOS ÍNDICES ESPECTRALES PARA EL CONJUNTO DE DATOS DE FIRMS. ....	61
<b>TABLA 32:</b> VALORES DE LAS VARIABLES CLIMÁTICAS PARA EL CONJUNTO DE DATOS DE FIRMS. ....	62
<b>TABLA 33:</b> VALORES DE LAS VARIABLES MORFOLÓGICAS PARA EL CONJUNTO DE DATOS DE FIRMS. ....	64
<b>TABLA 34:</b> VALORES DE LOS ÍNDICES ESPECTRALES PARA EL CONJUNTO DE DATOS DEL ÁREA TÉCNICA DE VILLAVICENCIO. ....	65
<b>TABLA 35:</b> VALORES DE LAS VARIABLES CLIMÁTICAS PARA EL CONJUNTO DE DATOS DEL ÁREA TÉCNICA DE VILLAVICENCIO. ....	65
<b>TABLA 36:</b> VALORES DE LAS VARIABLES MORFOLÓGICAS PARA EL CONJUNTO DE DATOS DEL ÁREA TÉCNICA DE VILLAVICENCIO. ....	66
<b>TABLA 37:</b> VALORES DE LOS ÍNDICES ESPECTRALES PARA EL CONJUNTO DE DATOS DEL TÉC. FERRARIS. ....	66
<b>TABLA 38:</b> VALORES DE LAS VARIABLES CLIMÁTICAS PARA EL CONJUNTO DE DATOS DEL TÉC. FERRARIS. ....	67
<b>TABLA 39:</b> VALORES DE LAS VARIABLES MORFOLÓGICAS PARA EL CONJUNTO DE DATOS DEL TÉC. FERRARIS. ....	67
<b>TABLA 40:</b> MATRIZ DE CORRELACIÓN DE PEARSON PARA LAS VARIABLES DE FIRMS. ....	83
<b>TABLA 41:</b> REFERENCIAS PARA TABLA DE COEFICIENTE DE PEARSON. ....	84
<b>TABLA 42:</b> : MATRIZ DE CORRELACIÓN DE PEARSON PARA LAS VARIABLES DEL ÁREA TÉCNICA DE VILLAVICENCIO. ....	88
<b>TABLA 43:</b> MATRIZ DE CORRELACIÓN DE PEARSON PARA LAS VARIABLES DEL TÉC. FERRARIS. ....	93
<b>TABLA 44:</b> REGISTRO DE LOS PUNTOS NEGATIVOS DEL CONJUNTO DE DATOS OBTENIDO DE FIRMS. ....	94
<b>TABLA 45:</b> REGISTRO DE LOS PUNTOS NEGATIVOS DEL CONJUNTO DE DATOS OBTENIDOS DEL ÁREA TÉCNICA DE VILLAVICENCIO. ....	95
<b>TABLA 46:</b> REGISTRO DE LOS PUNTOS NEGATIVOS DEL CONJUNTO DE DATOS OBTENIDO DEL TÉC. FERRARIS. ....	95
<b>TABLA 47:</b> VALORES DE LOS ÍNDICES ESPECTRALES PARA LOS PUNTOS NEGATIVOS DEL CONJUNTO DE DATOS DE FIRMS. ....	96
<b>TABLA 48:</b> VALORES DE LAS VARIABLES CLIMÁTICAS PARA LOS PUNTOS NEGATIVOS DEL CONJUNTO DE DATOS DE FIRMS. ....	98
<b>TABLA 49:</b> VALORES DE LAS VARIABLES MORFOLÓGICAS PARA LOS PUNTOS NEGATIVOS DEL CONJUNTO DE DATOS FIRMS. ....	100
<b>TABLA 50:</b> VALORES DE LOS ÍNDICES ESPECTRALES PARA LOS PUNTOS NEGATIVOS DEL CONJUNTO DE DATOS DEL ÁREA TÉCNICA DE VILLAVICENCIO. ....	101
<b>TABLA 51:</b> VALORES DE LAS VARIABLES CLIMÁTICAS PARA LOS PUNTOS NEGATIVOS DEL CONJUNTO DE DATOS DEL ÁREA TÉCNICA DE VILLAVICENCIO. ....	101



<b>TABLA 52:</b> VALORES DE LAS VARIABLES MORFOLÓGICAS PARA LOS PUNTOS NEGATIVOS DEL CONJUNTO DE DATOS DEL ÁREA TÉCNICA DE VILLAVICENCIO. ....	102
<b>TABLA 53:</b> VALORES DE LOS ÍNDICES ESPECTRALES PARA LOS PUNTOS NEGATIVOS DEL CONJUNTO DE DATOS DEL TÉC. FERRARIS.....	102
<b>TABLA 54:</b> VALORES DE LAS VARIABLES CLIMÁTICAS PARA LOS PUNTOS NEGATIVOS DEL CONJUNTO DE DATOS DEL TÉC. FERRARIS.....	103
<b>TABLA 55:</b> VALORES DE LAS VARIABLES MORFOLÓGICAS PARA LOS PUNTOS NEGATIVOS DEL CONJUNTO DE DATOS DEL TÉC. FERRARIS.....	103



## ÍNDICE DE FIGURA

<b>FIGURA 1:</b> UBICACIÓN DE LA RESERVA NATURAL VILLAVICENCIO. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).	13
<b>FIGURA 2:</b> ECORREGIONES DE LA RESERVA NATURAL Y SITIO RAMSAR VILLAVICENCIO. FUENTE: FUNDACIÓN VILLAVICENCIO (2018).	14
<b>FIGURA 3:</b> MAPA DE CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA DE MENDOZA (KÖPPEN). CLIMAS PRESENTES LA RNV. FUENTE: ZABALA, 2021.	16
<b>FIGURA 4:</b> MAPA DE ZONIFICACIÓN DE RIESGO DE INCENDIOS DE LA RESERVA NATURAL VILLAVICENCIO. FUENTE: FUNDACIÓN VILLAVICENCIO, 2017.	17
<b>FIGURA 5:</b> UBICACIÓN DE LOS EVENTOS DE INCENDIOS OBTENIDOS DE LA PLATAFORMA FIRMS, ÁREA TÉCNICA DE VILLAVICENDIO, TÉC. FERRARIS EN LA RNV Y DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).	25
<b>FIGURA 6:</b> MAPA DE ÍNDICE NBR PARA EL AÑO 2023. ÍNDICE NBR PREVIO AL INCENDIO (IZQUIERDA) E ÍNDICE NBR POSTERIOR AL INCENDIO (DERECHA) EN LA RNV. SISTEMA DE COORDENADAS: UTM 19S – EPSG 32719. FONDO CARTOGRÁFICO: MAP DATA ©2015 GOOGLE (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).	27
<b>FIGURA 7:</b> MAPA DE DIFERENCIAL NBR PARA EL AÑO 2023 EN LA RNV. SISTEMA DE COORDENADAS: UTM 19S – EPSG 32719. FONDO CARTOGRÁFICO: MAP DATA ©2015 GOOGLE (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).	27
<b>FIGURA 8:</b> MAPA DEL ÍNDICE GCI PARA EL AÑO 2023. ÍNDICE GCI PREVIO AL INCENDIO (IZQUIERDA) E ÍNDICE GCI POSTERIOR AL INCENDIO (DERECHA) EN LA RNV. SISTEMA DE COORDENADAS: UTM 19S – EPSG 32719. FONDO CARTOGRÁFICO: MAP DATA ©2015 GOOGLE (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).	28
<b>FIGURA 9:</b> MAPA DEL DIFERENCIAL GCI PARA EL AÑO 2023 EN LA RNV. SISTEMA DE COORDENADAS: UTM 19S – EPSG 32719. FONDO CARTOGRÁFICO: MAP DATA ©2015 GOOGLE (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).	29
<b>FIGURA 10:</b> MAPA DE TEMPERATURA DE LA SUPERFICIE DE LA TIERRA (TIR) PARA EL AÑO 2023 EN LA RNV. SISTEMA DE COORDENADAS: UTM 19S – EPSG 32719. FONDO CARTOGRÁFICO: MAP DATA ©2015 GOOGLE (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).	30
<b>FIGURA 11:</b> MAPA DE HUMEDAD DEL SUELO (CM <sup>3</sup> /CM <sup>3</sup> ) PARA EL AÑO 2023. HUMEDAD DEL SUELO PREVIO AL INCENDIO (IZQUIERDA) Y HUMEDAD DEL SUELO POSTERIOR AL INCENDIO (DERECHA) EN LA RNV. SISTEMA DE COORDENADAS: UTM 19S – EPSG 32719. FONDO CARTOGRÁFICO: MAP DATA ©2015 GOOGLE (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).	30
<b>FIGURA 12:</b> MAPA DE TEMPERATURA (°C) PARA EL AÑO 2023. TEMPERATURA MÁXIMA MENSUAL (IZQUIERDA), TEMPERATURA MÁXIMA PREVIA AL INCENDIO (CENTRO) Y TEMPERATURA MÁXIMA DÍA DEL INCENDIO (DERECHA) EN LA RNV. SISTEMA DE COORDENADAS: UTM 19S – EPSG 32719. FONDO CARTOGRÁFICO: MAP DATA ©2015 GOOGLE (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).	31
<b>FIGURA 13:</b> MAPA DE PRECIPITACIÓN (MM) PARA EL AÑO 2023. PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL (IZQUIERDA), PRECIPITACIÓN MEDIA PREVIA AL INCENDIO (CENTRO) Y PRECIPITACIÓN MEDIA DÍA DEL INCENDIO (DERECHA) EN LA RNV. SISTEMA DE COORDENADAS: UTM 19S – EPSG 32719. FONDO CARTOGRÁFICO: MAP DATA ©2015 GOOGLE (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).	32
<b>FIGURA 14:</b> MAPA DE LA PENDIENTE (%) DE LA RNV. SISTEMA DE COORDENADAS: UTM 19S – EPSG 32719. FONDO CARTOGRÁFICO: MAP DATA ©2015 GOOGLE (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).	33



<b>FIGURA 15:</b> MAPA DE LA ORIENTACIÓN DE LADERAS (GRADOS) DE LA RNV. SISTEMA DE COORDENADAS: UTM 19S – EPSG 32719. FONDO CARTOGRÁFICO: MAP DATA ©2015 GOOGLE (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA). .....	33
<b>FIGURA 16:</b> MAPA DE ÍNDICE TOPOGRÁFICO DE HUMEDAD DE LA RNV. SISTEMA DE COORDENADAS: UTM 19S – EPSG 32719.FONDO CARTOGRÁFICO: MAP DATA ©2015 GOOGLE (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA). .....	34
<b>FIGURA 17:</b> MAPA CORRESPONDIENTE A LA FUNCIÓN DE REGRESIÓN LOGÍSTICA (Y) PARA LA RNV EN EL AÑO 2023. SISTEMA DE COORDENADAS: UTM 19S – EPSG 32719. FONDO CARTOGRÁFICO: MAP DATA ©2015 GOOGLE (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA). .....	46
<b>FIGURA 18:</b> : MAPA DE PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DE INCENDIO PARA LA RNV PARA EL AÑO 2023. SISTEMA DE COORDENADAS: UTM 19S – EPSG 32719.FONDO CARTOGRÁFICO: MAP DATA ©2015 GOOGLE (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA). .....	48
<b>FIGURA 19:</b> MAPAS DE LOS ÍNDICES NBR PREVIOS AL INCENDIO PARA LOS FOCOS OBTENIDOS DE FIRMS EN LA RNV (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA). .....	68
<b>FIGURA 20:</b> MAPAS DE LOS ÍNDICES NBR POSTERIORES AL INCENDIO PARA LOS FOCOS OBTENIDOS DE FIRMS EN LA RNV (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA). .....	68
<b>FIGURA 21:</b> MAPAS DE LOS ÍNDICES NBR ANTERIOR (IZQUIERDA) Y POSTERIOR (DERECHA) AL INCENDIO PARA LOS FOCOS OBTENIDOS DEL TÉC. FERRARIS EN LA RNV. SISTEMA DE COORDENADAS: UTM 19S – EPSG 32719. FONDO CARTOGRÁFICO: MAP DATA ©2015 GOOGLE (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA). .....	69
<b>FIGURA 22:</b> MAPAS DE LOS DIFERENCIALES NBR PARA LOS FOCOS OBTENIDOS DE FIRMS EN LA RNV (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA). .....	69
<b>FIGURA 23:</b> MAPA DEL DIFERENCIAL NBR PARA LOS FOCOS OBTENIDOS DEL TÉC. FERRARIS EN LA RNV. SISTEMA DE COORDENADAS: UTM 19S – EPSG 32719. FONDO CARTOGRÁFICO: MAP DATA ©2015 GOOGLE (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA). .....	70
<b>FIGURA 24:</b> MAPAS DE LOS ÍNDICES GCI PREVIOS AL INCENDIO PARA LOS FOCOS OBTENIDOS DE FIRMS EN LA RNV (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA). .....	70
<b>FIGURA 25:</b> MAPAS DE LOS ÍNDICES GCI POSTERIORES AL INCENDIO PARA LOS FOCOS OBTENIDOS DE FIRMS EN LA RNV (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA). .....	71
<b>FIGURA 26:</b> MAPAS DEL ÍNDICE GCI ANTERIOR (DERECHA) Y POSTERIOR (IZQUIERDA) AL INCENDIO PARA LOS FOCOS OBTENIDOS DEL TÉC. FERRARIS EN LA RNV. SISTEMA DE COORDENADAS: UTM 19S – EPSG 32719. FONDO CARTOGRÁFICO: MAP DATA ©2015 GOOGLE (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA). .....	71
<b>FIGURA 27:</b> MAPAS DEL DIFERENCIAL GCI PARA LOS FOCOS DE INCENDIO OBTENIDOS DE FIRMS EN LA RNV (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIAS). .....	72
<b>FIGURA 28:</b> MAPA DEL DIFERENCIAL GCI PARA LOS FOCOS DE INCENDIOS OBTENIDOS DEL TÉC. FERRARIS EN LA RNV. SISTEMA DE COORDENADAS: UTM 19S – EPSG 32719. FONDO CARTOGRÁFICO: MAP DATA ©2015 GOOGLE (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA). .....	72
<b>FIGURA 29:</b> MAPAS DE LA TEMPERATURA SUPERFICIAL DE LA TIERRA PREVIA AL INCENDIO PARA LOS FOCOS DE INCENDIO OBTENIDOS DE FIRMS EN LA RNV (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA). .....	73
<b>FIGURA 30:</b> MAPA DE LA TEMPERATURA SUPERFICIAL DE LA TIERRA PARA LOS FOCOS DE INCENDIO OBTENIDOS DEL TÉC. FERRARIS EN LA RNV. SISTEMA DE COORDENADAS: UTM 19S – EPSG 32719. FONDO CARTOGRÁFICO: MAP DATA ©2015 GOOGLE (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA). .....	73
<b>FIGURA 31:</b> MAPAS DE HUMEDAD DEL SUELO PREVIOS AL INCENDIO PARA LOS FOCOS OBTENIDOS DE FIRMS EN LA RNV (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA). .....	74



<b>FIGURA 32:</b> MAPAS DE HUMEDAD DEL SUELO POSTERIORES A LOS INCENDIOS PARA LOS FOCOS OBTENIDOS DE FIRMS EN LA RNV (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA). .....	74
<b>FIGURA 33:</b> MAPA DE HUMEDAD DEL SUELO PREVIO AL INCENDIO (IZQUIERDA) Y POSTERIOR (DERECHA) PARA LOS FOCOS DE INCENDIO OBTENIDOS DEL TÉC. FERRARIS EN LA RNV. SISTEMA DE COORDENADAS: UTM 19S – EPSG 32719. FONDO CARTOGRÁFICO: MAP DATA ©2015 GOOGLE (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).....	75
<b>FIGURA 34:</b> MAPAS DE TEMPERATURA MÁXIMA MENSUAL PARA LOS FOCOS DE INCENDIO OBTENIDOS DE FIRMS EN LA RNV (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA). .....	75
<b>FIGURA 35:</b> MAPAS DE TEMPERATURA MÁXIMA DÍA DEL INCENDIO PARA LOS FOCOS OBTENIDOS DE FIRMS EN LA RNV (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA). .....	76
<b>FIGURA 36:</b> MAPAS DE TEMPERATURA MÁXIMA MENSUAL (IZQUIERDA) Y TEMPERATURA MÁXIMA DÍA DEL INCENDIO (DERECHA) PARA LOS FOCOS OBTENIDOS DEL TÉC. FERRARIS. SISTEMA DE COORDENADAS: UTM 19S – EPSG 32719. FONDO CARTOGRÁFICO: MAP DATA ©2015 GOOGLE (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA). .....	76
<b>FIGURA 37:</b> MAPAS DE PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL PARA LOS FOCOS DE INCENDIO OBTENIDOS DE FIRMS EN LA RNV (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA). .....	77
<b>FIGURA 38:</b> MAPAS DE PRECIPITACIÓN PREVIA AL INCENDIO PARA LOS FOCOS OBTENIDOS DE FIRMS EN LA RNV. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).....	77
<b>FIGURA 39:</b> MAPAS DE PRECIPITACIÓN MENSUAL (IZQUIERDA) Y PRECIPITACIÓN PREVIA AL INCENDIO (DERECHA) PARA LOS FOCOS DE INCENDIO OBTENIDOS DEL TÉC. FERRARIS EN LA RNV. SISTEMA DE COORDENADAS: UTM 19S – EPSG 32719. FONDO CARTOGRÁFICO: MAP DATA ©2015 GOOGLE (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA). .....	78
<b>FIGURA 40:</b> DIAGRAMA DE CAJA DEL ÍNDICE GCI PREVIO AL INCENDIO DE LOS FOCOS OBTENIDOS DE FIRMS EN LA RNV. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA). .....	79
<b>FIGURA 41:</b> DIAGRAMA DE CAJA DEL ÍNDICE NBR PREVIO AL INCENDIO DE LOS FOCOS OBTENIDOS DE FIRMS EN LA RNV. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA). .....	79
<b>FIGURA 42:</b> DIAGRAMA DE CAJA DEL DIFERENCIAL GCI PARA LOS FOCOS DE INCENDIO OBTENIDOS DE FIRMS EN LA RNV. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA). .....	79
<b>FIGURA 43:</b> DIAGRAMA DE CAJA DE DIFERENCIAL NBR DE LOS FOCOS DE INCENDIO OBTENIDOS DE FIRMS EN LA RNV. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).....	79
<b>FIGURA 44:</b> DIAGRAMA DE CAJA DE TIR DE LOS FOCOS DE INCENDIO OBTENIDOS DE FIRMS EN LA RNV. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA). .....	80
<b>FIGURA 45:</b> DIAGRAMA DE CAJA DE LA PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL DE LOS FOCOS DE INCENDIO OBTENIDOS DE FIRMS EN LA RNV.( FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA). .....	80
<b>FIGURA 46:</b> DIAGRAMA DE CAJA DE LA PRECIPITACIÓN PREVIA AL INCENDIO DE LOS FOCOS OBTENIDOS DE FIRMS EN LA RNV. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA). .....	80
<b>FIGURA 47:</b> DIAGRAMA DE CAJA DE LA PRECIPITACIÓN DÍA DEL INCENDIO DE LOS FOCOS OBTENIDOS DE FIRMS EN LA RNV. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA). .....	80
<b>FIGURA 48:</b> DIAGRAMA DE CAJA DE LA TEMPERATURA MÁXIMA MENSUAL DE LOS FOCOS DE INCENDIO OBTENIDOS DE FIRMS EN LA RNV. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA). .....	81
<b>FIGURA 49:</b> DIAGRAMA DE CAJA DE LA TEMPERATURA MÁXIMA PREVIA AL INCENDIO DE LOS FOCOS OBTENIDOS DE FIRMS EN LA RNV. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA). .....	81
<b>FIGURA 50:</b> DIAGRAMA DE CAJA DE LA TEMPERATURA MÁXIMA DÍA DEL INCENDIO DE LOS FOCOS OBTENIDOS DE FIRMS EN LA RNV. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA). .....	81
<b>FIGURA 51:</b> DIAGRAMA DE CAJA DE LA HUMEDAD DEL SUELO PREVIA AL INCENDIO DE LOS FOCOS OBTENIDOS DE FIRMS EN LA RNV. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA). .....	81
<b>FIGURA 52:</b> DIAGRAMA DE CAJA DE LA HUMEDAD DEL SUELO DÍA DEL INCENDIO DE LOS FOCOS OBTENIDOS DE FIRMS EN LA RNV. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA). .....	82



<b>FIGURA 53:</b> DIAGRAMA DE CAJA DE LA PENDIENTE DE LOS FOCOS OBTENIDOS DE FIRMS EN LA RNV. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).	82
<b>FIGURA 54:</b> DIAGRAMA DE CAJA DE LA ORIENTACIÓN DE LOS FOCOS OBTENIDOS DE FIRMS EN LA RNV. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).	82
<b>FIGURA 55:</b> DIAGRAMA DE CAJA DEL ÍNDICE TOPOGRÁFICO DE HUMEDAD DE LOS FOCOS OBTENIDOS DE FIRMS EN LA RNV. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)	82
<b>FIGURA 56:</b> DIAGRAMA DE CAJA DEL ÍNDICE GCI PREVIO AL INCENDIO LOS FOCOS OBTENIDOS DEL ÁREA TÉCNICA DE VILLAVICENCIO EN LA RNV. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).	84
<b>FIGURA 57:</b> DIAGRAMA DE CAJA DEL ÍNDICE NBR PREVIO AL INCENDIO DE LOS FOCOS OBTENIDOS DEL ÁREA TÉCNICA DE VILLAVICENCIO EN LA RNV. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).	84
<b>FIGURA 58:</b> DIAGRAMA DE CAJA DEL DIFERENCIAL NBR DE LOS FOCOS DE INCENDIO OBTENIDOS DEL ÁREA DE TÉCNICA DE VILLAVICENCIO EN LA RNV. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).	85
<b>FIGURA 59:</b> DIAGRAMA DE CAJA DEL DIFERENCIAL GCI DE LOS FOCOS DE INCENDIO OBTENIDOS DEL ÁREA TÉCNICA DE VILLAVICENCIO EN LA RNV. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).	85
<b>FIGURA 60:</b> DIAGRAMA DE CAJA DE LA PRECIPITACIÓN PREVIA AL INCENDIO DE LOS FOCOS OBTENIDOS DEL ÁREA DE TÉCNICA DE VILLAVICENCIO EN LA RNV. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).	85
<b>FIGURA 61:</b> DIAGRAMA DE CAJA DE LA PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL DE LOS FOCOS DE INCENDIO OBTENIDOS DEL ÁREA DE TÉCNICA DE VILLAVICENCIO EN LA RNV. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).	85
<b>FIGURA 62:</b> DIAGRAMA DE CAJA DE LA PRECIPITACIÓN DÍA DEL INCENDIO DE LOS FOCOS OBTENIDOS DEL ÁREA DE TÉCNICA DE VILLAVICENCIO EN LA RNV. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).	86
<b>FIGURA 63:</b> DIAGRAMA DE CAJA DE LA TEMPERATURA MÁXIMA MENSUAL DE LOS FOCOS DE INCENDIO OBTENIDOS DEL ÁREA DE TÉCNICA DE VILLAVICENCIO EN LA RNV. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).	86
<b>FIGURA 64:</b> DIAGRAMA DE CAJA DE LA TEMPERATURA MÁXIMA PREVIA AL INCENDIO DE LOS FOCOS OBTENIDOS DEL ÁREA DE TÉCNICA DE VILLAVICENCIO EN LA RNV. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).	86
<b>FIGURA 65:</b> DIAGRAMA DE CAJA DE LA TEMPERATURA MÁXIMA DÍA DEL INCENDIO DE LOS FOCOS OBTENIDOS DEL ÁREA DE TÉCNICA DE VILLAVICENCIO EN LA RNV. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).	86
<b>FIGURA 66:</b> DIAGRAMA DE CAJA DE LA PENDIENTE DE LOS FOCOS DE INCENDIOS OBTENIDOS DEL ÁREA DE TÉCNICA DE VILLAVICENCIO EN LA RNV. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).	87
<b>FIGURA 67:</b> DIAGRAMA DE CAJA DE ÍNDICE TOPOGRÁFICO DE HUMEDAD LOS FOCOS DE INCENDIO OBTENIDOS DEL ÁREA DE TÉCNICA DE VILLAVICENCIO EN LA RNV. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).	87
<b>FIGURA 68:</b> DIAGRAMA DE CAJA DE LA ORIENTACIÓN DE LOS FOCOS DE INCENDIO OBTENIDOS DEL ÁREA DE TÉCNICA DE VILLAVICENCIO EN LA RNV. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).	87
<b>FIGURA 69:</b> DIAGRAMA DE CAJA DEL ÍNDICE NBR PREVIO AL INCENDIO DE LOS FOCOS OBTENIDOS DEL TÉC. FERRARIS EN LA RNV. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).	89
<b>FIGURA 70:</b> DIAGRAMA DE CAJA DEL ÍNDICE GCI PREVIO AL INCENDIO DE LOS FOCOS OBTENIDOS DEL TÉC. FERRARIS EN LA RNV. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).	89
<b>FIGURA 72:</b> DIAGRAMA DE CAJA DEL DIFERENCIAL GCI DE LOS FOCOS DE INCENDIO OBTENIDOS DEL TÉC. FERRARIS EN LA RNV. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA).	89



**FIGURA 71:** DIAGRAMA DE CAJA DEL DIFERENCIAL NBR DE LOS FOCOS DE INCENDIO OBTENIDOS DEL TÉC. FERRARIS EN LA RNV. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)..... 89

**FIGURA 73:** DIAGRAMA DE CAJA DE LA PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL DE LOS FOCOS DE INCENDIO OBTENIDOS DEL TÉC. FERRARIS EN LA RNV. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA). ..... 90

**FIGURA 74:** DIAGRAMA DE CAJA DE LA PRECIPITACIÓN PREVIA AL INCENDIO DE LOS FOCOS OBTENIDOS DEL TÉC. FERRARIS EN LA RNV. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)..... 90

**FIGURA 75:** DIAGRAMA DE CAJA DE LA PRECIPITACIÓN DÍA DEL INCENDIO DE LOS FOCOS OBTENIDOS DEL TÉC. FERRARIS EN LA RNV. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA). ..... 90

**FIGURA 76:** DIAGRAMA DE CAJA DE LA TEMPERATURA DE LA SUPERFICIE DE LA TIERRA DE LOS FOCOS DE INCENDIO OBTENIDOS DEL TÉC. FERRARIS EN LA RNV. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA). ..... 90

**FIGURA 77:** DIAGRAMA DE CAJA DE LA TEMPERATURA MÁXIMA MENSUAL DE LOS FOCOS DE INCENDIO OBTENIDOS DEL TÉC. FERRARIS EN LA RNV. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA). ..... 91

**FIGURA 78:** DIAGRAMA DE CAJA DE LA TEMPERATURA MÁXIMA PREVIA AL INCENDIO DE LOS FOCOS OBTENIDOS DEL TÉC. FERRARIS EN LA RNV. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)... 91

**FIGURA 79:** DIAGRAMA DE CAJA DE LA TEMPERATURA MÁXIMA DÍA DEL INCENDIO DE LOS FOCOS OBTENIDOS DEL TÉC. FERRARIS EN LA RNV. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA). ..... 91

**FIGURA 80:** DIAGRAMA DE CAJA DE LA PENDIENTE DE LOS FOCOS DE INCENDIO OBTENIDOS DEL TÉC. FERRARIS EN LA RNV. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA). ..... 91

**FIGURA 81:** DIAGRAMA DE CAJA DE LA ORIENTACIÓN DE LOS FOCOS DE INCENDIO OBTENIDOS DEL TÉC. FERRARIS EN LA RNV. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)..... 92

**FIGURA 82:** DIAGRAMA DE CAJA DEL ÍNDICE TOPOGRÁFICO DE HUMEDAD DE LOS FOCOS DE INCENDIO OBTENIDOS DEL TÉC. FERRARIS EN LA RNV. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA). ..... 92

**FIGURA 83:** MAPA DE EVENTOS DE INCENDIO (PUNTOS POSITIVOS) Y EVENTOS DE NO INCENDIO (PUNTOS NEGATIVOS) OBTENIDOS DE FIRMS EN LA RNV. SISTEMA DE COORDENADAS: UTM 19S – EPSG 32719. FONDO CARTOGRÁFICO: MAP DATA ©2015 GOOGLE. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA). ..... 104

**FIGURA 84:** MAPA DE EVENTOS DE INCENDIO (PUNTOS POSITIVOS) Y EVENTOS DE NO INCENDIO (PUNTOS NEGATIVOS) OBTENIDOS DEL ÁREA TÉCNICA DE VILLAVICENCIO EN LA RNV. SISTEMA DE COORDENADAS: UTM 19S – EPSG 32719. FONDO CARTOGRÁFICO: MAP DATA ©2015 GOOGLE. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA)..... 104

**FIGURA 85:** MAPA DE EVENTOS DE INCENDIO (PUNTOS POSITIVOS) Y EVENTOS DE NO INCENDIO (PUNTOS NEGATIVOS) OBTENIDOS DEL TÉC. FERRARIS EN LA RNV. SISTEMA DE COORDENADAS: UTM 19S – EPSG 32719. FONDO CARTOGRÁFICO: MAP DATA ©2015 GOOGLE. (FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA). ..... 105

## 1. INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas naturales son considerados sistemas complejos compuestos por diversos elementos que desempeñan un papel esencial tanto en la regulación como en el mantenimiento de los procesos ecológicos y en los sistemas de soporte de vida en la tierra. El buen funcionamiento de los mismos demuestra su integridad y están sujetos a un delicado equilibrio entre los factores abióticos y los organismos vivos a través de su interacción, evolución y control (De Groot, 2002).

La dinámica de cualquier ecosistema es el resultado no sólo de las condiciones ambientales actuales, sino que, además se encuentra influenciada por las fluctuaciones y perturbaciones del pasado. El término “disturbio” puede definirse como un evento más o menos discreto en el tiempo y en el espacio que altera la estructura de las poblaciones, de las comunidades o del ecosistema; produciendo cambios en la disponibilidad de recursos o en el ambiente físico (Pickett et al., 1999).

Dentro de los ecosistemas existentes, el fuego es uno de los disturbios que se encuentra presente en la mayoría de ellos. Este puede originarse por factores antrópicos o naturales y ser causante tanto de impactos positivos como negativos en el ambiente (Miguel et al., 2018; Sione, 2006). En el caso de los impactos positivos se recalca su importante rol ecológico en el ciclado de nutrientes, eliminación de vegetación acumulada y de plagas (Fundación Ambiente y Recursos Naturales [FARN], 2021) y en cuanto a los impactos negativos, se caracterizan por generar pérdidas de vidas humanas, daños en la propiedad, la flora, la fauna, el suelo, entre otros (Fernández-García et al., 2019; Miguel et al., 2018).

En Argentina, los incendios forestales son considerados uno de los fenómenos naturales que más impacta al país. Estos se producen en diferentes regiones y provincias acuerdo a la época del año. Por ejemplo, las provincias del sur tienen un elevado riesgo de incendios forestales en los meses estivales; mientras que las provincias del centro noreste en la época primaveral. Asimismo, con las primeras heladas de mayo, y hasta noviembre, la región Cuyo y el noroeste del país se encuentran más vulnerables (Dirección de Planificación y Prevención del Servicio Nacional de Manejo del Fuego, 2022).

Una de las maneras que ha encontrado el hombre para poder conservar los diferentes ambientes de los incendios ha sido a través de las Áreas Naturales Protegidas. La Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y los Recursos Naturales (UICN) define la categoría de áreas protegidas como: “una superficie de tierra y/o mar especialmente consagrada a la protección y al mantenimiento de la diversidad biológica, así como de los recursos naturales y los recursos culturales asociados, y manejada a través de medios jurídicos u otros medios eficaces” (Ferrero, 2018). El objetivo principal que se ha establecido en ellas, es mantener y preservar determinados fenómenos que puedan ser alterados por factores antrópicos, y solo permitir usos sustentables de los recursos (Arguedas, 2004; Macdonald, 2003). De esta manera, Argentina cuenta con 437 áreas protegidas que cubren el 11,9 % de la superficie terrestre y el 4,9 % de la superficie marina (Ferrero, 2018). Dentro de la misma, la provincia de Mendoza presenta el 13% de su superficie protegida a través de una red, denominada Red de Áreas Naturales Protegidas (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MAyDS], s.f.).

Dicho esto, se considera de suma importancia el estudio de los eventos de incendios en los diferentes ecosistemas tanto del país como del mundo especialmente en aquellos en donde se



ven afectados ambientes con recursos naturales de gran relevancia a ser conservados, tales como áreas protegidas, sitios Ramsar entre otros (Burkart, 2004; Ferrero, 2018; Karlin et al., 2015). La evaluación de las situaciones anteriores y posteriores a dichos eventos son elementos fundamentales que contribuyen a determinar las zonas de mayor ocurrencia de incendio y evitar las consecuencias ecológicas, biológicas y socioeconómicas asociadas (Vargas-Sanabria y Campos-Vargas, 2018).

Dentro de la provincia de Mendoza, la Reserva Natural Villaicencio (RNV), se caracteriza por cumplir un rol ecológico fundamental, ya que brinda protección a especies de flora y fauna entre otros recursos naturales de tres provincias fitogeográficas representativas del territorio provincial, favorece los servicios ecosistémicos que proporciona el ambiente y conserva humedales de suma importancia a nivel mundial. La misma forma parte de la Red de Áreas protegidas y es reconocida como sitio Ramsar (Fundación Villavicencio, 2018). Sin embargo, en ella se han registrado más de 17 eventos de incendios de diferentes intensidades en los últimos 40 años, tanto dentro como fuera de la misma (alrededores). Dichos eventos han generado daños severos que han tardado años en recuperarse y en muchos casos dejando secuelas en el lugar. Los mismos tuvieron diferentes orígenes: naturales, accidentales e intencionales (Chiaradia, 2021; Fundación Villavicencio, 2015).

En este sentido, uno de los grandes desafíos para la gestión de las áreas naturales protegidas es la búsqueda de nuevas herramientas para proteger y conservar el territorio de dichos eventos (incendios). Para ello, la implementación de herramientas de teledetección, sistemas de alerta temprana, estrategias de gestión, entre otras son cambios que pueden mejorar su protección a futuro (Fernández-García et al., 2019). En el presente trabajo se busca la incorporación de información útil para la protección de la reserva a través de la generación de un mapa de probabilidad de ocurrencia de incendios la mediante utilización de diferentes herramientas de teledetección.

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo General**

Determinar la probabilidad de ocurrencia de incendios en la Reserva Natural Villavicencio mediante herramientas de teledetección.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

1. Identificar y localizar espacial y temporalmente los eventos de incendios ocurridos en la Reserva Natural Villavicencio desde su creación en el año 2000.
2. Compilar y ajustar distintos indicadores de susceptibilidad a la ocurrencia de incendios.
3. Generar un mapa de probabilidad de ocurrencia incendios, mediante indicadores de susceptibilidad.



## 2.MARCO TEÓRICO

### 2.1 Incendios

Los incendios son descritos como el fuego no deseado de cualquier origen, que se propaga sin control en los recursos forestales causando daños ecológicos, económicos y sociales (Gil-Mora, 2022). Pueden generarse en diversas partes del mundo y su ocurrencia principalmente responde a los diferentes comportamientos climáticos y a la susceptibilidad natural o adaptación de la vegetación a la ignición y la inflamabilidad (Castillo et al., 2003). Se los puede clasificar en diferentes tipos dependiendo el criterio que se utilice.

Actualmente su clasificación se basa en dos criterios principales:

- ❖ Según la vegetación que se esté quemando, se distinguen tres tipos de incendio:
  - Incendios de superficie: son aquellos en donde el fuego consume los combustibles que se encuentran sobre el suelo como hierbas, arbustos, ramas caídas, leña, hojarasca y todo tipo de árboles sin quemar, son los más comunes y frecuentes.
  - Incendios de copas: generalmente, consumen la totalidad de la vegetación y son muy destructivos, peligrosos y difíciles de controlar, además, dañan severamente el ecosistema donde se presentan.
  - Incendios subterráneos: se caracterizan por la quema del mantillo y las raíces bajo la superficie del suelo o de la materia orgánica acumulada en las fracturas de los grandes afloramientos de rocas, su velocidad de propagación es lenta y causan efectos letales en la vegetación y en la microfauna. No son muy comunes (Villers, 2006).
  
- ❖ Según la causa de origen:
  - Incendios naturales: son causados por factores naturales tales como, tormentas eléctricas, altas temperaturas entre otros.
  - Incendios prescritos: caracterizados por ser considerados como una práctica de manejo bajo condiciones definidas y controladas para reducir la densidad, cobertura y biomasa de comunidades vegetales, mejorar la palatabilidad y digestibilidad de ciertas especies, etc.
  - Incendios accidentales: causados por factores humanos derivados de la imprudencia (Sione, 2006).

Por otro lado, como todo fenómeno, los incendios forestales cuentan con diferentes etapas de mantenimiento. En el caso particular de estos eventos su origen es a partir de una reacción química llamada “reacción de combustión”, la cual se caracteriza por ser una oxidación rápida que se produce a altas temperaturas y deja como resultado final un residuo compuesto mayormente por sales minerales, llamado cenizas (Ministerio de Ambiente y Desarrollo



Sostenible [MAyDS], s.f; Castillo-Soto y Garfias-Salinas, 2014). Según MAyDS (s.f.), las etapas del mantenimiento del fuego son las siguientes:

1. **Pre calentamiento:** La fuente de calor eleva la temperatura del combustible, cuando alcanza los 100° C comienza a perder humedad en forma de vapor de agua y con una temperatura cercana a los 200° C los compuestos volátiles de las resinas comienzan a evaporarse.
2. **Combustión de los gases:** Al llegar la temperatura de 300°/400° C se inicia la gasificación de los componentes estructurales y la ignición del material combustible. La temperatura sigue aumentando progresivamente hasta los 500°/ 600° C, momento en el cual la combustión continúa por sí sola aun si se retirara la fuente de calor. Se emiten gases no quemados, vapor de agua y humo.
3. **Fase sólida:** Esta etapa se caracteriza por la madera ardiendo con llama propia de color azulado, poco humo y baja emisión de gases de carbono. Cuando la combustión termina ya no queda combustible y solo se ven las cenizas.

### **Factores que influyen en el comportamiento del fuego**

El comportamiento del fuego es uno de los aspectos fundamentales que se debe tener en cuenta en el análisis de los eventos de incendios (Villers, 2006). Contar con conocimientos claros de los factores que influyen en él, es esencial para su comprensión y posterior control. Los factores que intervienen en el comportamiento de estos eventos son los siguientes: temperatura, dirección y velocidad del viento, continuidad, humedad, precipitaciones, combustible y topografía (Castillo-Soto y Garfias-Salinas, 2014).

La temperatura es uno de los componentes principales que condiciona la probabilidad de ocurrencia de incendios (McLauchlan et al., 2020). El aumento de la misma en las diferentes áreas implica una menor humedad relativa del aire afectando el estado de hidratación de los combustibles y favoreciendo la generación de ambientes secos y su inflamabilidad (Gil-Mora, 2022). Las diferencias térmicas existentes entre las superficies más próximas son las causantes de generar movimientos de aire que afectan la intensidad, velocidad y dirección de propagación, altura de llama y otras variables del comportamiento del incendio. Contrariamente el encargado de modular el inicio y la velocidad de propagación del incendio es el factor dirección y velocidad del viento, ya que, si se incrementa el mismo, crece el aprovisionamiento de oxígeno y aumenta la combustión y la transferencia de calor hacia áreas y combustibles no quemados. El viento puede empujar el fuego hacia arriba o hacia abajo cuando se encuentra en una ladera, ampliando la tasa de dispersión del incendio (Villers, 2006). Las situaciones de mayor peligro son aquellas en las que los vientos son fuertes y secos (Gil-Mora, 2022).

Por otro lado, la humedad y la precipitación son otros dos factores climáticos que se encuentran íntimamente relacionados entre sí y en conjunto a los anteriores ayudan a definir el comportamiento de los incendios. El factor humedad se caracteriza por expresar el contenido de humedad de la atmósfera a partir de la cual se determina la humedad de la vegetación y la posible inflamabilidad del combustible (MAyDS, s.f.). Entre más baja es la humedad relativa, es decir, mayor sea la escasez de agua, mayor y más rápido será el secado de los combustibles, por lo que tenderán a ser propensos a formar parte de un incendio. Por el contrario, si la humedad relativa es alta los combustibles no perderán toda o gran parte de su humedad y la probabilidad de incendios es más baja (Villers, 2006). La precipitación por su parte, es el factor que determina la cantidad de agua disponible en el suelo para ser utilizada por la vegetación,



desencadenando un aumento o disminución en la hidratación de la misma. Los períodos prolongados de sequía se caracterizan por crear condiciones factibles para el desarrollo de incendios de gran severidad al aumentar la disponibilidad de los combustibles secos y los períodos con abundante precipitación antes de la temporada de fuego también incentivan la generación de dichos eventos produciendo una gran cantidad de combustible que con el avance del tiempo estará disponible para quemarse. La cantidad de precipitación y su distribución a lo largo del año son aspectos sumamente importantes en la determinación del comienzo, final y severidad del fuego (Rosero y Osorio, 2013; MAyDS, s.f.).

Además de los factores climáticos, la vegetación y su continuidad son otros elementos claves que van a condicionar al fuego; siendo el factor combustible toda biomasa que potencialmente puede arder y ser expuesta a una fuente de calor (Villers, 2006). Dentro de este existen dos tipos de combustibles: los vivos, caracterizados por ser diferentes clases de hierbas, arbustos, árboles u otras plantas que se encuentran por debajo de su dosel; y el combustible muerto, integrado por troncos, ramas y hojas que normalmente se encuentran en el suelo. La velocidad de propagación del fuego sobre las plantas vivas depende de la humedad que estas contengan, si poseen una humedad considerable la propagación de incendio se retarda y en el caso del combustible seco generalmente al presentar menor humedad conlleva a una mayor inflamabilidad y facilidad con que puede iniciarse y propagarse en fuego. Los aspectos más importantes a tener en cuenta sobre el combustible son: cantidad, continuidad, distribución y calidad de la vegetación, velocidad de propagación del fuego, longitud de las llamas y emisión de pavesas (Castillo-Soto y Garfias-Salinas, 2014; Rosero y Osorio, 2013; Villers, 2006).

Asimismo, el factor continuidad se encuentra directamente relacionado con el combustible, y hace referencia a la proximidad de los mismos sobre el terreno y la distribución que presenta. A partir de ella se puede conocer si el fuego se propaga o no, cuán rápido lo hace y dentro de qué combustibles: superficiales, aéreos o ambos. En las áreas abiertas con combustibles muy espaciados, el fuego necesita de fuertes vientos y de la ocurrencia de focos secundarios para propagarse de una isla de vegetación a otra. Por el contrario, los combustibles que se encuentran de manera continua, especialmente aquellos constituidos por pastizales y arbustos bajos, facilitan la propagación de los fuegos en la superficie generando un rápido avance del incendio. Por otra parte, la continuidad vertical u horizontal que puede presentar el sistema también influye en el desarrollo del evento siendo que, si se trata de una continuidad vertical caracterizada por los combustibles ubicados en escalera, facilita el transporte del fuego dentro del dosel del bosque y la ocurrencia de fuegos de copas, aún con fuegos de superficie poco intensos. La continuidad horizontal de los combustibles subterráneos, facilita la propagación de fuegos subterráneos (Villers, 2006; MAyDS, s.f.).

El último factor a considerar es la topografía, donde la orientación de laderas afecta la conducta del fuego por medio de las variaciones en la cantidad de la radiación solar y vientos que reciben las mismas. La intensidad de radiación solar es mayor, cuando la orientación de la ladera es perpendicular al ángulo de incidencia del sol calentando más la superficie. La velocidad del viento se ve afectada por la inclinación, ya que entre mayor sea la pendiente del terreno en donde se está produciendo el incendio, este se propagará con mayor velocidad (Villers, 2006).

### **Zonas vulnerables al fuego**

Globalmente, las zonas áridas son una de las áreas que se caracterizan por presentar una gran vulnerabilidad a los eventos de incendios (Martínez, 1995). Las mismas abarcan más del 41.3% de la superficie de la tierra y son habitadas por más de dos billones de personas que dependen de sus servicios ecológicos y culturales para el normal funcionamiento de la vida cotidiana



(Godoy-Bürki, 2015). El término zonas áridas hace referencia a todas aquellas tierras en dónde el promedio de precipitaciones es menor a las pérdidas potenciales de humedad que ocurren a través de la evaporación y la transpiración (Águila, 2013; Godoy-Bürki, 2015). Se encuentran asociadas a las altas temperaturas y promueven constantemente la generación de ambientes seco, favoreciendo el inicio de fenómenos naturales como los incendios forestales (Noy-Meir, 1973; Cabrera, 1976).

En Argentina más del 60% de su superficie se encuentra con climas árido, semiárido o subhúmedo seco y aproximadamente el 30% de su población habita en estas áreas debido al alto valor agrícola que poseen (Godoy-Bürki, 2015; Morello, 1958). Sin embargo, entre el año 2000 y 2013 se registraron en promedio 113.660 incendios que afectaron a más de 18 millones de hectáreas de bosque nativo, pastizales, arbustales y bosques cultivados, causando severos disturbios a los ecosistemas naturales e influyendo de manera determinante en aspectos económicos, sociales y ecológicos (Zacconi, 2018).

La ecorregión del Monte, cuya extensión es 46 millones de hectáreas, es una de las regiones más áridas del territorio nacional (forma parte de la franja árida del país), con precipitaciones inferiores a 350 mm donde la dinámica ecosistémica está dominada por la sequía y las altas temperaturas en verano (Cabrera, 1976). La misma abarca varias provincias, como por ejemplo la provincia de Mendoza, donde el riesgo de incendio es muy elevado y constantemente está siendo amenazada por dichos eventos (Campos et al., 2013; Ferraris y Zacconi, 2012; Karlin et al., 2017).

Por otro lado, otra de las zonas consideradas vulnerables ante este tipo de eventos son los sitios Ramsar. Estas áreas si bien no se caracterizan por la falta de agua, ya que son humedales de gran importancia a nivel mundial, cumplen un rol ecológico fundamental que en la conservación de la biodiversidad (aves marinas) y provisión de servicios ecosistémicos (Guasone y Roncoroni, 2022). Solo ocupan el 23% de la extensión total de Argentina (Astelarra et al., 2017; Guasone y Roncoroni, 2022). Asimismo, de acuerdo a la Convención sobre los Humedales Ramsar, desarrollada en la localidad de Ramsar, un humedal es cualquier extensión de marismas, pantanos o turberas, u otras superficies cubiertas de agua, “sean éstas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros” (Secretaría de la Convención de Ramsar, 2013).

### **Impactos producidos por el fuego**

Los impactos producidos por los incendios pueden ser tanto positivos como negativos y son capaces de generar múltiples consecuencias. Dentro de estas se destacan:

- ❖ Consecuencias ambientales
  - Impactos en el suelo: El suelo, considerado componente básico de cualquier ecosistema, puede sufrir cambios directos producidos por el calentamiento proveniente del incendio en sus propiedades físicas, químicas y biológicas; y cambios indirectos como consecuencia de la nueva situación microclimática generada después del evento. Por ejemplo, una mayor susceptibilidad a la erosión tanto hídrica como eólica produciendo una aceleración el proceso de desertificación (Fernández-García et al., 2019; Rosero y Osorio, 2013).
  - Impactos en la vegetación: Los efectos del fuego sobre la vegetación responden al impacto directo del contacto de las llamas con los órganos vitales de las plantas,



principalmente hojas, tallo y raíz, trayendo como consecuencia la ruptura en la dinámica y estructura del ecosistema (Bond y Keane, 2017; Di Bella et al., 2008). Como resultado, la disminución de la vegetación aumenta la temperatura y la evaporación, al mismo tiempo que disminuyen la absorción y retención de agua, la porosidad, la aireación y la capacidad de infiltración, culminando con el empobreciendo de especies nativas y facilitado la expansión de exóticas (McLauchlan et al., 2020; Puig et al., 2008; Rosero y Osorio, 2013).

- Impacto sobre el medio biológico: el fuego también impacta sobre el medio biológico, el más relevante de ellos, en la fauna es la pérdida de su hábitat y nichos ecológicos, lo que reduce la diversidad y su abundancia relativa, con un efecto prolongado en el tiempo. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la Nación, 2022a). La desaparición de materia orgánica existente, también provoca la generación de cambio de hábitats para muchos microinvertebrados y de los recursos tróficos de los que dependen. Por último, la composición de la fauna se ve afectada de manera selectiva, alterando el equilibrio de los ecosistemas, así como sus ciclos de materia y energía (Carrasco y Núñez, 2019; Luna et al., 2022). Es decir que la mayoría de los servicios ecosistémicos propios que brinda el ecosistema se ven perturbados por los eventos de incendio (Mataix-Solera y Cerdà, 2009).
- Impacto sobre el cambio climático: uno de los mayores impactos de los incendios forestales en el ambiente son los efectos sobre el cambio climático. La combustión de enormes cantidades de biomasa provenientes de los bosques (tropicales, templados, áridos y boreales), praderas y tierras agrícolas sometidas a laboreo, han provocado la emisión de gases químicamente activos a la atmósfera y partículas típicas de la combustión, tales como: dióxido de carbono, monóxido de carbono, metano, óxido nítrico y partículas más pequeñas. Las emisiones históricas acumuladas netas de CO<sub>2</sub> desde 1850 a 2019 fueron de 2400 ±240 GtCO<sub>2</sub> y se espera que siga en ascenso en los próximos años (Castillo et al., 2003; Sione, 2006; Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2023).
- ❖ Consecuencias socioeconómicas

Dentro de estos impactos, se destaca la pérdida económica producto de los propios eventos de incendio tales como: costo de control del foco de incendio (uso de helicópteros, traslado de brigadistas etc.), daño a la propiedad pública y privada, costo de recuperación del área afectada, costo de implementación de nuevas herramientas o estrategias para la prevención de nuevos incendios a futuro, entre otros. (Fernández-García et al., 2019; Urzúa y Cáceres, 2011).

En el ámbito social, el cual se encuentra íntimamente relacionado con el anterior se distingue como impacto: la paralización de procesos productivos, disminución de fuentes de trabajo, pérdidas de vidas humanas, daño a la salud pública (contaminación de suelo, aire, agua) etc. (Carrasco, 2019; Castillo et al., 2003; Navarro, 2020; Urzúa y Cáceres, 2011).

Un ejemplo claro de los impactos del fuego, es el ocurrido en el Delta e Islas del Paraná en el año 2020. Dicha región pesar de pertenecer a una de las zonas ambientales más relevante del país debido al importante valor ecológico que aporta como humedal, se vio severamente afectada por los incendios. Algunas de las consecuencias que acompañaron a estos eventos fueron a nivel ecológico la disminución tanto de la biodiversidad como de los servicios ecosistémico que brinda el humedal. A nivel socioeconómico perdidas económicas debido a



que las tierras afectadas formaban parte del comercio y de la economía de la zona, perdida cultural (áreas afectadas utilizadas como zonas de recreación) etc.

Por último, a pesar de que gran parte de la sociedad relaciona los incendios forestales con desastres naturales y por ende los perciben de manera negativa, los incendios forman parte de la naturaleza misma y cumplen un rol ecológico fundamental en el reciclaje de los nutrientes y eliminación de vegetación acumulada como así también contribuyen en las características de las plantas, la estructura, la distribución de los biomas etc. La presencia de diferentes regímenes de incendio, puede ser el inicio de la diferenciación y es una de las grandes fuentes de diversidad. Las especies que viven en zonas con incendios recurrentes (especies pirófitas) se ven beneficiadas por estos eventos y adquieren características adaptativas que les confiere persistencia a los mismos (Castillo et al., 2003; Pausas, 2020; Gil-Mora, 2022; Luna et al., 2022).

## 2.2. Legislación

A lo largo de la historia, numerosos países (Argentina, Estados Unidos, Colombia, Costa Rica, entre otros) han incorporado diferentes técnicas para la lucha contra incendios tales como: la promulgación de leyes contra incendios, implementación de planes de manejo de incendios, incorporación de sistemas de alertas tempranas, recaudación de fondos destinados a los daños causados por dichos eventos, capacitación de brigadistas, etc. (Vega-Araya, 2015).

Una de las leyes más relevantes en Argentina es la Ley 26.815 de Manejo del Fuego, la cual establece presupuestos mínimos de protección ambiental en materia de incendios forestales y rurales en el ámbito del territorio nacional. Esta norma aplica a las acciones y operaciones de prevención, presupresión y combate de incendios forestales y rurales, en bosques nativos e implantados, áreas naturales protegidas, zonas agrícolas y otras áreas donde las estructuras edilicias se entremezclan con la vegetación fuera del ambiente estrictamente urbano o estructural. También alcanza a fuegos planificados (Fundación Ambiente y Recursos Naturales, 2021).

En el caso particular de la provincia de Mendoza, al presentar un marco geográfico caracterizado por una significativa aridez y fragilidad ambiental donde sus ecosistemas se encuentran afectados por procesos de desertificación, la incorporación de normativas contra los incendios forestales es fundamental (Ferraris y Zacconi, 2012). Asimismo, la concientización del cuidado de los recursos naturales a partir de la segunda mitad del siglo XX ha generado una evolución en cuanto a la implementación de diferentes estrategias para la conservación de los mismos, como así también su posible vinculación con otras leyes, por ejemplo, la Ley de Ordenamiento Territorial y Usos del Suelo (Ley N° 8051) (Fundación Ambiente y Recursos Naturales, 2021). La articulación entre el Sistema Provincial de Áreas Naturales Protegidas, los Bosques Nativos Protegidos y los Sitios Ramsar es uno de los avances más grandes que ha tenido la provincia de Mendoza y que permite proteger legalmente el 29% del territorio. A partir de esto, se presentan importantes desafíos en relación con la gestión efectiva de sus recursos y al ordenamiento de un territorio definido por la aridez (Arcos y D'Amico, 2022).

En la Tabla 1 se detalla la normativa relacionada con los incendios en Argentina y Mendoza.

**Tabla 1:** Leyes relacionadas con los incendios. Fuente: Elaboración propia

Leyes y Normas	Año de Sanción
Ley Nacional N°13.273 : Ley Defensa de la Riqueza Forestal	1948
Ley Provincial N°6.099: Prevención y Lucha contra incendios en zonas rurales y todas acciones que se dispongan a tales efectos	1993
Plan Nacional de Manejo del Fuego	1996
Ley Nacional N°25.675: Ley General del Ambiente	2002
Ley Nacional N°26.331: Presupuestos mínimos de protección ambiental de los Bosques Nativos	2007
Ley Provincial N°8.051: Ordenamiento Territorial y Usos del Suelo	2009
Ley Nacional N°26.562: Ley de presupuestos mínimos de protección ambiental para control de actividades de quema	2009
Ley Nacional N°26.815: Ley de presupuestos mínimos de protección ambiental en materia de incendios forestales y rurales	2013
Resolución Nacional 306/20 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible <sup>(1)</sup>	2020
Resolución Provincial 1946/23 de Dirección de Recursos Naturales. Incendios. Quema.	2023

### 2.3. Gestión del manejo del fuego

La gestión de cualquier fenómeno natural que pueda causar alguna alteración o modificación en el ecosistema es esencial para el cuidado del planeta (Sione, 2006). Pero para ello, es necesario disponer de bases de datos suficientemente precisas y actualizadas de las áreas afectadas por incendios forestales que les permita a los gestores una comprensión global de los factores de riesgo, así como de los mecanismos relacionados con la regeneración de las zonas quemadas (Koutsias y Karteris, 1998). En consecuencia, las evaluaciones iniciales de la severidad de las quemaduras son primordiales para abordar las posibles estrategias de gestión pre y post-incendio dirigidas a mantener la comunidad vegetal, preservar el suelo y todo su entorno (Fernández-García et al., 2017).

<sup>(1)</sup> Se trata de la Resolución Dirección de Recursos Naturales Renovables (DRNR) 1946/23 que regula el procedimiento para la solicitud y autorización de quema prescrita de pastizales en zonas no irrigadas de la provincia.



Argentina, como se ha mencionado anteriormente, cuenta con varias estrategias de gestión y control para este tipo de acontecimiento (legislación, sistemas de alertas temprana contra incendios, planes de manejo, etc.). Asimismo, el Gobierno Nacional a partir del año 2000 crea el Plan Nacional de Manejo del Fuego, actualmente llamado Servicio Nacional de Manejo del Fuego (SNMF) con el objetivo de poder conformar una brigada nacional que pudiese actuar en todo el territorio, coordinando y asistiendo técnica y operativamente a los diferentes organismos antes dichos eventos (Ayllón et al., 2022). El mismo depende del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la Nación y es responsable de coordinar al Sistema Federal de Manejo del Fuego, conformado por el propio SNMF, la Administración de Parques Nacionales, las provincias y la Ciudad Autónoma de Buenos Aires (Ayllón et al., 2022; Dentoni y Muñoz, 2007).

Actualmente el SNMF es el encargado de la implementación de un Sistema Nacional de Evaluación de Peligro de Incendios (SNEPI), basado en el *Canadian Forest Fire Danger Rating System* (CFFDRS), compuesto por el subsistema meteorológico *Fire Weather Index* (FWI), y el subsistema de predicción de comportamiento del fuego *Fire Behavior Prediction* (FBP) (Ferraris y Zacconi, 2012). Así mismo el SNMF, también se ocupa de garantizar la ejecución de las políticas nacionales en el manejo del fuego, coordinando acciones con las jurisdicciones y promoviendo la estandarización en las prácticas y utilización de nuevas técnicas. La interacción entre el Servicio Nacional y las jurisdicciones se articula mediante una regionalización del país (Dentoni y Muñoz, 2007; MAyDS, s.f.). Sus funciones principales son: prevención y alerta (la activación y mantenimiento de picadas, como cortafuegos y accesos para el control de focos de incendio), combate de incendios (preparación y equipamiento para grupo de brigadistas) y evaluación de daños y acciones de recomposición y restauración (Dentoni y Muñoz, 2007; MAyDS, s.f.).

En la Tabla 2 se aprecia la Regionalización del Servicio Nacional de Manejo del Fuego.

**Tabla 2:** Regionalización del Servicio Nacional de Manejo del Fuego (SNMF), Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable (MAyDS), a los efectos de coordinar las acciones con las provincias y los parques nacionales. Fuente: Ministerio de Ambiente y Desarrollo.

<b>Regional</b>	<b>Provincias que la componen</b>	<b>Temporada alta de incendios</b>
NOA	Jujuy, Salta, Catamarca, Tucumán	Julio a diciembre
Norte	Formosa, Chaco, Santiago del Estero, Santa Fe	Junio a octubre
NEA	Misiones, Corrientes, Entre Ríos	Enero a mayo y noviembre y diciembre
Centro	Córdoba, La Rioja, San Juan, San Luis	Junio a noviembre
Pampeana	Mendoza, La Pampa, Buenos Aires	Enero a abril y noviembre y diciembre
Patagonia	Río Negro, Neuquén, Chubut, Santa Cruz, Tierra del Fuego	Enero a abril y septiembre a diciembre

Conjuntamente, cada provincia cuenta con su propio Plan Provincial de Manejo de Fuego, contemplando diferentes estrategias según las leyes ya establecidas y analizando las zonas de mayor riesgo de incendio. En la provincia de Mendoza la Dirección de Recursos Naturales



Renovables (DRNR) tiene injerencia directa sobre el control de los incendios presuntamente intencionales o culposos ocurridos en distintas partes de la provincia. Tanto la Ley Forestal Nacional N° 13.273 (a la cual nuestra provincia adhiere mediante la Ley N° 2.088) como la Ley Provincial de Prevención y Lucha Contra Incendios en Zonas Rurales N° 6.099 y su Decreto Reglamentario N° 768/95, establecen el procedimiento a realizarse en caso de detectarse violaciones a dichas normas, como por ejemplo: el encendido de fuegos sin autorización de la autoridad u oponerse a realizar ciertas tareas que la misma legislación impone, como es el caso de apertura y mantenimiento de las picadas corta-fuegos. El Plan Provincial de Manejo de Fuego de la provincia (PPMF) se encuentra presente en la Ley N°6.099 y dentro del mismo las acciones que se destacan son aquellas relacionadas con el combate de incendios, la evaluación de las zonas afectadas y el área de influencia según aspectos físicos, biológicos, legales y socio-económicos.

A continuación, se detallan algunas de las acciones provenientes de PPMF:

- ❖ Evaluar la afectación de suelos, mediante análisis físicos y químicos y proyectar su poder de recuperación.
- ❖ Evaluar en base a datos planialtimétricos y relevamiento "in situ", el comportamiento y efectividad de las picadas corta-fuego en relación a los agentes meteorológicos en cada zona y diseñar el trazado de nuevas picadas en base a los resultados.
- ❖ Relevar la productividad y diversidad de pastizales y especies vegetales claves en sitios con distinto tiempo de recuperación a partir del fuego, como así también la afectación de fauna en muestreos a campo con énfasis sobre especies con problemas.
- ❖ Identificar zonas críticas y prioritarias, según biomasa de material combustible y contenido de humedad en el mismo.
- ❖ Diagramar Plan de Acción para la recuperación de áreas degradadas, priorizando áreas remanentes.
- ❖ Controlar y/o evitar pastoreo inmediato en áreas afectadas propiciando la recuperación de pastos perennes y suelo.

En cuanto a las estrategias de prevención se señala: la responsabilidad de actualizar en forma dinámica la base de datos cartográfica SIG, con especial interés en las áreas de riesgo; relevar y mantener recursos humanos, equipos e infraestructuras disponibles para combatir incendios; llevar adelante un Plan Provincial de Diseño y Mantenimiento de Picadas Cortafuego, entre otras.

La RNV, por ejemplo, aplica este plan y cuenta con registros de los incendios ocurridos dentro de su área y la aplicación de una herramienta técnica de gestión integral (elaborada por ella misma) con el objetivo de tratar los criterios de conservación, reducción de riesgos de desastres, planificación estratégica y educación ambiental. Se ocupa de determinar zonas de riesgos y jerarquizarlas y cuenta con sistema de monitoreo y protocolo de control de incendios (Fundación Villavicencio, 2018).

## **2.4. Herramientas de teledetección**

La Teledetección (también llamada detección o percepción remota) se define como una técnica de observación a distancia, que permite la adquisición de información a diferentes escalas de un objeto o fenómeno con el cual no se está en contacto directo (Garay, 2020). En ella, se



estudian las variaciones espectrales, espaciales y temporales de las ondas electromagnéticas, y se pone en manifiesto las correlaciones existentes entre éstas y las características de los diferentes materiales terrestres. Su objetivo principal se centra en la identificación de los materiales de la superficie terrestre y los fenómenos que en ella operan a través de su materia espectral (Di Bella et al., 2008; Sacristán-Romero, 2005).

En cuanto al estudio del ambiente, las herramientas de teledetección son comúnmente utilizadas (Sione, 2006). Las mismas permiten el estudio de extensas áreas en función de las resoluciones espaciales disponibles de la información o de las capas. También se caracterizan por brindar información en aspectos temporales, contemplando así, la posibilidad de visualizar diferentes eventos naturales de manera cronológica. Dicha información es recogida desde plataformas de observación que pueden ser aéreas o espaciales a partir de sistemas situados en la Tierra (Fernández-García et al., 2017). A nivel mundial resultan muy eficaces, ya que poseen la capacidad de poder proporcionar un inventario rápido y preciso de las superficies afectadas por diferentes eventos, así como su posterior dinámica (Fernández-García et al., 2018; Sánchez-Díaz, 2018; Sione, 2006).

Actualmente, existen varios satélites cuyos instrumentos están diseñados de forma específica para proveer información de distintos eventos tales como incendios forestales, inundaciones, etc. (Chuvieco et al., 2008; Garay, 2020). Uno de los más utilizados y reconocidos es Landsat en sus diferentes versiones, debido a la facilidad de adquisición de las imágenes y las resoluciones tanto espectrales como espaciales que posee (Chuvieco, 1990). Por otra parte, los sensores comúnmente empleados según Garay (2020) para diferentes estudios son los siguientes:

- ❖ MODIS (*Moderate – Resolution Imaging Spectroradiometer*), un instrumento de la NASA que se encuentra a bordo de las misiones satelitales Terra (1999) y Aqua (2002). Es uno de los más conocidos.
- ❖ VIIRS (*Visible Infrared Imaging Radiometer Suite*), sensor de la NASA a bordo del satélite Suomi NPP (*Suomi National Polar-Orbiting*) y de NOAA- 20 (*National Oceanic and Atmospheric Administration*).

Numerosos autores señalan el interés de utilizar este tipo de herramientas para efectuar la identificación de la susceptibilidad, el seguimiento y la valoración del peligro de incendio en diferentes zonas. En ellas, lo que se destaca es su capacidad de proporcionar información sobre áreas extensas, a veces inaccesibles y con la frecuencia temporal que requieren estos eventos en las diferentes partes del mundo (Bond y Keane, 2017; Fernández-García et al., 2017; Reyes-Bueno y Balcazar-Gallegos, 2021; Sione, 2006). Además, a partir de las mismas se pueden evaluar medidas previas a la ocurrencia del fuego a través de la elaboración de mapas de riesgo de incendios (mediante aplicaciones relacionadas con la detección de incendios y áreas quemadas previas a los mismos), y medidas posteriores que se asocian al estudio de la recuperación de la cobertura vegetal (Chuvieco, 1990; Fischer et al., 2007).

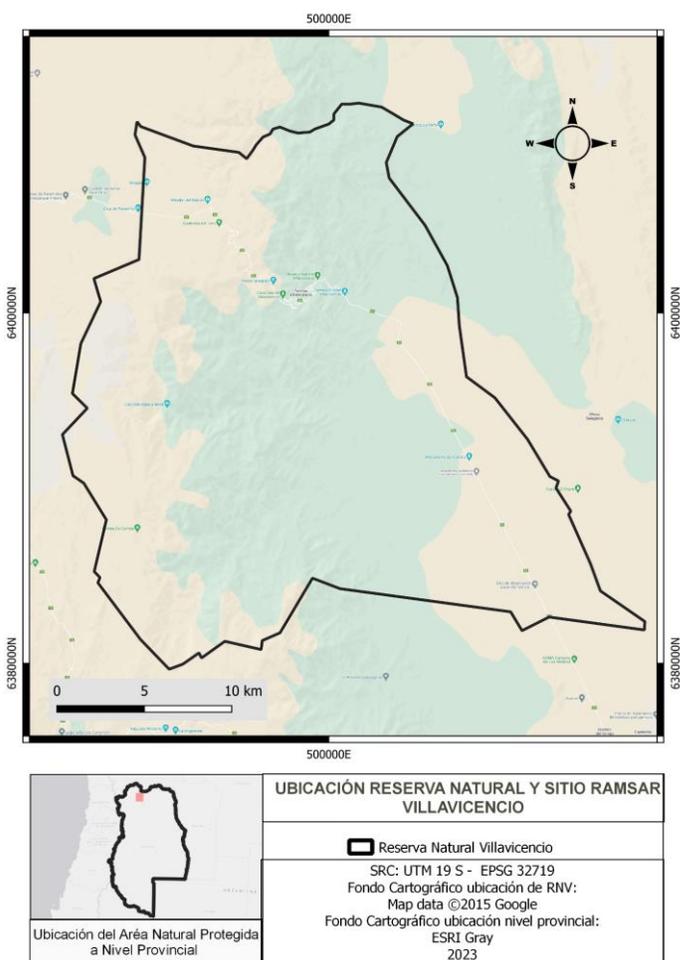
Complementariamente, a partir de dichas herramientas es posible estudiar a nivel espectral el proceso de combustión característico de los incendios, a través de un descenso de la reflectividad en las regiones visibles y del infrarrojo cercano y un aumento en el infrarrojo medio de onda corta (Arellano et al., 2017). Mediante esta respuesta de la vegetación quemada, se

han desarrollado diversos índices para estimar la severidad de un incendio tales como: *Burned Area Index* (BAI) (Chuvieco et al., 2008), *Normalized Burn Ratio* (dNBR) (Key y Benson, 2005), *Relative delta Normalized Burn Ratio* (RdNBR), entre otros (Vidal et al., 2017).

### 3. METODOLOGÍA

#### 3.1. Área de estudio

La Reserva Natural Villavicencio se encuentra en el departamento de Las Heras, provincia de Mendoza (Figura 1). Está ubicada a unos 30 km hacia el noroeste de la ciudad, entre las depresiones del valle de Uspallata y las planicies orientales de la precordillera de Los Andes. Posee una superficie total de 72.000 ha, entre los 68° 50' y 69° 10' Long. O y los 32° 25' y 32° 35' Lat. S (Puig et al., 2008).



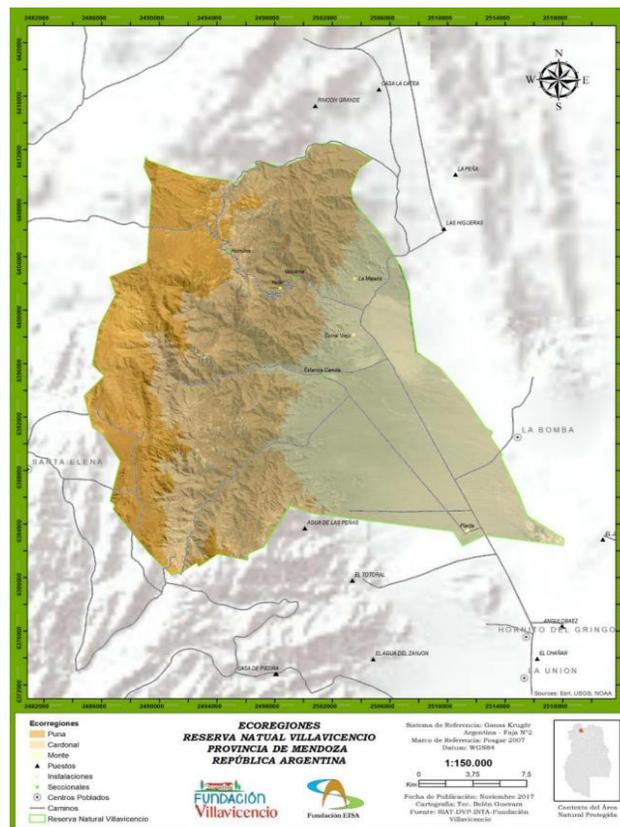
**Figura 1:** Ubicación de la Reserva Natural Villavicencio. (Fuente: Elaboración propia).

Actualmente es la única área natural protegida privada que se encuentra en la provincia formando parte de la Red de Áreas Protegidas. Fue creada bajo la Resolución N° 1.065 de la

Dirección de Recursos Naturales Renovables en el año 2000 y es gestionada por la Fundación Villaviccencio. El 27 de diciembre de 2017 fue incorporada a la lista de sitios Ramsar, reconociendo a sus humedales de gran importancia a nivel internacional. Sus objetivos principales son: la protección de los ecosistemas naturales, las especies de flora y fauna nativa, la preservación de los recursos hídricos y la protección del patrimonio arqueológico e histórico de la región y la profundización de los conocimientos sobre estos (Dalmasso et al., 1999).

### Fitogeografía

La Reserva se sitúa, como anteriormente se nombró, en la Precordillera de Mendoza, incluyendo además parte del piedemonte. Presenta una gran variabilidad de paisajes, topografía, diferencias altitudinales y exposiciones a la radiación solar lo que conlleva a tener un amplio espectro en cuanto a la biología animal, clima, vegetación entre otros. (Roig y Carretero, 1998). Dentro de la misma están representadas tres de las siete provincias fitogeográficas que contiene la provincia (Figura 2). La región del Monte que se extiende por el Piedemonte de la Precordillera hasta los 1500-1600 m.s.n.m.; el Cardonal que sigue principalmente las laderas de solana hasta aproximadamente los 2700 m.s.n.m.; y la Puna que se extiende entre los 2700 y 3000 m.s.n.m., (Fundación Villaviccencio, 2020; Puig et al., 2008). Entre cada unidad fitogeográfica existe, además, un área de transición o ecotono, que es variable según la topografía (Roig y Carretero, 1998).



**Figura 2:** Ecorregiones de la Reserva Natural y Sitio Ramsar Villaviccencio. Fuente: Fundación Villaviccencio (2018).

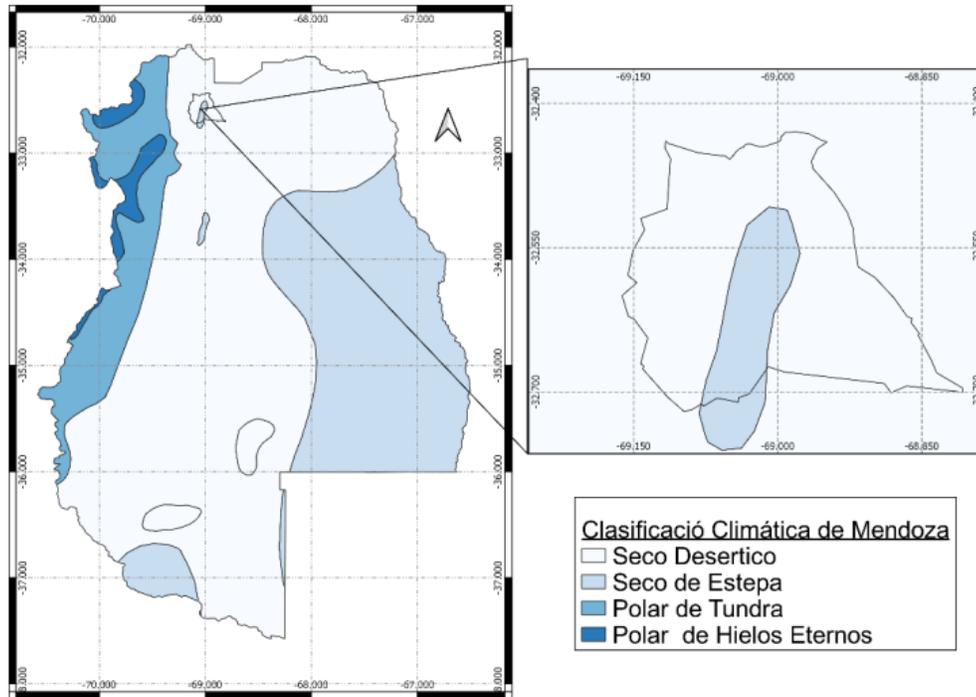


En cuanto a la vegetación, la misma se compone de numerosas especies vegetales. En la unidad biogeográfica Puna dicha vegetación se extiende desde la Puna peruano-boliviana hasta Mendoza y se caracteriza por presentar una cobertura vegetal baja (30%). Las comunidades vegetales propias de la misma son *Mutisia linifolia*, *Baccharis incarum*, *Chuquiraga erinacea* y *Lycium fuscum*, etc. y otras que comparte con las demás provincias. El Cardonal se ubica altitudinalmente como piso intermedio entre el Monte y la Puna. Presenta una cobertura vegetal discontinua la cual se localiza por lo general en laderas de solanas donde las cactáceas columnares, bromeliáceas terrestres y otras acompañantes lograron su mejor expresión. En su límite superior comparte numerosos elementos florísticos con esta última unidad. Ambos ambientes (Puna y Cardonal) se encuentran relativamente poco representados en Mendoza y merecen por lo tanto especial atención. Por último, el Monte se encuentra en el nivel inferior de la reserva, el mismo abarca noroeste y centro de la Argentina, desde Salta hasta el noreste de Chubut, siendo ésta, la provincia fitogeográfica más extensa de las tres nombradas anteriormente. Su cobertura vegetal es alta (85%) y las especies que se destacan son: arbustales altos de zigofiláceas como la jarilla *Larrea cuneifolia*, la jarilla hembra (*Larrea divaricata*), la jarilla crespita (*Larrea nítida*), jarilla macho (*Zuccagnia punctata*), cedrón de monte (*Aloysia gratissima*), entre otras (Dalmaso et al., 1999; Fundación Villavicencio, 2018; Martínez, 1995; Roig y Carretero, 1998).

La RNV se destaca, además, por ser es la única unidad de conservación, hasta el momento, que proporciona la protección de los recursos de la Puna y el Cardonal, considerados elementos importante y representativo de un sector de la Precordillera dentro de la provincia de Mendoza (Roig y Carretero, 1998).

### Clima

En términos generales el clima en el área pedemontana es de marcada aridez (Dalmaso et al., 1999). Las temperaturas medias presentan una gran variabilidad en las diferentes zonas debido a las amplias diferencias de altitud que se contemplan, las distintas intensidades de radiación solar recibida en los diferentes puntos y la baja humedad relativa. La temperatura media del mes más cálido (enero) es de 17°C y la del más frío (julio) 5°C (Fundación Villavicencio, 2018; Roig y Carretero, 1998). Según la clasificación de Köppen (Figura 3) el clima específicamente de la zona de Villavicencio se destaca por ser una transición entre los climas de Tundra y Desértico. La Tundra se encuentra en el área por sobre los 3000 m.s.n.m y el resto de la reserva posee un clima desértico el cual se caracteriza por lluvias escasas y una elevada evapotranspiración (Fundación Villavicencio, 2018). Así mismo, las mayores temperaturas coinciden con las ocurrencias de las mayores precipitaciones, obteniendo como resultado la temporada de crecimiento para las plantas y de reproducción para la mayoría de los vertebrados silvestres (Fundación Villavicencio, 2020).



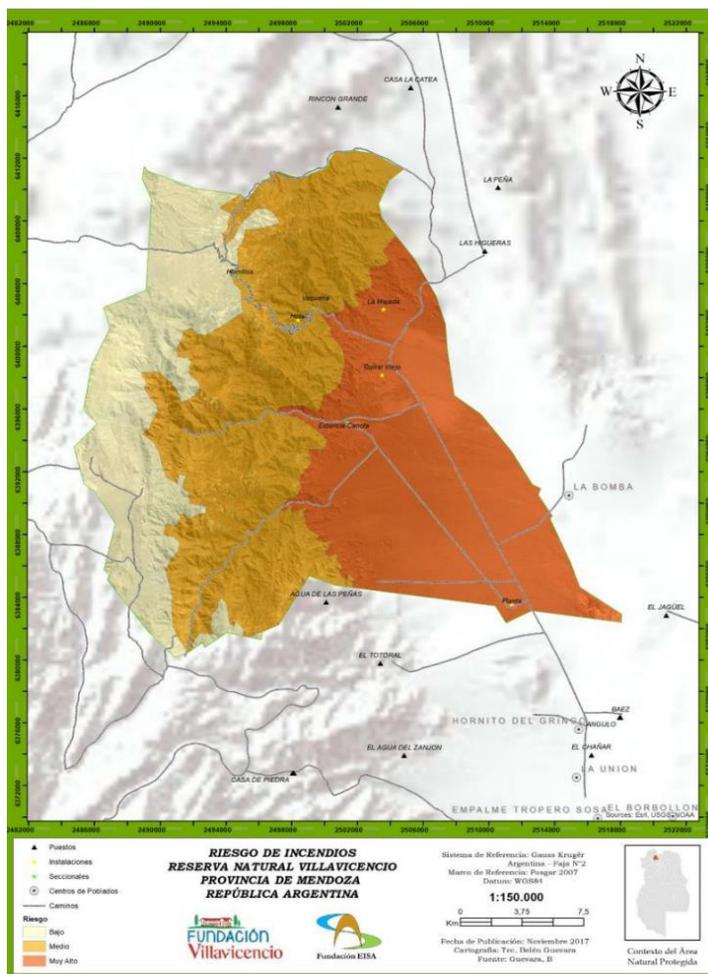
**Figura 3:** Mapa de clasificación climática de Mendoza (Köppen). Climas presentes la RNV. Fuente: Zabala, 2021.

En la RNV las lluvias se concentran en la época estival y la frecuencia de los vientos cálidos y secos tipo föehn (Zonda) junto a la gran heliofanía, determinan que haya un déficit de agua permanentemente. Las precipitaciones son esporádicas, discontinuas y localizadas ocurriendo en dos períodos bien determinados: uno de octubre a marzo (con el 72% del agua precipitada) y otro de abril a septiembre (con el 28%) (Dalmasso et al., 1999; Roig y Carretero, 1998). Consecuentemente cada una de las regiones fitogeográficas presentan diferentes disponibilidades de agua (por ejemplo, en distintas zonas de la Puna, la media de 251 mm de precipitación y de 106 mm en las zonas bajas del Monte) (Fundación Villavicencio, 2018).

### Incendios

Uno de los disturbios antropogénicos de mayor importancia en cuanto a la variación y modificación del paisaje son los incendios forestales (Zivkovic et al., 2013). La Reserva Natural Villavicencio a pesar de estar comprendida dentro de la Categoría IV de IUCN, lo que indica que es un área que debe ser protegida y en donde ciertas actividades están prohibidas (Puig et al., 2008), suele sufrir eventos de incendios que generan cambios en la estructura, riqueza y composición florística del ecosistema (Chiaradia, 2021; Puig et al., 2008). Dichos cambios favorecen el reemplazo de especies nativas características de las diferentes provincias fitogeográficas como lo son los matorrales arbustivos del piso inferior de *L. divaricata* por pastizales de *S. eriostachya* y del piso superior matorrales de *Colliguaja integerrima* y *Diostea scoparia* por el pastizal de *S. tenuissima* (Dalmasso et al., 1999; Fundación Villavicencio, 2015, 2017; Puig et al., 2008). La susceptibilidad a la ocurrencia de incendios que presenta la RNV se ve potenciada en ciertas épocas y zonas, debido a las condiciones climáticas, la composición de las comunidades vegetales y al mal uso de algún sitio utilizado por visitantes ocasionales (Fundación Villavicencio, 2015; Puig et al., 2008).

Para contrarrestar dichos efectos se propone la activación y mantenimiento de picadas, como cortafuegos y accesos para el control de focos de incendio como parte del Plan Provincial de Manejo del Fuego (Fundación Villavicencio, 2017; Zacconi, 2018). Además, se han definido por los mismos guardaparques de la zona y científicos asociados sectores vulnerables dentro del área protegida según su riesgo de incendio (Puig et al., 2008). La identificación de los niveles de riesgo de incendio (Figura 4) se manifiestan según sus intensidades, siendo los de Muy Alto y Alto nivel los que se corresponden frecuentemente con el desarrollo histórico de incendios, en relación a los registros disponibles (Fundación Villavicencio, 2017).



**Figura 4:** Mapa de Zonificación de Riesgo de Incendios de la Reserva Natural Villavicencio. Fuente: Fundación Villavicencio, 2017.

### 3.2 Identificación de los eventos de incendios

La identificación y localización de los focos de incendios ocurridos en el área de estudio desde el año 2000 al 2023, se llevó a cabo mediante la consulta de tres fuentes de información distintas:



- ❖ Plataforma Firms (*Fire Information for Resource Management System*): se caracteriza por estar desarrollada por la NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) e integrar tecnología de sensores remotos y sistemas de información geográfica (SIG) para contribuir con productos globales, estacionales, anuales y en tiempo real de focos de calor activos. La información de los focos de calor se obtiene a partir del sensor MODIS a bordo de los satélites Aqua y Terra, cuya resolución espacial es de 1 km (Di Bella et al., 2008; Navarro, 2020).
- ❖ Área técnica de Villavicencio y guaradaparques (AT): se utilizaron los registros de focos de incendios detallados en el informe brindado por el AT de la reserva (Fundación Villavicencio, 2015). De estos se consideraron únicamente los puntos registrados desde el año 2000 en adelante y los que poseían su fecha completa de ocurrencia (día-mes-año). Los mismos (focos de incendios) fueron utilizados con anterioridad en otros trabajos (Chiaradia, 2021; Galli, 2020).
- ❖ Consulta a experto: Los datos fueron tomados de los registros brindados por el Técnico en Conservación de la Naturaleza Guillermo Ferraris, actual brigadista de la provincia y ex jefe del Plan Provincial de Manejo del Fuego.

En el Anexo 1 se detallan las tablas con los registros de focos de incendios obtenidos de cada uno de los tres conjuntos de datos planteados.

### Análisis de patrones espaciales de puntos

Para determinar si los focos extraídos de la plataforma Firms pertenecían o no a un mismo evento de incendio se realizó un análisis de patrón de distribución puntual. Para ello, a partir de la herramienta *Análisis de vecinos más próximos* de QGIS que analiza las distancias entre todos los puntos de capa respecto a sus vecinos próximos, se determina la distribución que la misma adquiere, es decir se determina si los puntos se distribuyen espacialmente de forma aleatoria, de forma regular o de forma agrupada sobre el territorio.

Cuando la *distancia observada* es inferior a la *distancia esperada*, se considera que existe un patrón de agregación (no aleatorio). Cuando la *distancia observada* es superior a la *esperada*, el patrón es aleatorio (Condes y Martínez Millán, 1998; Hopkins y Skellam, 1954). En cuanto a los valores que puede llegar a tomar el índice de vecinos más próximos se establece lo siguiente:

- ❖ **Patrón clusterizado:** Valores próximos a 0. La densidad de los puntos es elevada en ciertas zonas presentando agrupaciones en su entorno
- ❖ **Patrón aleatorio:** Valores próximos a 1. Los puntos no tienen ninguna estructura definida.
- ❖ **Patrón regular:** Valores próximos a 2. La densidad de los puntos es constante y se encuentran alejados entre sí.

Posteriormente, a partir de esta información y conociendo la distribución de los focos de incendios se delimitó el área de estudio, la cual es más extensa que el límite administrativo de la RNV debido a que se tuvieron en cuenta focos que se encontraban tanto dentro como fuera de la misma y fueron considerados relevantes para los análisis estadísticos llevados a cabo.

### 3.3. Compilación y cálculo de los indicadores de susceptibilidad a la ocurrencia de incendios

Como se ha mencionado anteriormente, las variables climáticas, morfológicas y las que caracterizan a la vegetación son elementos claves para el estudio de los eventos de incendio. A partir de ellas, se puede estudiar tanto el comportamiento, el inicio y la propagación de los incendios como así también determinar las áreas de mayor probabilidad de ocurrencia (Villers, 2006). Asimismo, la posibilidad de obtener valores de cada una de ellas va a depender de la ubicación del área de estudio, ya que si bien hay un gran abanico de herramientas para la obtención de las mismas (Sione, 2006), no todas las partes del planeta cuentan con igual disponibilidad de satélite de altas resoluciones, ni estaciones meteorológicas cercanas para la captación de los datos.

Una vez identificados los eventos de incendios, se analizaron las siguientes variables:

- ❖ Índices espectrales de vegetación: índice NBR (Índice espectral *Normalized Burn Ratio* o Índice Normalizado de Área Quemada), dNBR (Diferencial NBR), GCI (Índice de Clorofila Verde) y dGCI (Diferencial GCI).
- ❖ Variables climáticas: Temperatura de la superficie de la Tierra (TIR), precipitación, temperatura y humedad del suelo.
- ❖ Variables topográficas: pendiente, orientación e índice de humedad topográfica (TWI).

Por otra parte, si bien la variable velocidad de viento es considerada fundamental para el estudio de los eventos de incendio, para el área de estudio no hubo datos disponibles, ya que el satélite que brinda la información sólo proporcionaba datos mensuales y la RNV no cuenta con una estación meteorológica propia.

Finalmente, a partir de la localización de cada evento de incendio se capturaron los valores de las variables explicativas y se generó una única base de datos para el posterior análisis estadístico. Por otro lado, para la representación gráfica de los valores de la variable, se confeccionaron mapas para cada uno de los eventos de incendios de cada fecha. Las imágenes que no tenían la misma extensión se corrigieron mediante la herramienta resampling de SAGA GIS y se consideró que todas estuvieran en el mismo sistema de referencia de coordenadas (UTM zona 19 S - EPSG:32719).

#### 3.3.1. Índices espectrales de vegetación

El segundo paso fue la descarga de imágenes satelitales para el posterior cálculo de índices espectrales. Las mismas se obtuvieron de la página web Earth Explorer del USGS (*United States Geological Survey*) (<https://earthexplorer.usgs.gov/>).

Se utilizaron imágenes de Landsat 5 para todos los focos de incendio comprendidos entre los años 2000 - 2011, de Landsat 8 para los focos entre 2015 - 2020 y de Landsat 9 para los años 2021- 2023. De cada una de las imágenes, se utilizaron las bandas NIR (*Near Infrared*), SWIR (*Short Wave Infrared*), GREEN y TIR (*Thermal Infrared Sensor*).

Posteriormente, se descargó la imagen inmediatamente anterior y la inmediatamente posterior a cada evento de incendio, filtrando sólo aquellas imágenes que poseían una cobertura de nubes menor al 30%.

Luego, en el programa QGIS se calcularon los siguientes índices espectrales: NBR (Índice espectral *Normalized Burn Ratio* o Índice Normalizado de Área Quemada), dNBR (Diferencial NBR), GCI (Índice de Clorofila Verde) y dGCI (Diferencial GCI).

### **Índice espectral Normalized Burn Ratio o Índice Normalizado de Área Quemada (NBR)**

El índice NBR es un índice que permite la identificación de las superficies afectadas por el fuego a partir del contraste espectral entre dos bandas: el infrarrojo cercano (NIR) y el infrarrojo de onda corta (SWIR).

En el caso de la vegetación saludable (en donde no ha ocurrido un evento de incendio) presenta una reflectancia muy alta en el NIR y una baja reflectancia en la porción del espectro SWIR, por el contrario, en un ambiente post-incendio, las superficies quemadas son poco reflectivas en el NIR y están asociadas a las alteraciones estructurales de la vegetación; en contraste, con el SWIR, que son muy reflectivas debido a la pérdida de agua en el suelo y la vegetación (Keeley, 2009).

El intervalo de variación de dicho índice, al estar normalizado, queda comprendido entre -1 y +1 y mide cuánta energía es reflejada por la vegetación respecto a la energía solar incidente. Un valor alto de NBR indica vegetación saludable, mientras que un valor bajo indica suelo desnudo y áreas recientemente quemadas. Las áreas no quemadas normalmente se atribuyen a valores cercanos a cero (Keeley, 2009; Key y Benson, 2006; Manzo y López, 2013).

Su expresión es la siguiente:

$$\text{NBR} = \frac{\text{NIR} - \text{SWIR}}{\text{NIR} + \text{SWIR}} \quad \text{Ecuación 1}$$

### **Diferencial NBR**

Los valores de dNBR están basados en el cambio temporal entre las imágenes pre y post-fuego. La diferencia entre el NBR previo y el posterior al incendio es utilizado para calcular el diferencial NBR (dNBR o  $\Delta\text{NBR}$ ), permitiendo estimar la severidad del evento (Miller y Thode, 2007; Vidal et al., 2017).

Un valor más alto de dNBR indica un daño más severo, mientras que las áreas con valores negativos de dNBR pueden indicar un nuevo crecimiento de vegetación después de un incendio. La fórmula del índice es la siguiente:

$$\text{dNBR} = (\text{NBR pre} - \text{NBR post}) \quad \text{Ecuación 2}$$

Para la interpretación de este índice se utilizó la paleta de colores propuesta por el USGS. En la misma se indica que los colores violetas o rojos representan las áreas quemadas mientras que el color verde indica zonas con vegetación saludable o no quemada.

### Índice de Clorofila Verde (GCI)

El Índice de Clorofila Verde (GCI) se utiliza para estimar el contenido de clorofila en las hojas de diversas especies de plantas. Refleja el estado fisiológico de la vegetación, disminuyendo en plantas estresadas en comparación de las que gozan de buena salud (Flores-Rodríguez et al., 2021).

Es considerado un buen índice para el monitoreo de la actividad fotosintética. En él se relacionan las bandas verdes (GREEN) e infrarroja cercana (NIR) (Gitelson et al., 2005). El resultado obtenido a partir del mismo es que a mayor valor, la planta contiene una alta actividad fotosintética (Ávila y Royero, 2021).

La fórmula del índice es la siguiente:

$$\text{GCI} = (\text{NIR} - \text{GREEN}) - 1 \quad \text{Ecuación 3}$$

### Diferencial GCI

El diferencial GCI es producto, al igual que el dNBR, de la diferencia entre GCI previo al incendio y el posterior. A partir de él se puede determinar la severidad del incendio y se calcula a través de la expresión:

$$\text{dGCI} = (\text{GCI pre} - \text{GCI post}) \quad \text{Ecuación 4}$$

### 3.3.2. Variables climáticas

#### Temperatura Superficial de la Tierra (TIR)

Para obtener los valores de la temperatura de la Tierra a nivel superficial se empleó la banda TIR, correspondiente a la banda 6 en Landsat 5 y a la banda 10 en Landsat 8 y 9.

Debido a que la banda TIR en las distintas misiones de Landsat presenta diferente resolución radiométrica (Landsat 5: 8 bits, y Landsat 8 y 9: 16 bits), se realizó una transformación de la banda 10 del Landsat 8 y 9 a partir de la siguiente expresión:

$$\text{banda 6 Landsat 5} = 0.0039 * \text{banda 10 Landsat (8 y 9)} \quad \text{Ecuación 5}$$

## Humedad del suelo

Se utilizaron los datos de humedad del suelo provistos por SMAP (*Soil Moisture Active Passive*), un satélite de la NASA que fue puesto en órbita el 31 de enero de 2015. Cada producto consta de cuatro bandas específicas generadas a partir de las tres pasadas por el sector y posee diferentes resoluciones espaciales dependiendo del lugar que se desea analizar (Vergopolan et al., 2021).

Para este trabajo, los datos fueron descargados de la página del *National Snow and Ice Data Center* (NSIDC) (<https://nsidc.org/data>). Se descargaron dos productos por cada evento: uno del día del incendio y otro correspondiente a tres días previos al mismo. La resolución espacial de la imagen es de 9x9 km y la resolución temporal de 3 días.

El producto final que se obtuvo para cada evento de incendio se encuentra integrado por tres imágenes (correspondiente a tres pasadas del satélite) de humedad de suelo expresada en vol/vol sobre la región de Sudamérica (NASA, s.f.).

## Temperatura

Se consideró la temperatura máxima mensual, la temperatura máxima previa al evento (tres días previos) y temperatura del día del incendio. En el primer caso se utilizaron los datos provistos por la base de datos meteorológicos TerraClimate, con una resolución espacial de 4 km, y en el segundo y tercero los provistos por la base de datos meteorológicos AgERA5 cuya resolución espacial es de 9.6 km. Ambos set de datos fueron descargados de Climate Engine (<https://www.climateengine.org/>).

Cabe aclarar que para los datos de temperaturas máximas mensuales del año 2023 se utilizaron únicamente los datos de AgERA5, ya que los de TerraClimate sólo se encuentran disponibles hasta el año 2020.

## Precipitación

Se consideró la precipitación media mensual, la precipitación media previa al incendio y la precipitación media del día del incendio. En cuanto a la primera variable, los datos fueron obtenidos de la base de datos meteorológicos TerraClimate; en el caso de las dos variables restantes de la base de datos de precipitación CHIRPS (Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data) cuya resolución espacial es de 4.8 km.

Los datos fueron descargados de Climate Engine (<https://www.climateengine.org/>); y en el caso de los focos del año 2023 se utilizaron los datos de AgERA5 para los valores de precipitaciones ya que sucedió una situación similar a la descrita en el apartado de temperatura.

### 3.3.3. Variables morfológicas

#### Pendiente y Orientación de laderas

Para la obtención de las variables pendiente (calculada en porcentaje) y orientación de laderas se utilizó un Modelo Digital de Elevación (MDE) del satélite ALOS PALSAR de 12.5 m de resolución, el cual fue descargado de la plataforma ASF Data Search

(<https://search.asf.alaska.edu/#/>). Los Modelos Digitales de Elevación, permiten describir la topografía del terreno (o relieve) a través de los puntos distribuidos en forma homogénea sobre la superficie terrestre y cuya altura está referida al nivel medio del mar. Este modelo de la superficie terrestre desnuda, es particularmente útil en estudios hidrológicos, de suelos, planificación del uso del suelo o descripción de algún siniestro (Fallas, 2007).

### **Índice Topográfico de Humedad (TWI)**

El Índice Topográfico de Humedad (ITH, TWI o CTI) permite identificar los potenciales lugares donde se concentra la humedad o las zonas de acumulación de agua. El cálculo de dicho índice se basa en una secuencia de análisis de Modelos Digitales de Terreno junto a su morfología para la elaboración de inventarios de potenciales zonas húmedas o la identificación de los límites de las láminas de una masa de agua ya existente (Roa y Kamp, 2012; Arteaga et al., 2020). Cuanto más elevado es el valor de este índice, mayor humedad debe presentar la celda en función de su configuración topográfica, la cual es extraída del modelo de elevación digital, lo que indica zonas de concentración de escurrimiento (Roa y Kamp, 2012).

Para la obtención del índice TWI, se utilizó el MDE de 12.5 m de resolución y la pendiente, los cuales fueron procesados por medio del software SAGA GIS 7.9.1 (<https://saga-gis.org>).

## **3.4 Análisis estadístico**

Con el objetivo de diferenciar las probabilidades de ocurrencia de incendios en las distintas zonas dentro de la RNV, se compararon estadísticamente de forma descriptiva e inferencial los valores de cada una de las variables seleccionadas y se conocieron cuáles de ellas son las que más influyen en dicha probabilidad.

Para ello, se utilizó programa InfoStat, el cual se caracteriza por ser un software que lleva a cabo análisis estadísticos de aplicación general cubriendo tanto las necesidades elementales para la obtención de estadísticas descriptivas y gráficos para el análisis exploratorio, como métodos avanzados de modelación estadística y análisis multivariado (Di Rienzo et al., 2018).

### **3.4.1 Análisis estadístico descriptivo**

En el análisis descriptivo de las variables se calcularon diferentes estadígrafos de posición y dispersión (media, desviación estándar, valor máximo y valor mínimo). Como resultado se obtuvieron tablas de medidas resumen y diagramas de caja de cada una de las variables analizadas.

Complementariamente a dicho análisis se llevó a cabo un Análisis de Correlación de Pearson a partir del cual se buscó conocer las posibles correlaciones entre las variables.

### 3.4.2. Análisis estadístico inferencial

#### 3.4.2.1. Análisis estadístico multivariado

##### Análisis Discriminante Lineal (ADL)

El Análisis Discriminante Lineal (ADL) se caracteriza por ser una técnica estadística que parte de un conjunto de objetos clasificados en dos o más grupos y de estos objetos, se conocen sus variables atributos. El objetivo principal de este análisis es el de encontrar relaciones lineales entre las variables que mejor discriminen a qué grupos pertenecen (Ruiz, 2021). En este estudio, se aplicó el análisis discriminante lineal con las variables utilizadas para verificar que la separación de grupos (puntos positivos y negativos) sea correctamente explicada por tales variables.

#### 3.4.2.2. Análisis de regresión logística

Para realizar el análisis de regresión logística, en primer lugar, se capturó un conjunto de datos de eventos negativos (sitios donde no han ocurrido incendios) por cada uno de los tres conjuntos de datos trabajados. Para ello, se estableció un área buffer de 100 metros alrededor de los eventos positivos, descartando así el área de influencia de los mismos. Luego se ubicó aleatoriamente un conjunto de puntos en el área resultante, es decir, en la que no había sido afectada por incendios y se capturaron los valores de todas las variables al igual que con los puntos positivos. Del total de eventos positivos (23 puntos) y negativos (23 puntos), se seleccionaron aleatoriamente el 70% (34 puntos) de cada grupo para ejecutar el modelo de regresión logística; el 30% restante se utilizó para la validación del mismo. El objetivo principal de dicho análisis es relacionar una serie de variables predictoras con la ocurrencia o no de eventos de incendios, y utilizar esta relación para la creación de un mapa de probabilidad de ocurrencia de los mismos. La ecuación que la explica es la siguiente:

$$p_i = \frac{1}{1 + e^{-(\beta_0 + \beta_1 x_{1,i} + \dots + \beta_k x_{k,i})}}$$

**Ecuación 6**

Dónde:  $p_i$  = probabilidad de ocurrencia de eventos

$\beta$  = parámetros del modelo

$x$  = variables

Una vez obtenido el modelo de regresión logística, se calculó a partir del mismo el valor de probabilidad de ocurrencia de incendio para toda el área de estudio, en función de aquellos factores que explican significativamente tal probabilidad. Se utilizó el software Jamovi versión 2.3.26.0 (<https://www.jamovi.org>) para análisis estadístico y QGis versión 3.18.1. para la elaboración del mapa de probabilidad de ocurrencia de incendios.

Por ultimo para llevar acabo el análisis de las diferentes variables y posterior análisis estadístico, se estableció un área de estudio mayor al límite político de la reserva

## 4. RESULTADOS

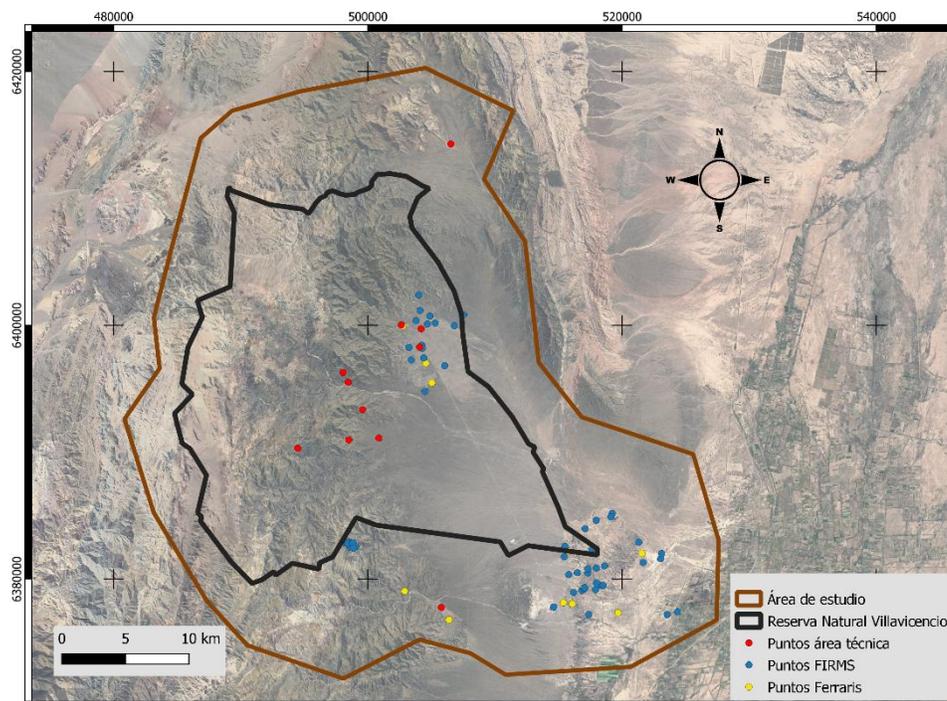
### 4.1. Identificación y localización de los eventos de incendios

En cuanto a la identificación y localización de los conjuntos de datos, se puede observar en la Figura 5 que los puntos (focos de incendio) obtenidos a partir de la aplicación Firms (color azul) los cuales se encuentra mayormente ubicados en dos grandes grupos en la zona sur de la reserva (ecorregión del Monte), lo que a simple vista estaría indicando que es una zona en donde la probabilidad de incendio se incrementa debido a sus condiciones.

En el caso de los puntos obtenidos a partir del área técnica de Villavicencio (color rojo) y del Téc. Ferraris (color amarillo), se observa que la distribución de los mismos es mucho más dispersa en comparación con lo de Firms, sin embargo, sigue la tendencia de que la mayor parte de ellos se ubican en el Monte.

El área de estudio planteada se observa de color marrón en la figura.

En el Anexo 1 se detallan las tablas con los registros de focos de incendios obtenidos de cada uno de los tres conjuntos de datos planteados.



**Figura 5:** Ubicación de los eventos de incendios obtenidos de la plataforma FIRMS, área técnica de Villavicencio, Téc. Ferraris en la RNV y delimitación del área de estudio. (Fuente: Elaboración propia).

### Análisis de patrones espaciales de puntos

A partir del análisis de vecinos más próximos de los puntos de Firms, utilizado para determinar la distribución espacial de los mismos, se observa de acuerdo a la Tabla 3 que cada uno de los puntos detectados por la aplicación es un evento de incendio individual, es decir, que por más próximo que se encuentren los puntos entre sí, cada uno de ellos corresponde a un evento de incendio distinto.

En cuanto a los puntos entregados por el área técnica de la RNV y el Téc. Ferraris, no fueron analizados ya que se tenía conocimiento de que cada punto plasmado en la planilla era un evento de incendio individual.

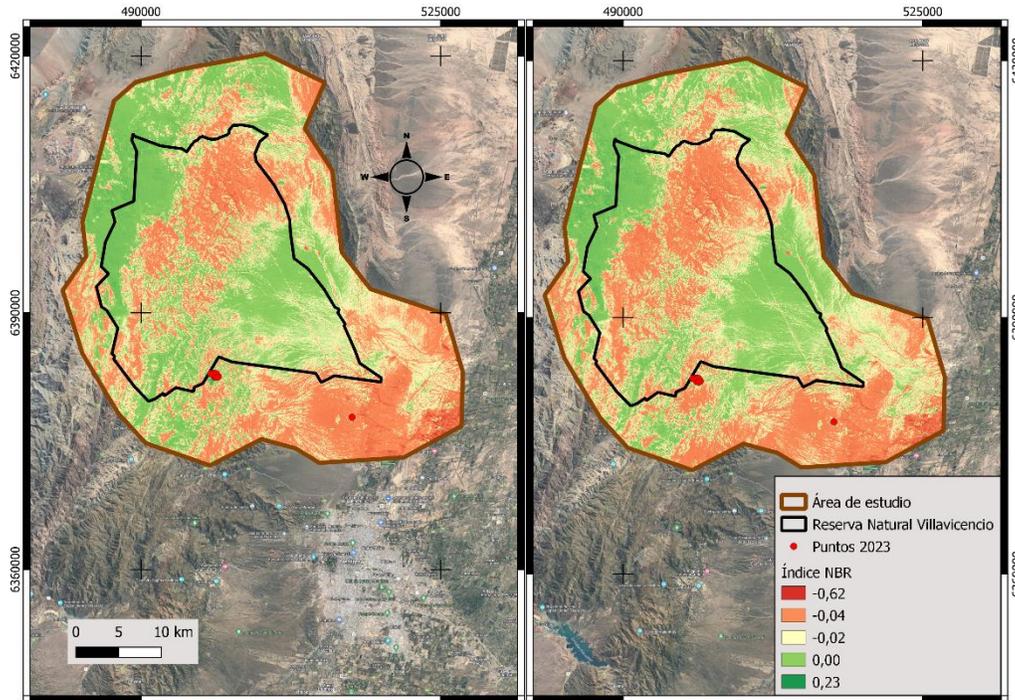
**Tabla 3:** Análisis de vecinos más próximos de los focos de calor de Firms.

Eventos	Nº de Puntos	Distancia Media Observada	Distancia Media Esperada	Índice de vecino más cercano	Patrón
26 al 27 dic 2000	8	887	531	1.67	Aleatorio y Regular
30 dic 2003 al 1 ene 2004	12	712	468	1.52	Aleatorio y Regular
26 jul 2006	6	834	432	1.92	Aleatorio y Regular
27 ago 2015	3	1492	482	3.09	Aleatorio y Regular
15 sept 2020	3	707	210	3.35	Aleatorio y Regular
5 nov 2020	3	395	149	2.64	Aleatorio y Regular
6 feb 2023	8	2242	1625	1.37	Aleatorio y Regular

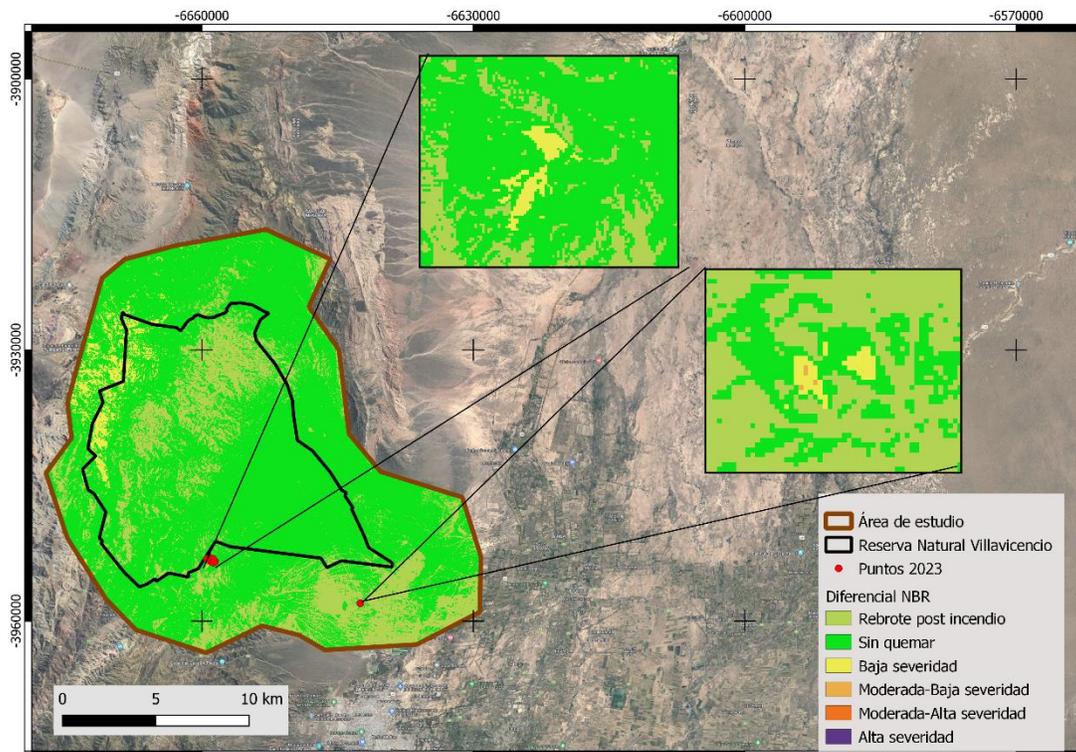
## 4.2. Compilación y cálculo de indicadores de susceptibilidad a la ocurrencia de incendios

### 4.2.1 Índices espectrales

En la Figura 6 se muestra el índice NBR antes y después de los incendios para el año 2023, en ella se observa que en la situación anterior al incendio (izquierda) si bien se presenta áreas con valores de NBR bajos, se encuentran ubicadas de manera dispersa, en comparación a la imagen posterior al evento (derecha) en donde se destaca que la zona donde se encuentra ubicados los focos de incendios de ese año son las zonas con mayormente perjudicadas por los mismos (zonas naranjas). Asimismo, en la Figura 7 se muestra el resultado del diferencial NBR, en el cual, al igual que en la figura anterior, las zonas más afectadas por los incendios se encuentran en colores amarillo y naranja.



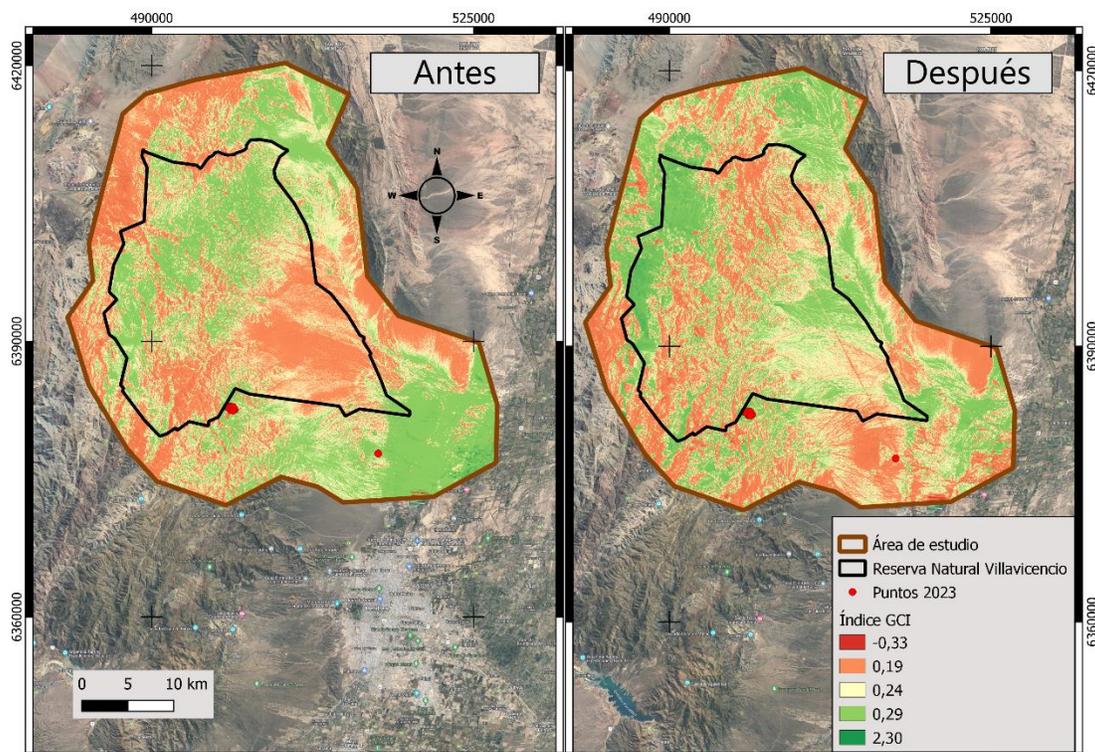
**Figura 6:** Mapa de índice NBR para el año 2023. Índice NBR previo al incendio (izquierda) e índice NBR posterior al incendio (derecha) en la RNV. Sistema de coordenadas: UTM 19S – EPSG 32719. Fondo cartográfico: Map data ©2015 Google (Fuente: Elaboración propia).



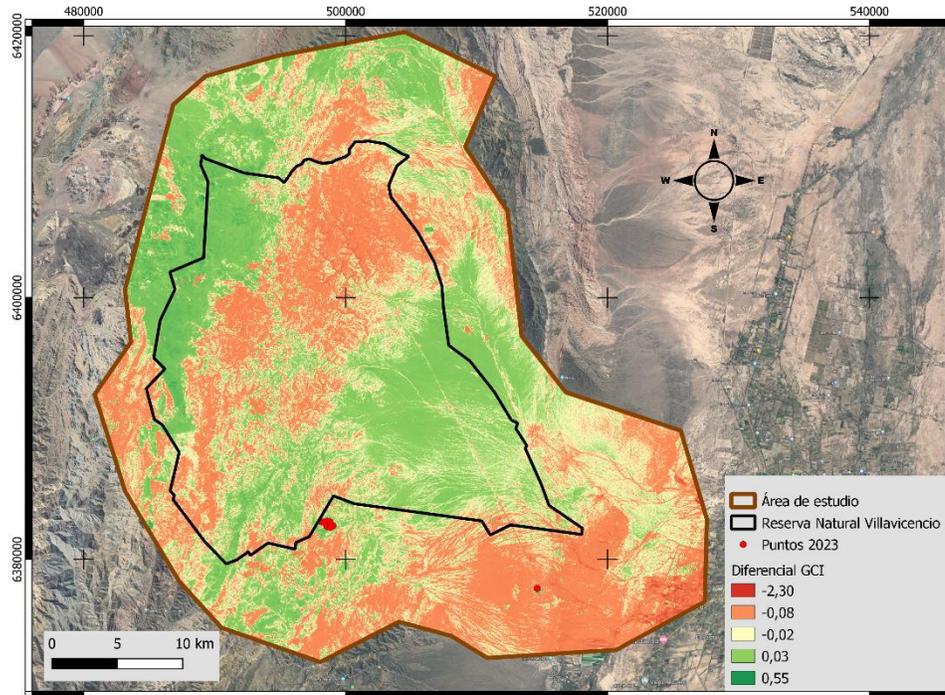
**Figura 7:** Mapa de Diferencial NBR para el año 2023 en la RNV. Sistema de coordenadas: UTM 19S – EPSG 32719. Fondo cartográfico: Map data ©2015 Google (Fuente: Elaboración propia).

Los índices GCI y diferencial GCI se observan de la misma manera que lo expresado en los mapas anteriores. El color verde representa zonas con vegetación con un buen estado de salud y el rojo, aquellas en donde el estado de salud de la vegetación se ha visto afectado (Figuras 8 y 9). La zona más perjudicada es aquella donde se encuentran ubicados los puntos para el año 2023, indicando un peor estado fisiológico de la vegetación debido a los incendios producidos.

Los mapas correspondientes a los focos de incendio de los demás años analizados se encuentran en el Anexo 2.



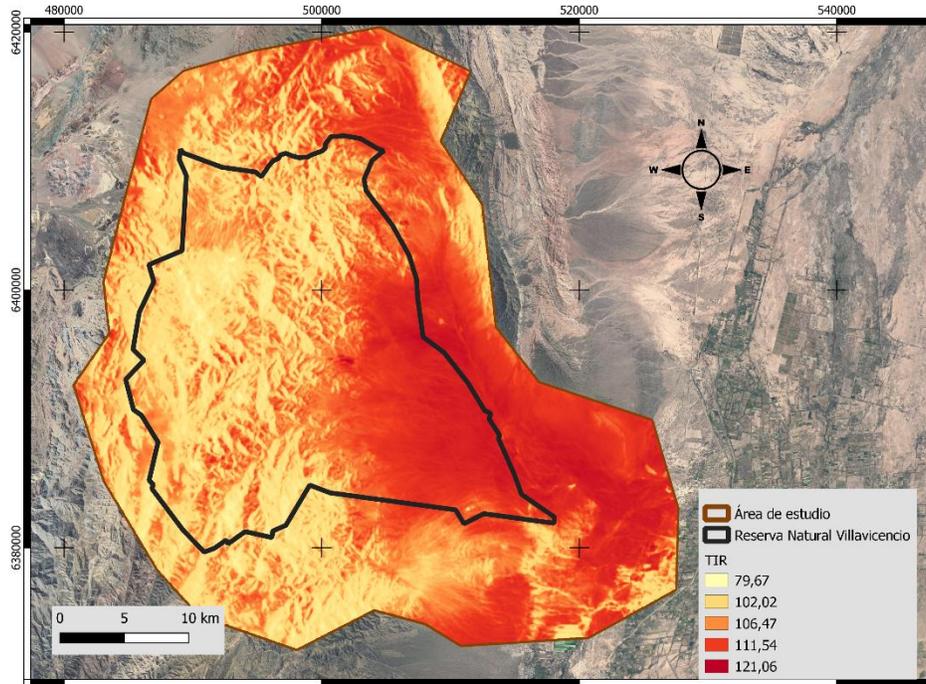
**Figura 8:** Mapa del índice GCI para el año 2023. índice GCI previo al incendio (izquierda) e índice GCI posterior al incendio (derecha) en la RNV. Sistema de coordenadas: UTM 19S – EPSG 32719. Fondo cartográfico: Map data ©2015 Google (Fuente: Elaboración propia).



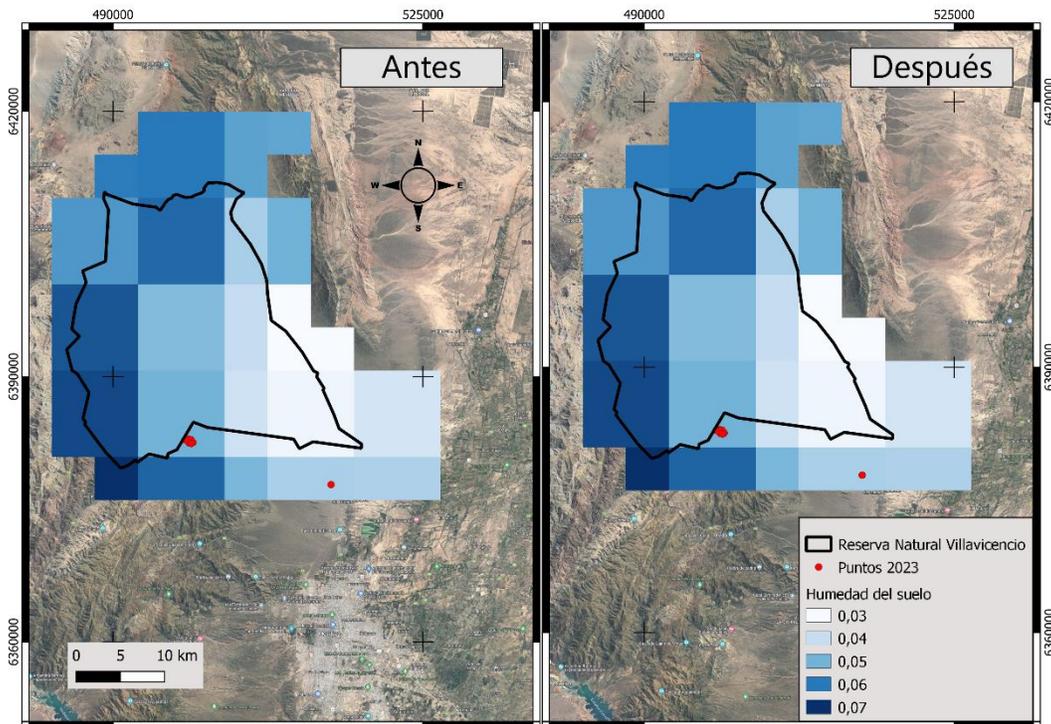
**Figura 9:** Mapa del Diferencial GCI para el año 2023 en la RNV. Sistema de coordenadas: UTM 19S – EPSG 32719. Fondo cartográfico: Map data ©2015 Google (Fuente: Elaboración propia).

#### 4.2.2. Variables climáticas

En la Figura 10 se muestran los valores de temperatura de la superficie de la Tierra para el año 2023 en la RNV, en ella se observa que las zonas rojas son aquellas en donde hay una mayor temperatura superficial, como es el caso de las zonas donde se ubican los focos de incendio para el año 2023. En la Figura 11 se observa la humedad del suelo previa al incendio (izquierda) y humedad del suelo posterior al mismo (derecha). Los colores azules más intensos representan las áreas con mayor humedad del suelo y los claros las áreas con suelos más secos.

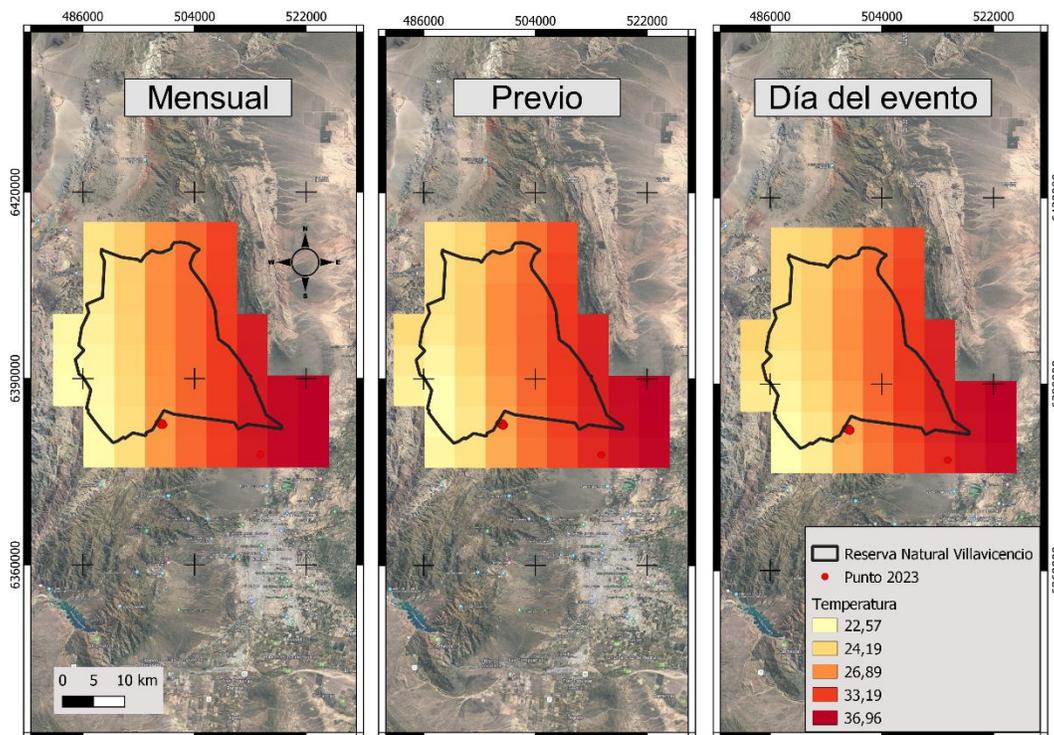


**Figura 10:** Mapa de temperatura de la superficie de la Tierra (TIR) para el año 2023 en la RNV. Sistema de coordenadas: UTM 19S – EPSG 32719. Fondo cartográfico: Map data ©2015 Google (Fuente: Elaboración propia).

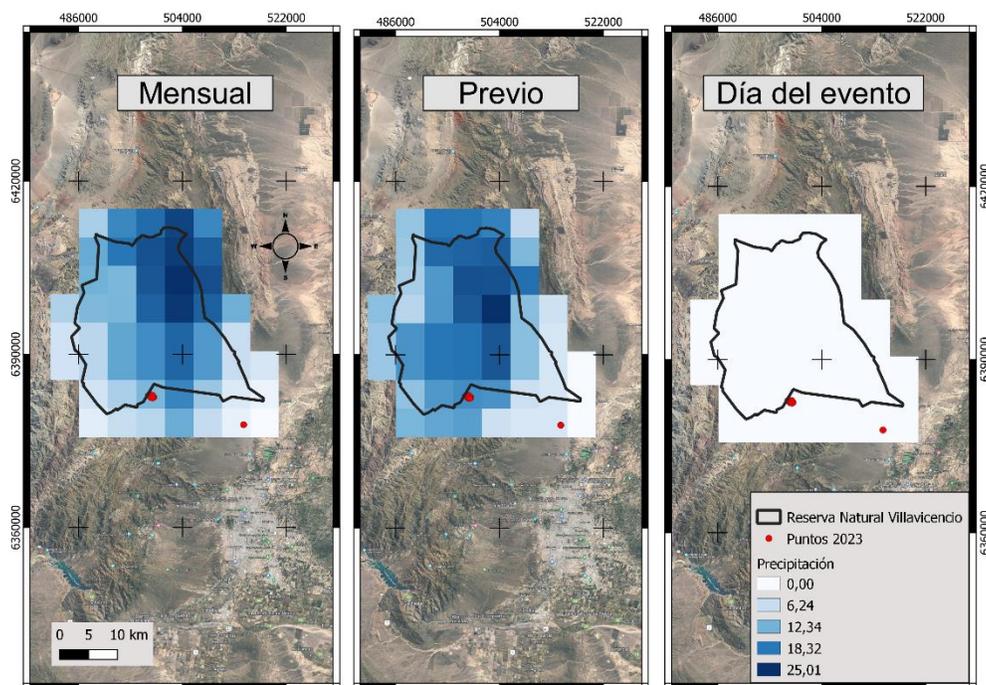


**Figura 11:** Mapa de humedad del suelo (cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>) para el año 2023. Humedad del suelo previo al incendio (izquierda) y humedad del suelo posterior al incendio (derecha) en la RNV. Sistema de coordenadas: UTM 19S – EPSG 32719. Fondo cartográfico: Map data ©2015 Google (Fuente: Elaboración propia).

En cuanto a la temperatura, se puede apreciar mediante la Figura 12, la variación de la misma a nivel mensual, tres días previos al evento de incendio y en el día del evento. A partir de ella se percibe, un aumento progresivo de la temperatura hasta la generación del incendio en las distintas zonas de la reserva, lo que da a entender que al momento de producirse el evento hay presencia de un ambiente más seco. En la Figura 13 al igual que la anterior, se observa la variación de los valores de precipitación en el tiempo, en ella se advierte cómo dichos valores van disminuyendo paulatinamente (colores azules más claros), de tal modo que el día en que ocurre el evento no hay registro de precipitación.



**Figura 12:** Mapa de temperatura (°C) para el año 2023. Temperatura máxima mensual (izquierda), temperatura máxima previa al incendio (centro) y temperatura máxima día del incendio (derecha) en la RNV. Sistema de coordenadas: UTM 19S – EPSG 32719. Fondo cartográfico: Map data ©2015 Google (Fuente: Elaboración propia).



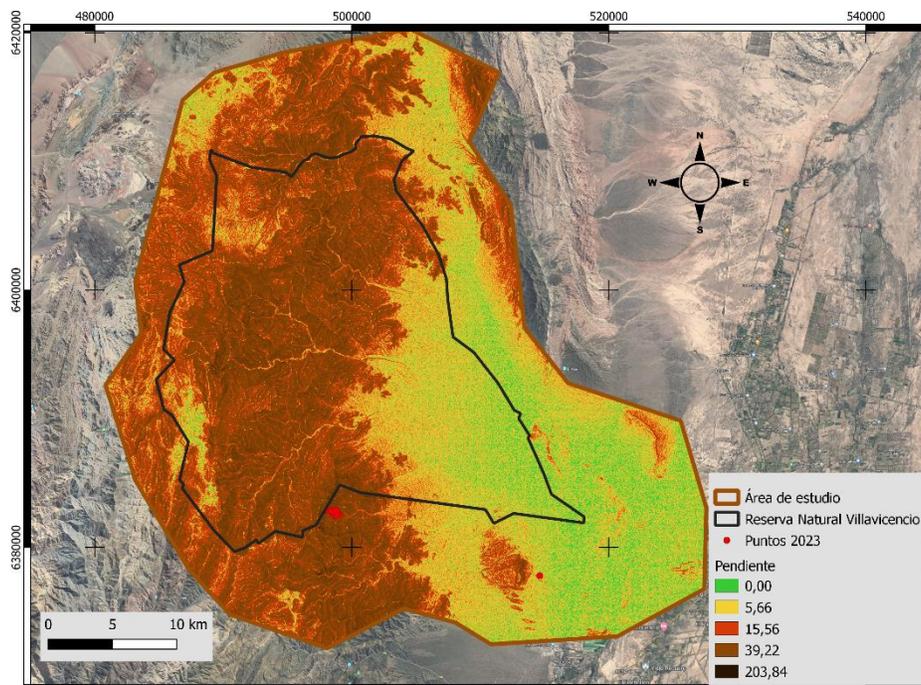
**Figura 13:** Mapa de precipitación (mm) para el año 2023. Precipitación media mensual (izquierda), precipitación media previa al incendio (centro) y precipitación media día del incendio (derecha) en la RNV. Sistema de coordenadas: UTM 19S – EPSG 32719. Fondo cartográfico: Map data ©2015 Google (Fuente: Elaboración propia).

A partir de estas dos variables y analizando sus valores para los demás focos de incendio (ver Anexo 2), se puede afirmar que la tendencia en general es la de un ambiente más seco (aumento de temperatura y disminución de la precipitación) y propenso a la ignición al transcurrir el tiempo.

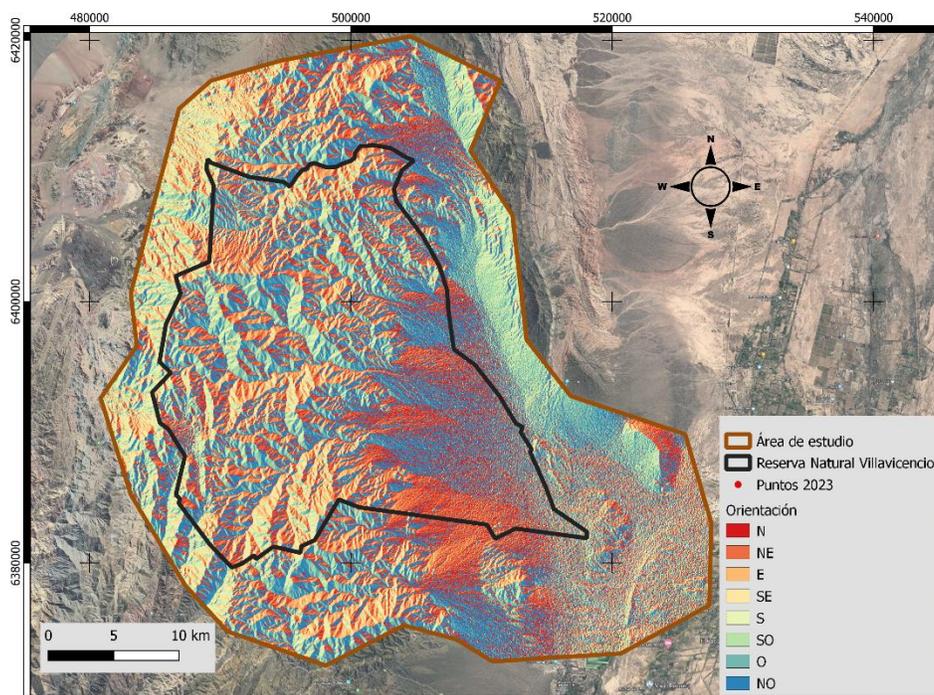
#### 4.2.3. Variables morfológicas

En cuanto a las variables morfológicas se puede apreciar que, en el caso de la pendiente, (Figura 14) la RNV posee una marcada diferencia en sentido E-O. Las zonas de color marrón son aquellas caracterizadas por poseer mayor pendiente y las verdes menores. Asimismo, si se compara esta figura con la de la ubicación de los focos de incendios para el año 2023, se observa que estos se encuentran ubicados en una de las zonas con un alto valor de pendiente.

En la Figura 15 se observa la orientación de las laderas presentes en la reserva.

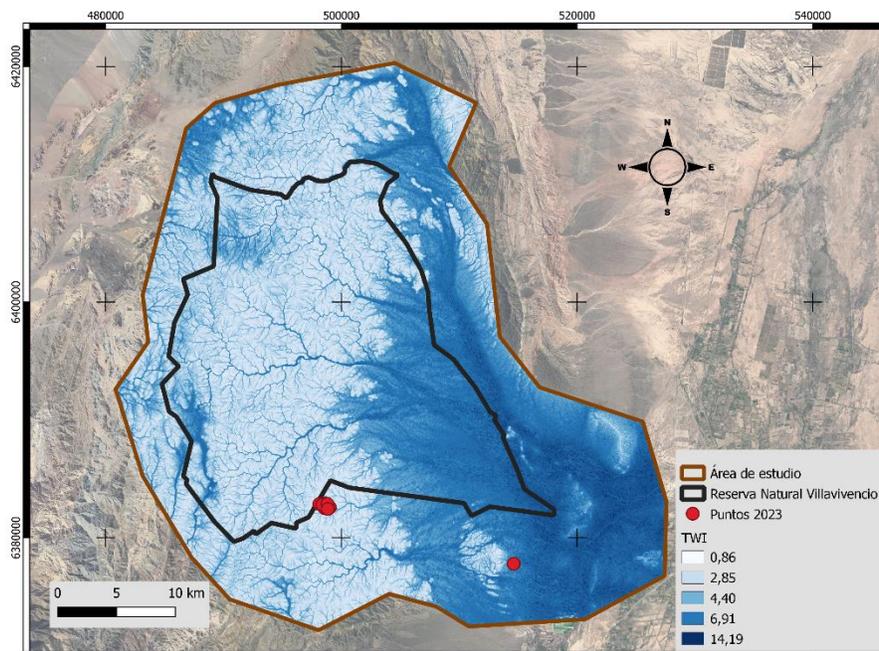


**Figura 14:** Mapa de la pendiente (%) de la RNV. Sistema de coordenadas: UTM 19S – EPSG 32719. Fondo cartográfico: Map data ©2015 Google (Fuente: Elaboración propia).



**Figura 15:** Mapa de la orientación de laderas (grados) de la RNV. Sistema de coordenadas: UTM 19S – EPSG 32719. Fondo cartográfico: Map data ©2015 Google (Fuente: Elaboración propia).

Por último, en la Figura 16 se muestra el índice Topográfico de Humedad (TWI), donde las zonas con mayor acumulación de agua están representadas de color azul intenso y aquellas con bajo escurrimiento de celeste.



**Figura 16:** Mapa de Índice Topográfico de Humedad de la RNV. Sistema de coordenadas: UTM 19S – EPSG 32719. Fondo cartográfico: Map data ©2015 Google (Fuente: Elaboración propia).

## 4.3. Análisis estadístico

### 4.3.1. Análisis estadístico descriptivo

A partir del siguiente análisis descriptivo se muestran los valores de las medidas resumen de cada una de las variables que han sido calculadas para las zonas con incendios (1) y las zonas sin incendios (0). Estas se dividieron en tres tablas distintas: Índices espectrales, Variables climáticas y Variables morfológicas, y se complementaron con sus gráficos de caja correspondientes (ver Anexo 3).

Cabe aclarar que las zonas con incendios son aquellas zonas que presentan un foco / evento de incendio, es decir un punto positivo y las zonas sin incendio se identifican como punto negativo.

El registro y distribución de los puntos negativos de cada uno de los sets de datos se encuentran en el Anexo 4.

#### 4.3.1.1. Datos de Firms

En cuanto a los resultados obtenidos para el conjunto de datos de la plataforma Firms, en la Tabla 4 se observa que los valores de los índices NBR, GCI y sus diferenciales, tanto en las zonas con incendio en comparación con las zonas no incendiadas, no presentan diferencias notables en ninguna de las medidas, lo cual indica que ambas zonas poseen vegetación con estados de salud similares a pesar del evento de incendio.

**Tabla 4:** Estadística descriptiva de los índices espectrales correspondientes a los registros de Firms.

Situación	Medida	GCI previo al incendio	NBR previo al incendio	Diferencial GCI	Diferencial NBR
0	Media	0.245	0.010	-0.035	-0.010
	D.E.	0.279	0.050	0.109	0.064
	Mínimo	-0.053	-0.115	-0.416	-0.233
	Máximo	2.062	0.161	0.228	0.099
1	Media	0.348	0.20	0.049	0.033
	D.E.	0.268	0.073	0.11	0.132
	Mínimo	0.051	-0.186	-0.573	-0.401
	Máximo	1.667	0.300	0.688	0.319

De acuerdo a los aspectos climáticos de la RNV, se muestra en términos generales una disminución de la precipitación y un aumento de los valores de temperatura en las zonas incendiadas al transcurrir el tiempo. Estas variaciones se ven reflejadas en la Tabla 5, en donde se observa que los valores de la variable precipitación media día del incendio son levemente superiores en las zonas no incendiadas en comparación con las zonas incendiadas, concluyendo que si bien en los días previos al incendio se tuvieron valores similares de precipitación, el día del evento se caracterizó por presentar una baja disponibilidad de agua generando ambientes mayormente secos y aumentando la probabilidad de ocurrencia de incendios.

**Tabla 5:** Estadística descriptiva de las variables climáticas precipitación y humedad correspondientes a los registros de Firms.

Situación	Medida	Precipitación media mensual (mm)	Precipitación media previa al incendio (mm)	Precipitación media día del incendio (mm)	Humedad previa al incendio (cm3/cm3)	Humedad día del incendio (cm3/cm3)
0	Media	21.40	2.63	0.27	0.07	0.05
	D.E.	12.97	3.65	0.94	0.03	0.02
	Mínimo	0	0	0	0.03	0.03
	Máximo	63.26	15.64	4.17	0.12	0.10
1	Media	23.19	3.52	0.03	0.07	0.05
	D.E.	16.07	7.53	0.25	0.02	0.02
	Mínimo	1	0	0	0.03	0.03
	Máximo	89	45.38	1.79	0.14	0.13

En cuanto a los valores de temperatura, en la Tabla 6 se muestra que tanto la temperatura máxima mensual como la temperatura máxima previo al incendio y la temperatura máxima día del incendio presentan valores levemente superiores en las áreas con incendio con respecto a las demás. De esta manera se puede resaltar que a medida que nos vamos acercando a los eventos de incendio las zonas incendiadas presentan mayores valores de temperatura.

**Tabla 6:** Estadística descriptiva de la variable climática temperatura correspondientes a los registros de Firms.

Situación	Medida	TIR	Temperatura máxima mensual (°C)	Temperatura máxima previa al incendio (°C)	Temperatura máxima día del incendio (°C)
<b>0</b>	Media	128	27.9	24.3	21.1
	D.E.	22	7.3	6.9	8.1
	Mínimo	91	13.6	13.4	3.8
	Máximo	169	40	39.1	35.9
<b>1</b>	Media	129	27.4	24.1	23.3
	D.E.	26	6.6	6.5	7.9
	Mínimo	92	15.1	13.5	7.8
	Máximo	186	37	38.5	35.7

Asimismo, desde el punto de vista morfológico (Tabla 7), se destaca que en las zonas incendiadas tanto los valores de pendiente como de TWI son superiores en comparación a las áreas no incendiadas.

**Tabla 7:** Estadística descriptiva de las variables morfológicas correspondientes a los registros de Firms.

Situación	Medida	Pendiente (%)	Orientación (grados)	Índice Topográfico de Humedad (TWI)
<b>0</b>	Media	13.05	194.83	6.6
	D.E.	18.81	131.73	2.4
	Mínimo	0	0	2.1
	Máximo	82.87	351.87	11.8
<b>1</b>	Media	12.11	208.84	7.6
	D.E.	19.01	122.10	3.1
	Mínimo	0	0	2.0
	Máximo	74.73	350.83	13.4

Analizando el coeficiente de correlación de Pearson (ver Anexo 3) se observan las siguientes correlaciones:

- ❖ La variable *GCI previa al incendio* presenta una correlación moderada con la variable *Humedad del suelo previa al incendio* (0.61).
- ❖ La variable *NBR previo al incendio* posee una correlación moderada con la variable *Humedad del suelo día del incendio* (0.52).
- ❖ La variable *Humedad del suelo día del incendio* se relaciona mediante una correlación moderada inversa con la variable *Temperatura máxima previa al incendio* (-0.47).

- ❖ La variable *Pendiente* presenta una correlación fuerte inversa con la variable *Índice Topográfico de Humedad* (-0.73).

#### 4.3.1.2 Datos del área técnica de Villavicencio

Al igual que lo arrojado en el conjunto de datos anterior, en la Tabla 8 se observa que, tanto en las zonas sin incendios como en las incendiadas, la vegetación no presenta importantes cambios en su estado de salud.

**Tabla 8:** Estadística descriptiva de los índices espectrales correspondiente a los registros del área técnica de Villavicencio.

Situación	Medida	GCI previo al incendio	NBR previo al incendio	Diferencial GCI	Diferencial NBR
0	Media	0.361	-0.037	0.134	-0.017
	D.E.	0.124	0.068	0.267	0.054
	Mínimo	0.204	-0.150	-0.129	-0.104
	Máximo	0.576	0.087	0.826	0.097
1	Media	0.328	0.018	0.112	-0.014
	D.E.	0.146	0.081	0.222	0.079
	Mínimo	0.043	-0.094	-0.101	-0.182
	Máximo	0.545	0.2	0.727	0.090

Por otra parte, si se tienen en cuenta las variables temperatura y precipitación, ambas (en las zonas incendiadas) tienden a la generar condiciones propicias para el desarrollo de un incendio; ya que, si se observa la Tabla 9, los valores de precipitación tanto días previos como el día del incendio presenta valores superiores en las zonas no incendiadas en comparación con las que han sufrido algún evento. Además, en la Tabla 10 se observa que los mayores valores de temperatura se encuentran registrados en las zonas incendiadas, estas diferencias se aprecian principalmente en los valores de media y valores máximos. La variable TIR sigue la misma tendencia que la temperatura.

**Tabla 9:** Estadística descriptiva de las variables climáticas - precipitación correspondiente a los registros del área técnica de Villavicencio.

Situación	Medida	Precipitación media mensual (mm)	Precipitación media previo al incendio (mm)	Precipitación media día del incendio (mm)
0	Media	17.22	1.52	0.67
	D.E.	12.40	1.99	1.28
	Mínimo	1.00	0.00	0.00
	Máximo	35.00	5.69	3.88
1	Media	14.99	0.21	0.00
	D.E.	10.96	0.68	0.00
	Mínimo	1.00	0.00	0.00
	Máximo	34.00	2.26	0.00

**Tabla 10:** Estadística descriptiva de las variables climáticas – temperatura correspondiente a los registros del área técnica de Villavencio.

Situación	Medida	TIR	Temperatura máxima mensual (°C)	Temperatura máxima previa al incendio (°C)	Temperatura máxima día del incendio (°C)
0	Media	156.1	23.53	21.51	19.02
	D.E.	27.2	6.33	6.08	5.85
	Mínimo	106	14.00	13.11	11.62
	Máximo	191	35.00	34.83	29.63
1	Media	150.9	25.43	21.58	19.98
	D.E.	22.2	4.47	4.05	4.52
	Mínimo	109	15.00	11.28	11.28
	Máximo	182	30.20	26.30	26.30

En cuanto a las características morfológicas, según Tabla 11 se observa que la pendiente es similar en ambas zonas. Asimismo, los valores más destacables de ella son el valor de media, siendo en zonas no incendiadas más elevado (31.25%) con respecto a las zonas con incendios (23.56%) y el valor de variabilidad mayor en las zonas incendiadas. Las variables orientación y TWI por su parte presentan valores superiores y menos variables en las zonas con incendios provocando por lo general, mayor acumulación de agua en esas zonas.

**Tabla 11:** Estadística descriptiva de las variables morfológicas correspondiente a los registros del área técnica de Villavencio..

Situación	Medida	Pendiente (%)	Orientación (grados)	Índice Topográfico de Humedad (TWI)
0	Media	31.25	166.399	3.9
	D.E.	20.93	118.336	2.2
	Mínimo	4.47	13.627	2.2
	Máximo	67.91	350.538	9.4
1	Media	23.56	224.767	4.6
	D.E.	21.03	118.477	2.0
	Mínimo	4.24	26.565	2.1
	Máximo	58.00	330.255	8.1

Considerando el coeficiente de correlación de Pearson, las relaciones existentes entre las variables son las siguientes (ver Anexo 3):

- ❖ La variable *GCI previo al incendio* posee una correlación moderada (0.52) con *NBR previo al incendio*.
- ❖ La variable *TIR* presenta una correlación moderada (0.62) con *Precipitación media mensual*.
- ❖ La variable *Precipitación día del evento* posee una correlación moderada con *Temperatura máxima previa al incendio* con un valor de (0.5).
- ❖ La variable *Pendiente* posee una correlación fuerte inversa (-0.81) con el *TWI*.

En el caso particular de este conjunto de datos, no se presentan valores de las variables Humedad previa al incendio y Humedad día del incendio ya que sus registros de incendios son

anteriores al año 2011 y dichas variables están disponible mediante el satélite SMAP a partir del año 2015.

#### 4.3.1.3. Datos del Téc. Ferraris

El conjunto de datos brindados por el Téc. Ferraris muestra una situación diferente a las dos planteadas anteriormente, ya que en el caso del índice GCI previo al incendio y el índice NBR previo al incendio (Tabla 12) se observa que sus valores tienen una tendencia a ser mayores en las zonas con incendios respecto a las no incendiadas, principalmente en el valor de media, lo cual implica que el estado de vegetación en las zonas con incendios se encuentra en mejor estado o un estado muy similar a las no incendiadas.

**Tabla 12:** Estadística descriptiva de los índices espectrales correspondiente a los registro del Téc. Ferraris.

Situación	Medida	GCI previo al incendio	NBR previo al incendio	Diferencial GCI	Diferenci al NBR
0	Media	0.297	0.067	0.127	-0.046
	D.E.	0.130	0.179	0.284	0.115
	Mínimo	0.141	-0.085	-0.077	-0.353
	Máximo	0.548	0.546	0.886	0.057
1	Media	0.348	0.093	0.092	0.020
	D.E.	0.155	0.156	0.176	0.186
	Mínimo	0.000	-0.027	-0.158	-0.474
	Máximo	0.535	0.520	0.399	0.201

En cuanto a las variables climáticas, se presentan dos situaciones diferentes, ya que si se analiza la variable Precipitación media mensual (Tabla 13) se observa que las zonas sin incendios, son las que presentan valores superiores en todas medidas, lo cual indica que a nivel mensual hay una mayor precipitación en las zonas no incendiadas con respecto a las que presentan incendios pero por el contrario en la variable Precipitación previa al incendio vemos que ocurre una situación inversa a la anterior, ya que las zonas que tienden a presentar mayores precipitaciones son las zonas incendiadas. En la variable Precipitación día del incendio, todos sus valores son iguales a 0.

**Tabla 13:** Estadística descriptiva de las variables climáticas precipitación y humedad correspondiente a los registros del Téc. Ferraris.

Situación	Medida	Precipitación media mensual (mm)	Precipitación media previa al incendio (mm)	Precipitación media día del incendio (mm)	Humedad previa al incendio (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	Humedad día del incendio (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )
0	Media	15.50	0.96	0	0.05	0.04
	D.E.	9.12	1.76	0	0.00	0.00
	Mínimo	3.00	0.00	0	0.05	0.04
	Máximo	30.00	4.88	0	0.05	0.04
1	Media	15.30	1.65	0	0.05	0.05
	D.E.	8.59	3.24	0	0.00	0.00
	Mínimo	4.00	0.00	0	0.05	0.05
	Máximo	28.00	8.11	0	0.05	0.05

En el caso de las variables temperatura máxima mensual, temperatura máxima previa al incendio y temperatura máxima día del incendio siguen la tendencia de los dos conjuntos anteriores. En la Tabla 14, se observa que todas tienen valores superiores en las zonas con incendios (1) en comparación a las zonas sin incendios, a partir de lo cual se puede afirmar que hubo temperaturas más elevadas y propensas a un evento de incendio en las zonas incendiadas. Estas conclusiones se ven reflejadas principalmente en los valores de media (28.52°C, 25.18°C y 23.56°C respectivamente) y presentando una menor variabilidad en sus datos.

**Tabla 14:** Estadística descriptiva de la variable climática temperatura correspondiente a los registros del Téc. Ferraris.

Situación	Medida	TIR	Temperatura máxima mensual (°C)	Temperatura máxima previa al incendio (°C)	Temperatura máxima día del incendio (°C)
0	Media	150.6	26.03	22.59	21.34
	D.E.	21.6	5.81	7.00	7.95
	Mínimo	121	12.06	7.40	6.50
	Máximo	184	32.20	29.00	29.00
1	Media	151.9	28.52	25.18	23.56
	D.E.	21.2	5.98	6.49	6.13
	Mínimo	126	14.60	13.40	10.11
	Máximo	179	35.00	33.00	30.00

Por último, se destaca que en el TWI (Tabla 15) se obtuvieron los mismos resultados que en los conjuntos anteriores, en el cual presentaron valores más elevados en las zonas con incendios con respecto a las demás, indicando que en las zonas incendiadas hubo una mayor acumulación de agua.

**Tabla 15:** Estadística descriptiva de las variables morfológicas correspondiente a los registros del Téc. Ferraris.

Situación	Medida	Pendiente (%)	Orientación (grados)	Índice Topográfico de Humedad (TWI)
0	Media	21.74	186.885	4.9
	D.E.	22.67	127.618	2.1
	Mínimo	4.00	0.000	2.3
	Máximo	66.12	344.745	9.0
1	Media	6.65	177.071	7.6
	D.E.	4.61	128.013	1.8
	Mínimo	2.00	0.000	5.2
	Máximo	14.42	351.870	9.9

Según el coeficiente de correlación de Pearson, las relaciones entre las variables (ver Anexo 3) son:

- ❖ La variable *TWI* presenta una correlación moderada inversa (-0.74) con la variable *pendiente*.
- ❖ La variable *Diferencial NBR* presenta correlación moderada inversa (-0.54) con la variable *Precipitación media previa al incendio*.

### 4.3.2 Análisis estadístico inferencial

#### 4.3.2.1 Análisis Discriminante Lineal (ADL)

Para realizar el ADL, se tomaron en cuenta todas las variables mencionadas en el análisis descriptivo y los conjuntos de datos brindados por la plataforma Firms y el área técnica de Villavicencio.

**Tabla 16:** Tabla de clasificación cruzada (tasa de error aparente) para datos de Firms y del Área técnica de Villavicencio.

Grupo	0	1	2	3	Total	Error (%)
0	30	14	2	4	50	40.00
1	10	35	1	4	50	30.00
2	0	0	8	3	11	27.27
3	0	2	1	8	11	27.27
Total	40	51	12	19	122	33.61

A partir de este análisis se observa que la tasa total de error aparente producto de la tabla de clasificación cruzada resultó con un valor de error de 33.61%, lo cual significa que existe un 33.61% de probabilidad de clasificar a un evento positivo cuando en realidad es negativo y viceversa. Asimismo, el error máximo permitido para este caso es del 20%, por lo cual a partir

de este resultado se tomó la decisión de no incluir los datos brindados por el área de técnica de Villavicencio en el análisis de regresión posterior, ya que con ellos el mismo alcanzó un valor más elevado. Se estima que dicho aumento podría ser explicado por la falta de consistencia en los datos ya que habría incertidumbre en la precisión de las coordenadas y en el establecimiento de fechas de los eventos de incendio en sus registros.

Posteriormente se realizó el mismo análisis únicamente con los datos de Firms, en donde en primer lugar se analizaron los datos considerando todas las variables excepto Humedad del suelo (Tabla 17) y como segundo análisis el de los datos incluyendo dicha variable (Tabla 18).

Cabe aclarar que se hizo esta distinción en cuanto la elaboración del análisis ya que no todos los focos de incendios registrados (de la plataforma Firms) poseían este valor, debido a que el satélite SMAP encargado de recolectar esta variable se encuentra disponible a partir del año 2015. Los resultados obtenidos son los siguientes:

**Tabla 17:** Tabla de clasificación cruzada (tasa de error aparente) para los datos obtenidos de Firms sin considerar la variable Humedad del suelo.

Grupo	0	1	Total	Error (%)
0	37	13	50	26.00
1	11	39	50	22.00
<b>Total</b>	48	52	100	24.00

**Tabla 18:** Tabla de clasificación cruzada (tasa de error aparente) para los datos obtenidos de Firms considerando la variable Humedad del suelo.

Grupo	0	1	Total	Error (%)
0	18	4	22	18.18
1	2	20	22	9.09
<b>Total</b>	20	24	44	13.64

Los errores arrojados por ambos análisis fueron de 24% y 13.64 % respectivamente, lo que en primera instancia se concluye que la decisión de tomar solo los datos de Firms es la correcta ya que ambos errores fueron menores al obtenido con anterioridad (33.61%). Asimismo, al realizar una comparación entre los dos últimos análisis, se observa que si bien en el análisis donde no se incluyó la variable Humedad del suelo poseía una mayor cantidad de registros de focos de incendios (50 puntos positivos), el error fue mayor en contraste con el análisis en donde se tuvo en cuenta la variable. En este último solo se analizaron 22 focos de incendios, pero el error obtenido se encontraba dentro del valor de error establecido. Teniendo en cuenta estos resultados y los distintos análisis realizados por diferentes autores (Gil-Mora, 2022; Sione, 2006), se llega a la conclusión que la variable Humedad del suelo, es de suma importancia que sea considerada en el proceso de evaluación de los eventos de incendios.



En cuanto a los resultados por parte de los datos brindados por el Téc. Ferraris, se ven reflejados en las salidas obtenidas (Tablas 19 y 20). En ellas se muestran que el valor de error aparente de los datos sin incluir la variable Humedad del suelo es del 0%. Sin embargo, a pesar del buen valor de error obtenido, se decide tomar sólo aquellos datos que incluyan el valor de la variable en cuestión considerando el peso que posee la misma.

**Tabla 19:** Centroides en el espacio discriminante para los datos obtenidos del Téc. Ferraris sin considerar la variable "Humedad del suelo".

Grupo	Eje 1
0	0.74
1	-0.74

**Tabla 20:** Tabla de clasificación cruzada (tasa de error aparente) para los datos obtenidos del Téc. Ferraris sin considerar la variable "Humedad del suelo".

Grupo	0	1	Total	Error (%)
0	10	0	10	0.00
1	0	10	10	0.00
<b>Total</b>	10	10	20	0.00

Posteriormente, se realizó un último análisis discriminante considerando los datos de la plataforma Firms (22 puntos) y los brindados por el Téc. Ferraris (1 punto) que incluían la variable Humedad del suelo. En la Tabla 22 se muestra que el valor de error aparente para este conjunto de datos es de 13.04%, lo cual se considera un valor aceptable en términos estadísticos, ya que es un valor de error bastante bajo y dentro del valor establecido. En la Tabla 21 se observan los centroides del espacio discriminantes de los datos brindados por el Téc. Ferraris a modo de complemento.

**Tabla 21:** Centroides en el espacio discriminante para los datos obtenidos del Téc. Ferraris y Firms considerando la variable "Humedad del suelo".

Grupo	Eje 1
0	3.22
1	-3.22

**Tabla 22:** Tabla de clasificación cruzada (tasa de error aparente) para los datos obtenidos del Téc. Ferraris y Firms considerando la variable "Humedad del suelo".

Grupo	0	1	Total	Error (%)
0	19	4	23	17.39
1	2	21	23	8.70
<b>Total</b>	21	25	46	13.04

Finalmente, a partir de dicho análisis se pudo evidenciar cuáles son las variables que permiten tanto caracterizar a los eventos de incendios, como también discriminar a los grupos *a priori* (incendios/no incendios). En él se estableció que la variable *Humedad del suelo* es una componente esencial para el desarrollo de evaluación de los incendios, y las variables *Orientación*, *Temperatura máxima previa al incendio* y *Precipitación día del incendio* fueron descartadas por los siguientes motivos:

- ❖ *Orientación*: Como la mayoría de los datos analizados se encontraban en la zona del Monte, donde no existe un patrón de orientación definido, no se encontró diferencias significativas entre ellos, motivo por el cual fue descartada.
- ❖ *Temperatura máxima previa al incendio*: se descarta ya que presenta multicolinealidad con las otras variables de temperatura.
- ❖ *Precipitación día del incendio*: en este caso la variable es descartada del modelo ya que presenta innumerables *outliers* o valores atípicos.

#### 4.3.2.2. Análisis de regresión logística

Del análisis de regresión logística, se obtuvieron los siguientes resultados (Tablas 23 a 26):

**Tabla 23:** Prueba de Bondad de Ajuste del modelo planteado.

Modelo	Desviación	AIC	BIC	$R^2_{McF}$	$R^2_{CS}$	$R^2_N$	$R^2_T$	Prueba Global del Modelo		
								$\chi^2$	gl	p
1	21.6	49.6	70.1	0.513	0.509	0.678	0.564	22.7	13	0.045

**Tabla 24:** Prueba de Razón de Verosimilitud para el modelo planteado.

Predictor	$\chi^2$	gl	p
GCI antes	0.15301	1	0.696
NBR antes	0.71763	1	0.397
TIR	0.17568	1	0.675
Dif GCI	0.00133	1	0.971
Dif NBR	0.03962	1	0.842
Pp M	1.20074	1	0.273
Pp 3	0.04424	1	0.833
Hum 3	0.90342	1	0.342
Hum día	1.20362	1	0.273
TMM	0.66946	1	0.413
TM día	6.96454	1	0.008
Pendiente	0.75978	1	0.383
TWI	0.17159	1	0.679

**Tabla 25:** Tabla de clasificación para los datos seleccionados.

Tabla de Clasificación – ...

Observado	Predicción		% Correcto
	1	0	
1	13	3	81.3
0	3	13	81.3

Nota. El punto de corte es 0.5

Medidas Predictivas

Precisión	Especificidad	Sensibilidad	AUC
0.813	0.813	0.813	0.918

Nota. El punto de corte es 0.5

En las Tablas 23 y 24, se observa que el modelo (conjunto de variables independientes) presenta un p-valor de 0.045 y valores de  $R^2$  de Cox y Snell de 0.509 y  $R^2$  de Nagelkerke de 0.678 respectivamente, lo cual indica que es un modelo significativo que ayuda a determinar e identificar los eventos de incendio que se producen. Asimismo, según Tabla 25 se muestra que clasifica correctamente el 81.3% de los casos, afirmando que las variables independientes son buenas predictoras del evento. En la Tabla 26 se observan los estadígrafos de las variables

consideradas, incluyendo sus estimadores (columna recuadrada) correspondientes a los coeficientes de la función de regresión logística.

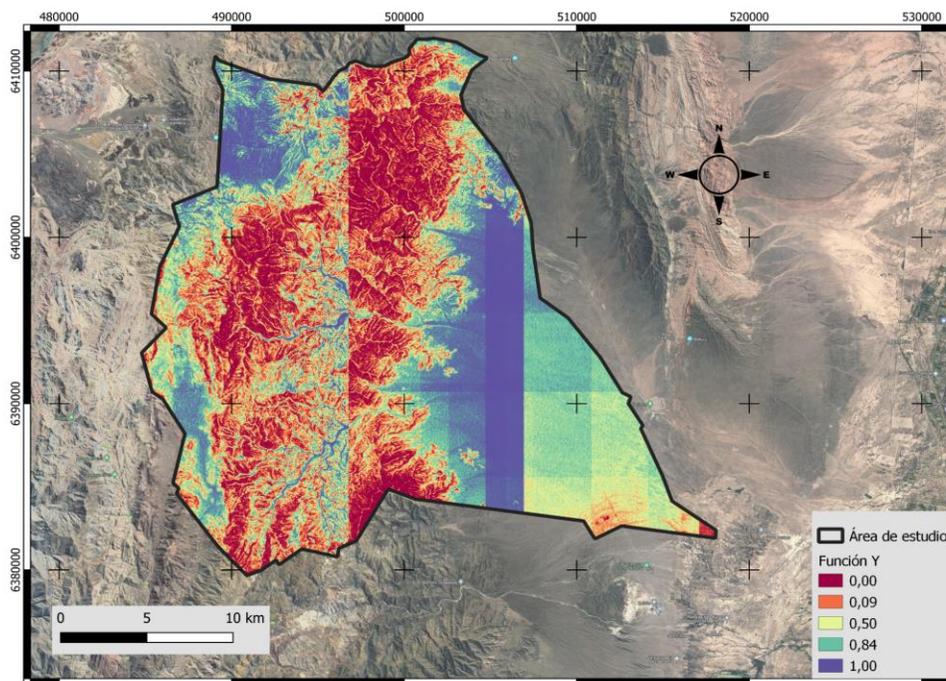
**Tabla 26:** Coeficientes del Modelo.

Coeficientes del Modelo - Incendios

Predictor	Estimador	Intervalo de Confianza al 95%		EE	Z	p	Razón de odds	Intervalo de Confianza al 95%	
		Inferior	Superior					Inferior	Superior
Constante	3.2632	-27.639	34.1657	15.767	0.2070	0.836	26.13251	9.92e -13	6.89e +14
GCI antes	-5.2310	-31.650	21.1883	13.479	-0.3881	0.698	0.00535	1.80e -14	1.59e +9
NBR antes	25.6599	-36.455	87.7745	31.692	0.8097	0.418	1.39e+11	1.47e -16	1.32e +38
TIR	0.0497	-0.185	0.2844	0.120	0.4153	0.678	1.05098	0.831	1.33
Dif GCI	-0.4834	-26.516	25.5496	13.282	-0.0364	0.971	0.61670	3.05e -12	1.25e +11
Dif NBR	-2.7340	-30.298	24.8295	14.063	-0.1944	0.846	0.06496	6.95e -14	6.07e +10
Pp M	0.2140	-0.216	0.6436	0.219	0.9761	0.329	1.23859	0.806	1.90
Pp 3	-0.0242	-0.253	0.2050	0.117	-0.2067	0.836	0.97613	0.776	1.23
Hum 3	76.7139	-109.958	263.3857	95.242	0.8055	0.421	2.07e+33	1.76e -48	2.44e+114
Hum dia	-184.5685	-540.203	171.0660	181.449	-1.0172	0.309	6.97e-81	2.47e-235	1.96e +74
TMM	0.2010	-0.321	0.7233	0.266	0.7542	0.451	1.22260	0.725	2.06
TM dia	-0.5356	-1.106	0.0344	0.291	-1.8416	0.066	0.58533	0.331	1.04
Pendiente	-0.0929	-0.309	0.1231	0.110	-0.8428	0.399	0.91132	0.734	1.13
TWI	0.1477	-0.557	0.8527	0.360	0.4105	0.681	1.15912	0.573	2.35

Nota. Los estimadores representan el log odds de "Incendios = 0" vs. "Incendios = 1"

En la Figura 17 se observa el mapa correspondiente a la Función de la regresión logística (Y).



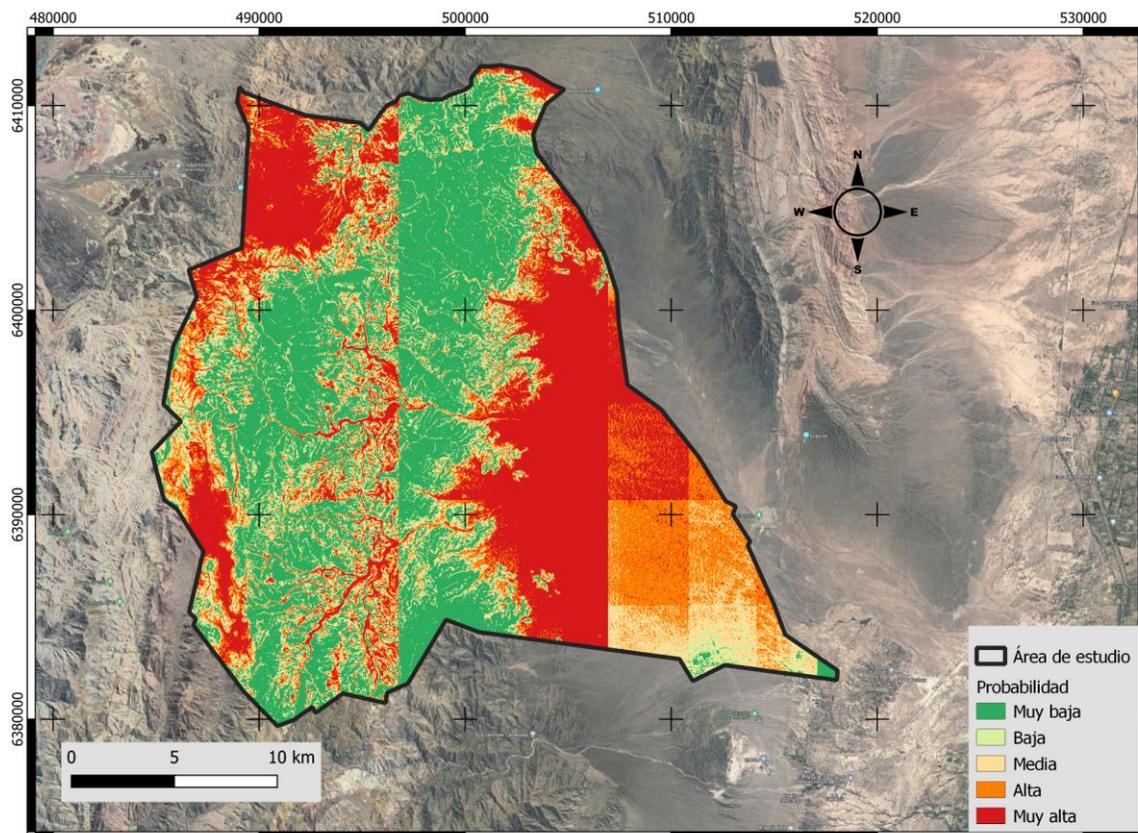
**Figura 17:** Mapa correspondiente a la función de regresión logística (Y) para la RVN en el año 2023. Sistema de coordenadas: UTM 19S – EPSG 32719. Fondo cartográfico: Map data ©2015 Google (Fuente: Elaboración propia).

Finalmente, la probabilidad de ocurrencia de eventos de incendio se calculó como:

$$p_i = \frac{1}{1 + e^{-(\beta_0 + \beta_1 x_{1,i} + \dots + \beta_k x_{k,i})}}$$

En la Figura 18, se muestran las probabilidades de ocurrencia de incendio presentes en las diferentes zonas dentro de la RNV. En ella se observa que las ecorregiones Monte y Puna son las que perciben mayores valores de probabilidades (color rojo). En el caso del Monte resultó ser el área más propensa a la ocurrencia de incendios ya que al visualizar la figura, casi todo su territorio se encuentra caracterizado por poseer “muy altas” probabilidades, que van desde el 80% al 100% (Tabla 27). Asimismo, estos resultados son probablemente consecuencia de que en dichas áreas se expresaron las mayores temperaturas y menores valores de precipitación a nivel mensual, días previos y día del evento. Por otro lado, a medida que nos dirigimos más hacia el sureste de la reserva, su probabilidad disminuye (probabilidad alta= color naranja) a valores de entre 60% y 80%.

La segunda ecorregión con mayores probabilidades de ocurrencia de estos eventos es la Puna, en ella se observa dos grandes áreas en donde la probabilidad es “muy alta”, la primera ubicada en la parte superior de la reserva y la segunda en la parte inferior. La principal causa de la probabilidad de estas zonas es debido a los bajos niveles de acumulación de agua (TWI) y altos valores de pendiente, desencadenando ambientes más secos (poca disponibilidad de agua) y con rápidas velocidades de propagación (en el caso que se produzca el incendio). Por último, la ecorregión Cardonal es la que presenta valores menores de probabilidades de incendio en la mayoría de su territorio, posee probabilidades bajas, y altas, que van desde 40% a 60%. En ella se registran temperaturas y precipitaciones media y altos valores de acumulación de agua.



**Figura 18:** Mapa de probabilidad de ocurrencia de incendio para la RNV para el año 2023. Sistema de coordenadas: UTM 19S – EPSG 32719. Fondo cartográfico: Map data ©2015 Google (Fuente: Elaboración propia).

**Tabla 27:** Valores de los intervalos de probabilidad.

Intervalo de valores	Probabilidad
0 a 0.2	Muy baja
0.2 a 0.4	Baja
0.4 a 0.6	Media
0.6 a 0.8	Alta
0.8 a 1	Muy alta



## 5. DISCUSIÓN

Contar con conocimientos certeros de la localización de los focos de incendios, las zonas con mayores probabilidades de ocurrencia incendios y de las variables que influyen en dicha probabilidad son aspectos relevantes a tener en cuenta para la correcta prevención, manejo y planificación de estrategias contra este tipo de eventos.

Según los resultados obtenidos, el empleo de herramientas de teledetección para la identificación de focos de incendios fue una de las estrategias que se llevó a cabo a lo largo de este trabajo y que contribuyó de manera considerable al estudio de los incendios, aportando datos de calidad y de manera rápida sobre la localización de los mismos. Sin embargo, la limitación que se encontró presente en este tipo de herramientas, fue a la hora de obtener los valores de las variables ya que se debe tener conocimiento de que no siempre se cuenta con los satélites u otras herramientas adecuadas para realizarlo (Zerda 1998; Collado y Echeverría 2005, Sione, 2006). En este caso particular, la captura de valores de ciertas variables (ejemplo: velocidad del viento) no fueron posibles debido a la temporalidad del satélite (fecha a partir de la cual se encuentra en funcionamiento) y la escala del área de estudio (poca precisión en los datos, tamaño de pixeles muy grandes).

Por otro lado, las variables seleccionadas se consideraron fundamentales para el análisis de los eventos de incendio, permitiendo caracterizar el ambiente de las zonas con incendio y sin incendios y determinar el comportamiento del fuego. Dentro de las mismas, las variables climáticas fueron una de las mayores fuentes de información para el análisis, ya que tal y como lo expresan, Flannigan y Harrington (1988), son parámetros climáticos que influyen sustancialmente en el origen y propagación del incendio tales como la temperatura, la precipitación, la humedad, la velocidad del viento y la ocurrencia de rayos. Los resultados obtenidos, mostraron que las áreas incendiadas presentaron mayores valores de temperaturas y generalmente menores precipitaciones en los periodos de tiempos previos al incendio y del día del incendio, condiciones tal como afirma Cesca (2011), favorecen la ignición de la zona.

El caso de la variable Humedad del suelo, ha sido determinante para esta tesis, ya que partir de ella se seleccionaron los focos de incendios a analizar, y es considerada por numerosos autores, vital, para el análisis de estos tipos eventos (Cesca, 2011; Dentoni y Muñoz, 2007; Villers, 2006).

Dentro del conjunto de variables analizadas, la vegetación fue una de las variables estudiada con poca profundidad, ya que los valores de la misma se obtuvieron mediante solo dos índices espectrales (NBR y GCI y sus correspondientes diferenciales). La principal causa de este suceso radica en la falta de información y de mapas específicos de los combustibles por parte de la reserva. Asimismo, ante esta situación, lo que recomienda Ferraris, (2012), es la generación de mapas de modelos de combustibles de la vegetación de las zonas de estudio ya que la incorporación de la misma podría ayudar a determinar la inflamabilidad de la zona y la velocidad de propagación. Complementario a lo dicho por Ferraris, Defossé y Urretavizcaya (2003) indican que una vez generado el fuego (fuentes naturales o antrópicas) la evolución del mismo dependerá de si hay suficiente combustible, de las características del mismo (combustible inflamable, fino, grueso), de la continuidad del combustible, de la humedad relativa del aire, de la temperatura, vientos, pendiente y exposición.



A partir del mapa de probabilidad de ocurrencia incendios realizado en la RNV, se pudo observar que dentro de la misma existen zonas más propensas a incendiarse en comparación a otras. La ecorregión del Monte el área que presentó mayor probabilidad de ocurrencia de incendio dentro de RNV. La misma se caracterizó por contener probabilidades entre 80% y 100% en gran parte de su territorio como consecuencias de las variables que se encontraron en ella (altas temperaturas y bajas precipitaciones) y por tratarse del área mayormente impactada por los dichos eventos como se había descrito en estudio anteriores (Chiaradia, 2021; Fundación Villavicencio, 2015, 2017, 2018).

La Puna por su parte, obtuvo probabilidades muy altas en dos zonas específicas (entre 80% y 100%) y en el resto del territorio probabilidades medias y bajas, representando una ecorregión muy variable dentro reserva. Sin embargo, según plantea Martínez, (2006) esto no siempre permanecería así, ya que para el año 2050, la Puna sería una de las regiones mayormente afectadas por desastres extremos (como los incendios), debido a las modificaciones producidas por el cambio climático. Los mismos se verán reflejado como aumentos de la temperatura y disminución tanto de las precipitaciones como de la humedad, generando condiciones favorables para el inicio de la ignición. Asimismo, las contribuciones de esta ecorregión según Flores, (2016) son esenciales en 3 escalas distintas: a escala global son regiones con alta captación de carbono y conservan la biodiversidad de plantas y animales. A escala regional favorece la recarga de las aguas subterráneas y disponibilidad de la misma reduciendo el riesgo de inundaciones. Mientras que, a escala local, incrementa la disponibilidad de agua, reduce la degradación de suelos y mejora la producción de biomasa.

Por último, el Cardonal, fue ecorregión menos afectada por dichos eventos, siendo que la mayoría de sus probabilidades ronda entre 20% y 40%, con zonas puntuales de probabilidades más elevadas. En él se destaca su importante rol ecológico conteniendo la mayor cantidad de humedales de la reserva (Fundación Villavicencio, 2020).



## 6. CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos, se establece que el área de estudio analizada es heterogénea, ya que existen áreas dentro de la RNV que poseen probabilidades de ocurrencias de incendios diferentes debido a las distintas condiciones que presenta cada una de ellas. Dichas condiciones, se encuentran determinadas por las variables climáticas, morfológicas y de vegetación encargadas de determinar el ambiente y el comportamiento del fuego.

La tendencia general de los tres conjuntos de datos es la generación de ambientes más secos en las zonas incendiadas, dado por el aumento de la temperatura y disminución de la precipitación principalmente acompañado de otras variables que favorecen el comienzo de la ignición en el área de estudio.

Las ecorregiones del Monte y la Puna fueron las áreas que presentaron mayores probabilidades de ocurrencia de incendios (muy altas y altas) y por ende son aquellas a las cuales se les debe brindar una mayor atención y protección ante estos siniestros.

Por último, la generación de propuestas que incluyan conocimientos complementarios a la tesis sería de gran utilidad para la gestión de la RNV. En este caso una de ellas podría ser la generación de un mapa de modelos de combustibles para la reserva, ya que, si bien existen diferentes maneras de ver el estado de la vegetación, dicho mapa nos daría información acerca de la vegetación que se encuentra en el área específica y su capacidad como combustible, indicando su inflamabilidad y la velocidad con la que propagaría el incendio (Ferraris y Zacconi, 2012). Por otro lado, la incorporación de estaciones meteorológicas propias de la reserva, traería consigo múltiples ventajas, ya que se contaría con datos de la mayoría de las variables y sus valores serían más precisos.

Finalmente, dicho trabajo, servirá para la incorporación de conocimientos acerca de las distintas probabilidades de ocurrencia de incendios de la reserva. Estas ayudarán a la generación de nuevas estrategias de prevención y control como así también, el mantenimiento de las ya establecidas como es en el caso de las picadas cortafuego.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- Águila, P. C. M. (2013). Agricultura en zonas áridas y semiáridas. *Revista de Agricultura En Zonas Áridas*, 31(2), 2–5.
- Arellano, S., Vega, J. A., Rodríguez Y Silva, F., Fernández, C., Vega-Nieva, D., Álvarez-González, J. G., & Ruiz-González, A. D. (2017). Validación de los índices de teledetección dNBR y RdNBR para determinar la severidad del fuego en el incendio forestal de Oia-O Rosal (Pontevedra) en 2013. *Revista de Teledetección*, 49(1133–0953), 49–61. <https://doi.org/10.4995/raet.2017.7137>.
- Arguedas, S. M. (2004). *Lineamientos Y Herramientas Para Un Manejo Creativo De Las Áreas Protegidas*. <http://www.ots.ac.cr/~pcambientales/manual/manual.shtml>.
- Avila, E.; Royero, B. (2021). Utilización de series temporales de índices espectrales basados en teledetección para el monitoreo de cultivos de tomate solanum lycopersicum. En Proceedings 3rd Congress in Geomatics Engineering. Editorial Universitat Politècnica de València. 224-230. <https://doi.org/10.4995/CiGeo2021.2021.12696>.
- Ayllón, D., Bravo, S., Mariano Delogu, G., Bautista García Egido, J., Castellnou Ribau, M., Mir, A., Quesada, C., González Ochoa, A., Fontseca, S., Díaz, D., José Casamayor, M., García, D., Barranco, J., Rodríguez, N., & Silva Sergi Fontseca, F. (2022). Una estrategia diferente: hacia comunidades más resilientes al cambio global. *Revista Incendios y Riesgos Naturales*, 6(2660–9940), 1–6. [www.pirineum.es](http://www.pirineum.es).
- Bond, W. J., y Keane, R. E. (2017). Fires, Ecological Effects of ☆. *Reference Module in Life Sciences, February 2016*, 1–11. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-809633-8.02098-7>.
- Burkart, R. (2005). Las áreas protegidas de la Argentina. *La situación ambiental argentina*, 399-404.
- Cabrera, A. (1976). Regiones fitogeográficas Argentinas. In *Enciclopedia argentina de agricultura y jardinería* (11th ed., Vol. 2, pp. 1–85). Editorial Acme. <https://cir.nii.ac.jp/crid/1571698600475625728.bib?lang=ja>.
- Camacho-Valdez, V., y Ruiz-Luna, A. (2012). Marco Conceptual Y Clasificación De Los Servicios Ecosistémicos. *Bio Ciencias*, 1, 3–15. <http://revistabiociencias.uan.mx/index.php/BIOCIENCIAS/article/view/19/17>.
- Campos, C. M., Nates, J., y Lindemann-Matthies, P. (2013). Percepción y conocimiento de la biodiversidad por estudiantes urbanos y rurales de las tierras áridas del centro-oeste de Argentina. *Ecología Austral*, 23(3), 174–183. <https://doi.org/10.25260/ea.13.23.3.0.1172>.
- Carrasco R., T. (2019). Los incendios forestales y su impacto ambiental en reservas ecológicas. In *Explorador Digital* (Vol. 3, Issues 2661–6831). <https://doi.org/10.33262/exploradordigital.v2i1.324>.
- Castillo, M., Pedernera, P., y Pena, E. (2003). Incendios forestales y medio ambiente: una síntesis global. *Revista Ambiente y Desarrollo de CIPMA*, XIX(1), 44–53.
- Castillo Soto, M., y Garfias Salinas, R. (2014). Estudio del comportamiento del fuego mediante simulación de incendios forestales en Chile. *Geographicalia*, 2(58), 81. [https://doi.org/10.26754/ojs\\_geoph/geoph.201058818](https://doi.org/10.26754/ojs_geoph/geoph.201058818).



- Chiaradia, F. G. (2021). *Dinámica Post-Fuego de la comunidad vegetal y del funcionamiento del paisaje en la Reserva Natural Privada de Villavencio*. Facultad de Ciencias Agrarias-Universidad Nacional de Cuyo.
- Chuvieco, E. (1990). *Fundamentos de Teledetección espacial* (Ed. Rialp). ProQuest.
- Chuvieco, Emilio, Opazo, S., Sione, W., Del Valle, H., Anaya, J., Di Bella, C., Cruz, I., Manzo, L., López, G., Mari, N., González-Alonso, F., Morelli, F., Setzer, A., Csiszar, I., Kanpandegi, J. A., Bastarrika, A., y Libonati, R. (2008). Global burned-land estimation in Latin America using MODIS composite data. *Ecological Applications*, 18(1), 64–79. <https://doi.org/10.1890/06-2148.1>.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (1995). *Artículo sobre Población, Medio Ambiente y Desarrollo en América Latina y el Caribe*.
- Condes, S., y Martínez Millán, F. (1998). Comparación entre los índices de distribución espacial de árboles más usados en el ámbito forestal. *Investigación Agraria. Sistemas y Recursos Forestales*, 7(1), 173–188.
- Collado, A.D. y Echeverría, J.C. 2005. Variabilidad espacio-temporal de los incendios rurales en las provincias de San Luis y Mendoza. Información Técnica N° 167. Ediciones Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. San Luis, Argentina. 32 pp.
- Dalmasso, A. D., Martinez, E., Fernando, C., & Silvia, V. (1999). Reserva Natural Villavencio (Mendoza, Argentina). Plan De Manejo. *Multequina*, 008(0327–9375), 11–50.
- De Groot, R. S. (2002). A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics*, 41(3), 393–408. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(02\)00089-7](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(02)00089-7).
- Dentoni, M. C., & Muñoz, M. M. (2007). *Evaluación De Peligro De Incendios: La Experiencia Argentina*.
- Defossé, G.E. y Urretavizcaya, M.F. 2003. Introducción a la Ecología del Fuego. En: R. Kunst, Bravo, S. & Panigatti, J.L. (Ed.). Fuego en los Ecosistemas Argentinos. INTA. Santiago del Estero. 17-26.
- Di Bella, C. M., Posse, G., Beget, M. E., Fischer, M. A., Mari, N., & Veron, S. (2008). La teledetección como herramienta para la prevención, seguimiento y evaluación de incendios e inundaciones. *Ecosistemas*, 17(3), 39–52. <https://doi.org/10.7818/re.2014.17-3.00>.
- Dirección de Planificación y Prevención del Servicio Nacional de Manejo del Fuego (2022). Condiciones de Peligro de Incendios en el País - Áreas más críticas. <https://bit.ly/376jW0y>.
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., González, L., Tablada, M., y Robledo, Y. C. (2011). InfoStat versión 2011. *Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina*. URL <http://www.infostat.com.ar>, 8, 195-199.
- Domínguez-Calle, E., y Lozano-Báez, S. (2014). Estado del arte de los sistemas de alerta temprana en Colombia. *Revista de La Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 38(148), 321. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.132>.

- Fallas, J. (2007). Modelos digitales de elevación: Teoría, métodos de interpolación y aplicaciones. En la Escuela de Ciencias Ambientales. Universidad Nacional, Costa Rica (p. 87).
- Fernández-García, V., Beltrán-Marcos, D., Pinto-Prieto, R., Fernández-Guisuraga, J. M., & Calvo, L. (2019). Uso de técnicas de teledetección para determinar la relación entre la historia de incendios y la severidad del fuego. *Teledetección. Hacia Una Visión Global Del Cambio Climático.*, 135–138. [http://goacf.opt.cie.uva.es/Libro\\_ACTAS\\_XVIII\\_AET\\_A4.pdf](http://goacf.opt.cie.uva.es/Libro_ACTAS_XVIII_AET_A4.pdf).
- Fernández-García, V., Santamarta, M., Fernández-manso, A., y Quintano, C. (2017). *Métricas de severidad de las quemaduras en ecosistemas de pinos propensos al fuego a lo largo de un gradiente climático utilizando imágenes Landsat*. Elsevier.
- Fernández-García, V., Santamarta, M., Fernández-Manso, A., Quintano, C., Marcos, E., y Calvo, L. (2018). Burn severity metrics in fire-prone pine ecosystems along a climatic gradient using Landsat imagery. In *Remote Sensing of Environment* (Vol. 206, pp. 205–217). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.12.029>.
- Fernandez, S. de la F. (2014). *Regresión Logística* (Vol. 2, Issue 1).
- Ferraris, G., y Zacconi, G. (2012). Zonificación Preliminar de Modelos de Combustibles en la Provincia de Mendoza. In *Evaluación de peligro de incendios. Informes técnicos* (Issue 4).
- Ferrero, B. G. (2018). Tras una definición de las áreas protegidas. Apuntes sobre la conservación de la naturaleza en Argentina. *Revista Universitaria de Geografía*, 27(1), 99–117. <https://www.iucn.org/es/news/secretariat/201609/el-15-de-las-tierras-del-planeta-están-protegi-da>.
- Fischer, M. de los Á., Di Bella, C. M., y Jobbágy, Esteban, G. (2007). Factores que controlan la distribución espacio-temporal de los incendios en la región semiárida argentina. In *Teledetección*. Ed. Martin.
- Flannigan, M.D. y Harrington, J.B. 1988. A study of the relation of meteorological variables to monthly provincial area burned by wildfire in Canada (1953-80). *American Meteorological Society*, 27: 441-452.
- Flores, E. R. (2016). Cambio Climático: Pastizales Altoandinos y Seguridad Alimentaria. *Revista de Glaciares y Ecosistemas de Montaña*, 1, 8-8.
- Flores-Rodríguez, A. G., Flores-Garnica, J. G., González-Eguiarte, D. R., Gallegos-Rodríguez, A., Zarazúa-Villaseñor, P., y Mena-Munguía, S. (2021). Comparative analysis of spectral indices to locate and size levels of severity of forest fires. *Investigaciones Geográficas*, 1(106), 1–20. <https://doi.org/10.14350/rig.60396>.
- Foley, J. A., DeFries, R., Asner, G. P., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S. R., Chapin, F. S., Coe, M. T., Daily, G. C., Gibbs, H. K., Helkowski, J. H., Holloway, T., Howard, E. A., Kucharik, C. J., Monfreda, C., Patz, J. A., Prentice, I. C., Ramankutty, N., y Snyder, P. K. (2005). Global consequences of land use. *Science*, 309(5734), 570–574. <https://doi.org/10.1126/science.1111772>.
- Fundación Ambiente y Recursos Naturales. (2021). *Argentina incendiada la historia sin fin*. <https://bit.ly/3ITRjHm>.

- Fundación Villavicencio. (2015). *Registro de incendios y detección de áreas quemadas en Reserva Natural Villavicencio*.
- Fundación Villavicencio. (2017). *Identificación y jerarquización espacial del riesgo de incendio en Reserva natural de Villavicencio por medio de Geotecnología*.
- Fundación Villavicencio. (2018). *Plan de Gestión: Reserva Natural y Sitio Ramsar Villavicencio*.
- Fundación Villavicencio. (2020). *Evolución histórica y tendencias futuras de la cobertura de rosa mosqueta en la Reserva Natural Villavicencio (Mendoza, Argentina)*.
- Galli, S. (2020). *Descripción y zonificación de los bosques de Prosopis flexuosa (algarrobo dulce) de la Reserva Villavicencio con el propósito de incluirlos en el Ordenamiento Territorial de Bosques Nativos de la*. Facultad de Ciencias Agrarias- Universidad Nacional de Cuyo.
- Garay, D. (2020). *Incendios rurales y forestales: la importancia de la Teledetección y los Sistemas de Información Geográfica*. *Tecnoárido*, 3(2), 45–48.
- Gil Mora, J. E. (2022). Incendios Forestales: causas e impactos. *El Antoniano*, 135(1), 68–113. <https://doi.org/10.51343/anto.v135i1.866>.
- Gilabert, J., González-Piqueras, J., y García-Haro. (1997). Acerca de los índices de vegetación. *Revista de Teledeteccion*, 2(May 2014), 1–11. [https://www.researchgate.net/profile/Ma-Gilabert/publication/39195330\\_Acerca\\_de\\_los\\_indices\\_de\\_vegetacion/links/00b7d5187635eb5a1a000000/Acerca-de-los-indices-de-vegetacion.pdf?\\_sg%5B0%5D=started\\_experiment\\_milestone&origin=journalDetail](https://www.researchgate.net/profile/Ma-Gilabert/publication/39195330_Acerca_de_los_indices_de_vegetacion/links/00b7d5187635eb5a1a000000/Acerca-de-los-indices-de-vegetacion.pdf?_sg%5B0%5D=started_experiment_milestone&origin=journalDetail).
- Gitelson, A. A., Viña, A., Ciganda, V., Rundquist, D. C., y Arkebauer, T. J. (2005). Remote estimation of canopy chlorophyll content in crops. *Geophysical Research Letters*, 32(8), 1–4. <https://doi.org/10.1029/2005GL022688>.
- Godoy-Bürki, A. C. (2015). *Diversidad de plantas vasculares en zonas áridas del Noroeste de Argentina (NOA ): Patrones de Distribución , Prioridades de Conservación y Cambio climático*. Universidad Nacional de la Plata - Facultad de Ciencias Naturales y Museo.
- Gonzaga, C. (2014). Aplicación de Índices de Vegetación Derivados de Imágenes Satelitales Landsat 7 ETM + y ASTER para la Caracterización de la Cobertura Vegetal en la Zona Centro de la Provincia De Loja, Ecuador [Facultad de Ingeniería y Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas de la Universidad Nacional de La Plata]. Universidad Nacional de la Plata. [http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/34487/Documento\\_completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/34487/Documento_completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y).
- Hopkins, B., y Skellam, J. G. (1954). A New Method for determining the Type of Distribution of Plant Individuals, WITH AN APPENDIX BY J. G. SKELLAM. *Annals of Botany*, 18(70), 213–227.
- Karlin, M., Bernasconi, J., Schneider, C., Rufini, S., Accietto, R., Arnulphi, S., y Cora, A. (2015). Aprovechamiento de la potencialidad silvopastoril como alternativa para el control de incendios en la Reserva Natural Militar La Calera, Córdoba (Argentina). *Iguazú, Misiones*. Pp, 636-640.
- Karlin, U. O., Karlin, M. S., Zapata, R. M., Coirini, R. O., y Contreras, A. M. (2017). La Provincia Fitogeográfica del Monte: límites territoriales y su representación. *Multequina*, 2(26), 63–75.

- Keeley, J. E. (2009). Fire intensity, fire severity and burn severity: A brief review and suggested usage. *International Journal of Wildland Fire*, 18(1), 116–126. <https://doi.org/10.1071/WF07049>.
- Key, C. H., y Benson, N. C. (2006). Landscape Assessment (LA) sampling and analysis methods. In *USDA Forest Service - General Technical Report RMRS-GTR* (Issues 164 RMRS-GTR).
- Koutsias, N., y Karteris, C. M. (1998). Logistic regression modelling of multitemporal thematic mapper data for burned area mapping. *International Journal of Remote Sensing*, 19(18), 3499–3514. <https://doi.org/10.1080/014311698213777>.
- Lacaustra, A.H., Martínez Sánchez, S., Quintero, E., Piñeros, W. y Chuvieco, E. 2003. Comparación de distintas técnicas de análisis digital para la cartografía de áreas quemadas con imágenes Landsat ETM+. *Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, 3: 216-234.
- Luna, C. V., Fontana, M. L., Kurtz, D. B., & Saucedo, G. I. (2022). Estado De Situación De Daños Por Incendios Forestales Registrados En Argentina. *Innova Biology Sciences*, 2(1), 23–40. <https://doi.org/10.58720/ibs.v2i1.34>.
- Macdonald, K. I. (2003). *Community-Based Conservation*.
- Manzo, L., y López, J. (2013). Detección de áreas quemadas en el sureste de México, utilizando índices pre y post-incendio NBR y BAI, derivados de compuestos MODIS. *Geofocus, Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de La Información Geográfica*, 13–2(1578–5157), 66–83.
- Martínez, E. (1995). Fire forests in Argentina Región Arida-semiárida. *Multequina*, 4(0327–9375), 105-114.
- Martínez, A. G., Núñez, E., Silva, Y., Takahashi, K., Trasmonte, G., Mosquera, K., & Lagos, P. (2006, April). Vulnerability and adaptation to climate change in the Peruvian Central Andes. In *Proceedings of the International Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography (ICSHMO), Foz do Iguacu, Brazil* (pp. 24-28).
- Mataix-Solera, J., y Cerdà, A. (2009). Incendios forestales en España. Ecosistemas terrestres y suelos. In *Efectos de los incendios forestales sobre los suelos en España*.
- McLauchlan, K. K., Higuera, P. E., Miesel, J., Rogers, B. M., Schweitzer, J., Shuman, J. K., Tepley, A. J., Varner, J. M., Veblen, T. T., Adalsteinsson, S. A., Balch, J. K., Baker, P., Batllori, E., Bigio, E., Brando, P., Cattau, M., Chipman, M. L., Coen, J., Crandall, R., ... Watts, A. C. (2020). Fire as a fundamental ecological process: Research advances and frontiers. *Journal of Ecology*, 108(5), 2047–2069. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.13403>.
- Miguel, M.-G., Germán, B., Paola, C.-S., Rodrigo, E., Ivana Belén, C., Diego, C., Andrés, P., Marcelo, C., Pablo, V., Agustín, G., Arnaldo, L., y Nicolás, C. (2018). Predicción y alerta temprana de incendios forestales mediante integración de wsn e imágenes satelitales en un método de reducción de incertidumbre guiado por datos. *XX Workshop de Investigadores En Ciencias de La Computación (WICC 2018, Universidad Nacional Del Nordeste)*., 179–183.
- Miller, J. D., y Thode, A. E. (2007). Quantifying burn severity in a heterogeneous landscape with a relative version of the delta Normalized Burn Ratio (dNBR). *Remote Sensing of Environment*, 109(1), 66–80. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2006.12.006>.

- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (s.f.). *Áreas Protegidas*.  
<https://www.argentina.gob.ar/ambiente/areas-protegidas>.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (s.f.). *Servicio Nacional del Manejo del Fuego*.  
<https://www.argentina.gob.ar/ambiente/fuego/conocemas>.
- Morello, J. 1958. La Provincia Fitogeográfica del Monte. *Opera Lilloana*, 2: 5-115. Pasiecznik.
- Muñoz, P. (2013). Apuntes de Teledetección: Índices de vegetación. In *Centro de información de recursos Naturales*. [http://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/123456789/26389/Tema Indices de vegetación%2C Pedro Muñoz A.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/123456789/26389/Tema%20Indices%20de%20vegetacion%20Pedro%20Mu%C3%B1oz%20A.pdf?sequence=1&isAllowed=y).
- National Aeronautics and Space Administration. (s.f.). Soil Moisture Active Passive (SMAP).  
<https://smap.jpl.nasa.gov/>.
- Navarro, L. M. (2020). *Caracterización espacio temporal de los incendios en la provincia de Chaco y su relación con las actividades antrópicas*. Facultad de Agronomía- Universidad de Buenos Aires.
- Oficina de Riesgo Agropecuario (2022, 13 de febrero). Evaluación de riesgos agroclimáticos.  
<http://www.ora.gob.ar/>.
- Ormeño, S. (2008). Los satélites de media y baja resolución espacial como fuente de datos para la obtención de indicadores ambientales. In *Congreso Nacional del Medio Ambiente, Cumbre del desarrollo sostenible*.
- Pickett, S. T., Wu, J., y Cadenasso, M. L. (1999). Patch dynamics and the ecology of disturbed ground: a framework for synthesis. In *Institute of Ecosystem Studies*.
- Puig, S., Durán, V., Cortegoso, V., y Lucero, G. (2008). *Plan de Manejo para la Reserva Villavicencio Período 2009-2013. Aspectos Socio-Culturales*.
- Reyes-Bueno, F., y Balcazar-Gallegos, C. (2021). Factores que inciden en la probabilidad de ocurrencia de incendios forestales en Ecuador. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 11(1), 50–60. <https://doi.org/10.29166/revfig.v11i1.2634>.
- Roa-Lobo, J., y Kamp, U. (2012). Uso del índice topográfico de humedad (ITH) para el diagnóstico de la amenaza por desborde fluvial, estado Trujillo-Venezuela. *Revista Geográfica Venezolana*, 53(1), 109–126.
- Roa, J., y Kamp, U. (2012). Use of the topographic wetness index (TWI) for the diagnosis of the river overflow threat, Trujillo State-Venezuela. *Revista Geográfica Venezolana*, 53(1), 109–126. <https://www.redalyc.org/pdf/3477/347730388007.pdf>.
- Roig, F. A., y Carretero, E. M. (1998). The Puna vegetation in the province of Mendoza, Argentina. *Phytocoenologia*, 28(4), 565–608. <https://doi.org/10.1127/phyto/28/1998/565>.
- Rosero, J., y Osorio, G. (2013). Efectos de los incendios forestales en las propiedades del suelo. *Cuaderno Activa*, 5(1), 59–67.
- Ruiz, G. (2021). Análisis Discriminante. *Varianza*, 10, 5–7.  
<http://www.revistasbolivianas.org.bo/pdf/rv/n9/n9a03.pdf>.

- Sacristán-Romero, F. (2005). La Teledetección satelital y los sistemas de protección ambiental. *AquaTIC*, 5(1578–4541), 13–41. <https://doi.org/10.22518/16578953.701>.
- Sánchez-Díaz, B. (2018). La teledetección en investigaciones ecológicas como apoyo a la conservación de la biodiversidad. *Científica*, 3(33), 243–253. <https://doi.org/10.14483/23448350.13370>.
- Secretaría de la Convención de Ramsar. (2013). Manual de la Convención de Ramsar: Guía a la Convención sobre los Humedales (Ramsar, Irán, 1971) (6 ed.). Gland, Suiza: Secretaría de la Convención de Ramsar. Recuperado el 19 de julio de 2021, de: <https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/manual6-2013-sp.pdf>.
- Sione, W. F. (2006). *La Teleobservación como herramienta para la generación de mapas de riesgo de incendio y monitoreo de zonas incendiadas*. Universidad Nacional de Luján.
- Vargas-Sanabria, D., y Campos-Vargas, C. (2018). Modelo de vulnerabilidad ante incendios forestales para el Área de Conservación Guanacaste, Costa Rica. *Cuaderno de Investigación UNED*, 10(2), 435–446. <https://doi.org/10.22458/urj.v10i2.2173>.
- Vega-Araya, M. (2015). *Fortalecimiento de la Estrategia Control y Protección de Incendios*. [http://reddcr.go.cr/sites/default/files/centro-de-documentacion/report-incendios\\_4.pdf](http://reddcr.go.cr/sites/default/files/centro-de-documentacion/report-incendios_4.pdf).
- Vergopolan, N., Chaney, N. W., Pan, M., Sheffield, J., Beck, H. E., Ferguson, C. R., Torres-Rojas, L., Sadri, S., y Wood, E. F. (2021). SMAP-HydroBlocks, a 30-m satellite-based soil moisture dataset for the conterminous US. *Scientific Data*, 8(1), 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41597-021-01050-2>.
- Vidal, P., De Santis, A., Pérez, W., y Honeyman, P. (2017). Uso de herramientas de teledetección para el análisis de la severidad y estimación de gases de efecto invernadero (GEI) en incendios forestales de gran magnitud. Estudio de caso incendio La Rufina, VI Región del L. G. B. O'Higgins, Chile. *Revista de Teledeteccion*, 2(50), 59–70. <https://doi.org/10.4995/raet.2017.8987>.
- Villers, M. de L. (2006). Incendio Forestal. *Revista Unam*, 1(0187–6376), 61–66. <http://revistas.unam.mx/index.php/cns/article/view/12036/11358>.
- Zacconi, G. (2018). *Análisis preliminar de focos de calor MODIS con componentes del FWI en el norte de Argentina*.
- Zabala, C. S. (2021). Las comunidades criptógamas como potenciales indicadores de recuperación post-fuego en el pedemonte mendocino. Tesis de grado, FCA - UNCuyo, Mendoza.
- Zerda, H.R. (1998). Monitoreo y análisis de los cambios en la vegetación por acción antrópica a través de la percepción remota y SIG. Caso de estudio en el chaco argentino. Seminario realizado en el Instituto de Silvicultura y Manejo de Bosques- INSIMA, Ftad. de Cs. Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero.: 1- 10.
- Zivkovic, L., Carretero, E. M., y Dalmaso, A. (2013). *Carbono Acumulado en la biomasa vegetal de la reserva de Villavicencio (Mendoza-Argentina)*.



## 8. ANEXOS

### Anexo 1: Registro de focos de incendios y valores de sus variables

**Tabla 28:** Registro de los focos de incendios obtenidos de Firms.

ID	Fecha del evento	X	Y
1	2000-12-26	503784.3236	6400371.218
2	2000-12-26	504676.2856	6400104.797
3	2000-12-26	505296.0754	6400182.084
4	2000-12-26	506798.3729	6399981.642
5	2000-12-26	507522.0462	6400834.684
6	2000-12-27	504001.1134	6402399.72
7	2000-12-27	504103.9285	6401180.311
8	2000-12-27	504864.3901	6400725.477
9	2002-12-25	504486.1038	6394806.142
10	2003-12-30	515446.5342	6381769.831
11	2003-12-30	515800.4661	6380361.411
12	2003-12-30	516173.0549	6378964.03
13	2003-12-30	516466.0872	6380504.442
14	2003-12-30	516829.2176	6379107.052
15	2003-12-30	517603.2261	6382287.266
16	2003-12-30	517966.2639	6380889.837
17	2003-12-30	518329.1777	6379481.307
18	2003-12-30	518613.2287	6381043.844
19	2003-12-31	517290.7792	6380491.956
20	2003-12-31	517906.9538	6379182.767
21	2004-01-01	517026.2241	6379239.744
22	2006-02-07	515504.0336	6382578.984
23	2006-07-26	503239.0029	6398276.307
24	2006-07-26	503407.6542	6397278.58
25	2006-07-26	504234.2453	6398442.213
26	2006-07-26	504281.0884	6398209.403
27	2006-07-26	504402.8001	6397444.47
28	2006-07-26	506026.4932	6396833.934
29	2009-07-14	517300.73	6380824.505
30	2015-08-27	521650.4381	6381314.831
31	2015-08-27	523038.263	6381611.022
32	2015-09-10	521288.3286	6382911.934
33	2016-07-12	524349.5792	6377428.613
34	2017-01-02	517369.384	6377210.485
35	2018-03-04	517081.2285	6383984.26
36	2018-04-29	523104.8259	6382021.034
37	2019-06-22	519221.0635	6385188.676
38	2019-06-25	523543.332	6377208.845
39	2020-11-05	517045.1364	6379339.481
40	2020-09-15	517982.861	6379703.652
41	2020-09-15	518507.2841	6379514.234
42	2020-09-15	517954.324	6384658.938
43	2020-11-05	519117.3509	6384889.567
44	2023-02-06	498133.6525	6382872.468
45	2023-02-06	498387.6953	6382813.759
46	2023-02-06	498563.907	6382931.292



47	2023-02-06	498592.0885	6382510.048
48	2023-02-06	498816.0736	6382874.789
49	2023-02-06	498848.9311	6382453.546
50	2023-02-06	499025.142	6382569.962
51	2023-02-06	514620.5607	6377801.343

**Tabla 29:** Registro de los focos de incendios obtenidos por el área técnica de Villavencio.

ID	Fecha del evento	X	Y
1	2005-11-25	499582.94	6393363.59
2	2005-12-11	504183.67	6399735.51
3	2006-11-12	498435.7	6395518.95
4	2006-12-25	504068.32	6398289.55
5	2007-12-25	502621.39	6400029.8
6	2007-12-09	498044.47	6396288.69
7	2008-07-25	505775.02	6377771.51
8	2008-10-19	506524.94	6414303.14
9	2010-12-28	500854.78	6391118.79
10	2010-12-25	498488.53	6390970.9
11	2011-12-24	494475.67	6390313.61

**Tabla 30:** Registro de los focos de incendios obtenidos por el Téc. Ferraris.

ID	Fecha del evento	X	Y
1	2006-03-23	506378.1799	6376802.384
2	2006-07-25	502883.977	6379056.843
3	2007-12-22	504544.9896	6397026.861
4	2008-12-26	521558.2839	6382039.288
5	2008-12-27	505016.1762	6395468.542
6	2009-03-01	515728.9646	6382225.742
7	2009-08-29	502751.2699	6399965.098
8	2010-10-05	519674.3524	6377351.836
9	2013-01-06	516060.7142	6378061.969
10	2017-01-02	515378.977	6378158.507

**Tabla 31:** Valores de los índices espectrales para el conjunto de datos de Firms.

ID	GCI previo al incendio	NBR previo al incendio	Diferencial GCI	Diferencial NBR
1	0.290	0.000	0.018	-0.024
2	0.484	0.022	0.272	0.253
3	0.586	0.082	0.328	0.310
4	0.394	0.022	0.255	0.226
5	0.344	0.049	0.063	0.117
6	0.500	0.034	0.367	0.319
7	0.353	0.045	-0.047	0.003
8	0.375	0.100	0.188	0.274
9	1.667	-0.020	-0.467	-0.088
10	0.291	0.022	-0.069	-0.058
11	0.278	0.015	-0.086	-0.038
12	0.276	-0.045	0.011	-0.001
13	0.382	0.056	-0.482	-0.226
14	0.245	-0.029	-0.059	-0.120
15	0.263	-0.020	-0.047	-0.034
16	0.228	-0.028	-0.031	-0.074
17	0.267	-0.044	0.010	-0.033
18	0.232	-0.028	-0.027	-0.043
19	0.259	-0.027	-0.032	-0.027
20	0.333	0.043	0.039	0.181
21	0.232	-0.014	-0.048	0.001
22	0.463	0.053	0.143	0.053
23	0.486	0.058	0.344	0.058
24	0.737	0.158	0.389	0.158
25	0.452	0.025	0.278	0.025
26	0.396	0.039	0.156	0.039
27	0.442	0.008	0.260	0.008
28	0.450	0.036	0.124	0.195
29	0.645	0.244	0.688	0.221
30	0.265	0.009	-0.029	-0.006
31	0.244	0.010	-0.016	0.007
32	0.130	0.028	-0.016	0.004
33	1.200	0.300	0.039	-0.018
34	0.269	0.012	-0.100	-0.074
35	0.110	0.028	0.130	0.012
36	0.303	-0.004	0.228	0.013
37	0.154	0.022	0.007	0.000
38	0.167	0.023	-0.001	-0.006
39	0.067	0.019	-0.084	0.021
40	0.082	0.069	-0.024	0.214
41	0.055	0.014	-0.059	0.005
42	0.051	0.052	-0.015	0.088
43	0.305	0.017	-0.093	0.010
44	0.103	-0.186	-0.573	-0.401
45	0.294	-0.011	0.068	-0.012
46	0.273	-0.041	0.074	0.037
47	0.193	-0.105	-0.005	-0.162
48	0.227	-0.077	0.138	0.081
49	0.300	-0.007	0.107	0.081
50	0.256	-0.021	0.056	-0.038
51	0.362	-0.003	0.146	0.133

**Tabla 32:** Valores de las variables climáticas para el conjunto de datos de Firms.

ID	TIR	Precipitación media mensual	Precipitación previa al incendio	Precipitación día del incendio	Humedad del suelo previa al incendio	Humedad del suelo día al incendio	Temperatura máxima mensual	Temperatura máxima previa al incendio	Temperatura máxima día del incendio
1	143	20.00	0.00	0.00			35.00	34.11	31.07
2	139	20.00	0.00	0.00			27.80	27.69	24.52
3	136	20.00	0.00	0.00			27.80	27.69	24.52
4	138	20.00	0.00	0.00			29.00	27.69	24.52
5	142	20.00	0.00	0.00			30.50	29.57	26.50
6	134	20.00	0.00	0.00			30.00	29.57	26.50
7	139	20.00	0.00	0.00			30.00	29.57	26.50
8	138	20.00	0.00	0.00			30.00	29.57	26.50
9	138	38.00	0.00	0.00			28.20	28.00	28.00
10	140	39.00	0.00	0.00			34.30	34.32	34.32
11	140	45.00	0.00	0.00			34.30	34.32	34.32
12	143	39.00	0.00	0.00			32.00	27.02	27.02
13	142	45.00	0.00	0.00			32.00	31.76	31.76
14	139	39.00	0.00	0.00			32.00	27.02	27.02
15	140	39.00	0.00	0.00			32.00	31.76	31.76
16	146	39.00	0.00	0.00			32.00	27.02	27.02
17	145	40.00	0.00	0.00			34.00	33.68	33.68
18	144	40.00	0.00	0.00			32.00	28.54	28.54
19	143	39.00	0.00	0.00			32.50	31.76	29.51
20	136	39.00	0.00	0.00			32.50	31.76	29.51
21	139	43.00	0.00	0.00			33.00	31.76	30.97
22	180	89.00	45.38	0.00			31.00	29.85	26.66
23	171	25.00	9.04	0.00			16.00	13.46	7.85
24	170	25.00	9.04	0.00			16.01	13.46	7.85
25	180	25.00	9.04	0.00			16.01	13.46	7.85
26	186	25.00	9.04	0.00			16.00	13.46	7.85
27	181	19.00	5.80	0.00			16.00	13.46	7.85
28	128	25.00	9.04	0.00			15.80	13.46	7.85
29	133	2.00	1.79	1.79			15.50	18.94	12.57
30	95	15.00	18.71	0.00	0.07	0.06	22.00	23.07	20.81
31	98	15.00	18.71	0.00	0.07	0.06	22.00	23.07	20.81



32	102	8.00	0.00	0.00	0.06	0.06	22.00	22.08	13.22
33	117	3.00	9.18	0.00	0.14	0.13	21.50	16.28	12.69
34	123	33.00	0.00	0.00	0.06	0.05	35.20	38.46	35.66
35	129	10.00	0.00	0.00	0.07	0.04	25.00	31.90	31.11
36	116	5.00	0.00	0.00	0.05	0.04	25.20	27.52	21.78
37	93	7.00	0.00	0.00	0.06	0.07	15.10	19.24	18.15
38	92	5.00	0.00	0.00	0.07	0.07	15.30	20.24	9.34
39	113	9.00	0.00	0.00	0.03	0.03	23.20	25.18	25.18
40	103	1.00	0.00	0.00	0.04	0.05	23.20	21.37	21.37
41	111	1.00	0.00	0.00	0.05	0.05	23.20	25.18	25.18
42	105	1.00	0.00	0.00	0.04	0.05	31.00	34.26	26.98
43	136	7.00	0.00	0.00	0.03	0.03	31.00	34.26	26.98
44	105	14.62	0.00	0.00	0.06	0.04	37.00	30.15	28.31
45	98	18.45	3.22	0.00	0.08	0.05	32.00	24.72	23.17
46	97	18.45	5.26	0.00	0.08	0.05	32.00	24.72	23.17
47	94	18.45	5.26	0.00	0.08	0.05	32.00	24.72	23.17
48	96	18.45	5.26	0.00	0.08	0.05	32.00	24.72	23.17
49	101	18.45	5.26	0.00	0.08	0.05	32.00	24.72	23.17
50	94	18.45	5.26	0.00	0.08	0.05	32.00	24.72	23.17
51	102	18.45	5.26	0.00	0.08	0.05	32.00	24.72	23.17



**Tabla 33:** Valores de las variables morfológicas para el conjunto de datos de Firms.

ID	Pendiente	Orientación	TWI
1	7.21	326.310	6.18
2	0.00	0.000	5.88
3	18.44	347.471	3.17
4	5.83	30.964	5.47
5	7.07	315.000	6.95
6	9.49	341.565	5.72
7	18.44	40.601	3.85
8	4.47	63.435	7.68
9	4.47	26.565	7.52
10	1.41	315.000	9.47
11	3.16	71.565	9.70
12	4.00	270.000	9.10
13	1.41	135.000	11.24
14	7.07	8.130	7.37
15	0.00	315.000	10.66
16	4.00	270.000	9.07
17	0.00	315.000	13.43
18	0.00	270.000	12.04
19	4.24	135.000	10.30
20	0.00	180.000	10.65
21	5.66	315.000	9.59
22	1.41	45.000	8.52
23	7.62	336.801	5.43
24	41.59	27.181	2.63
25	5.10	281.310	6.28
26	28.64	294.775	2.46
27	7.21	303.690	6.28
28	4.47	296.565	6.15
29	0.00	270.000	13.19
30	2.83	315.000	10.85
31	7.62	246.801	10.14
32	7.07	315.000	4.87
33	4.47	296.565	8.12
34	2.00	270.000	8.06
35	1.41	315.000	10.17
36	4.00	180.000	12.11
37	4.47	243.435	7.81
38	0.00	270.000	11.13
39	3.16	288.435	8.78
40	4.00	0.000	10.58
41	0.00	135.000	10.84
42	5.66	315.000	10.20
43	0.00	225.000	10.14
44	4.00	0.000	6.32
45	66.48	291.161	2.16
46	74.73	74.476	2.20
47	24.33	279.462	6.78
48	31.40	350.838	4.92

49	57.98	32.320	2.19
50	38.83	258.111	1.98
51	71.06	2.420	2.43

**Tabla 34:** Valores de los índices espectrales para el conjunto de datos del área técnica de Villavicencio.

ID	GCI previo al incendio	NBR previo al incendio	Diferencial GCI	Diferencial NBR
1	0.545	0.200	0.727	-0.004
2	0.538	0.067	0.119	0.090
3	0.226	0.000	0.052	0.018
4	0.314	-0.021	0.053	-0.021
5	0.438	0.057	0.104	0.007
6	0.043	0.043	-0.012	-0.182
7	0.313	0.012	-0.101	-0.129
8	0.375	-0.011	0.080	0.070
9	0.263	-0.094	-0.049	0.014
10	0.333	0.038	0.231	0.014
11	0.216	-0.091	0.026	-0.031

**Tabla 35:** Valores de las variables climáticas para el conjunto de datos del área técnica de Villavicencio.

ID	TIR	Precipitación media mensual	Precipitación previa al incendio	Precipitación día del incendio	Temperatura máxima mensual	Temperatura máxima previa al incendio	Temperatura máxima día del incendio
1	165	14.88	0.00	0.00	26.00	24.13	21.24
2	109	3.00	0.00	0.00	29.40	23.40	23.40
3	157	34.00	2.26	0.00	25.00	24.79	24.79
4	173	14.00	0.00	0.00	26.00	21.35	20.69
5	144	7.00	0.00	0.00	30.20	23.01	17.30
6	122	7.00	0.00	0.00	26.00	26.30	26.30
7	144	1.00	0.00	0.00	15.00	11.28	11.28
8	141	10.00	0.00	0.00	21.20	19.00	19.00
9	182	28.00	0.00	0.00	29.00	21.98	21.98
10	151	18.00	0.00	0.00	29.50	22.89	13.70
11	172	28.00	0.00	0.00	22.80	19.28	20.04

**Tabla 36:** Valores de las variables morfológicas para el conjunto de datos del área técnica de Villavicencio.

ID	Pendiente	Orientación	TWI
1	41.79	248.962	2.61
2	9.90	315.000	7.12
3	47.10	266.348	2.72
4	4.24	315.000	5.34
5	14.56	74.055	5.25
6	58.00	223.603	2.11
7	4.47	26.565	5.85
8	7.07	45.000	8.10
9	5.83	329.036	4.94
10	16.12	330.255	4.34
11	50.12	298.610	2.57

**Tabla 37:** Valores de los índices espectrales para el conjunto de datos del Téc. Ferraris.

ID	GCI previo al incendio	NBR previo al incendio	Diferencial GCI	Diferencial NBR
1	0.535	0.087	0.399	0.098
2	0.516	0.093	-0.142	-0.474
3	0.263	0.067	0.055	0.201
4	0.315	-0.027	0.174	-0.003
5	0.317	0.049	0.031	0.111
6	0.429	0.008	0.129	0.096
7	0.466	0.112	0.147	0.131
8	0.333	0.011	0.296	0.046
9	0.000	0.520	-0.158	0.023
10	0.307	0.012	-0.007	-0.027

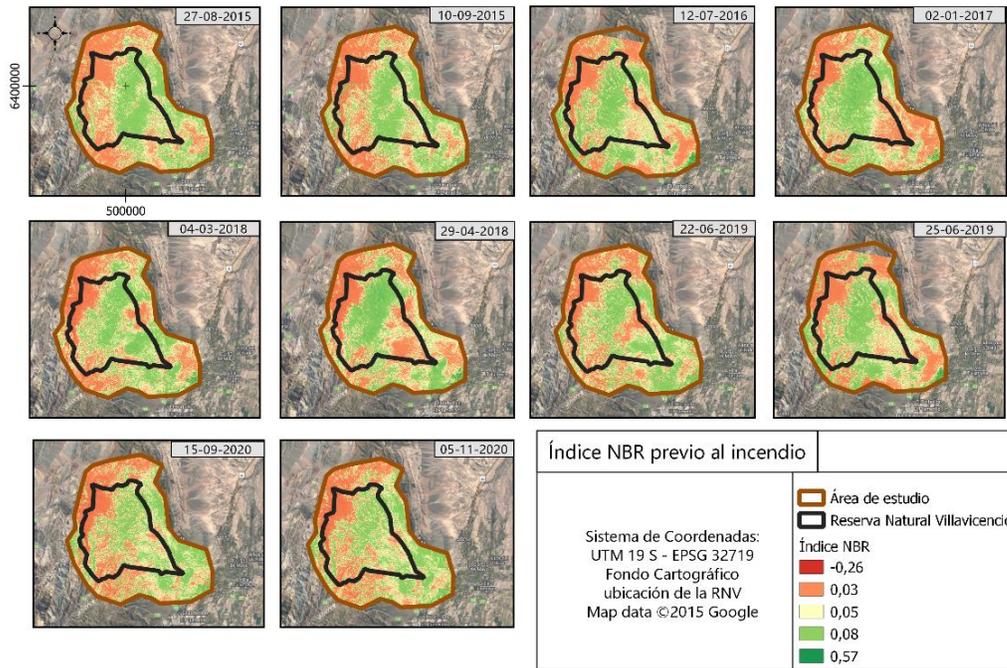
**Tabla 38:** Valores de las variables climáticas para el conjunto de datos del Téc. Ferraris.

ID	TIR	Precipitación media mensual	Precipitación previa al incendio	Precipitación día del incendio	Humedad previo al incendio	Humedad día del incendio	Temperatura Máxima mensual	Temperatura a máxima previa al incendio	Temperatura máxima día del incendio
1	169	4.00	0.00	0.00			29.30	22.33	22.33
2	154	13.00	8.11	0.00			25.60	21.14	21.14
3	126	19.00	0.00	0.00			14.60	13.40	10.11
4	159	8.00	0.00	0.00			34.83	32.80	30.00
5	178	23.00	0.00	0.00			29.70	23.15	21.00
6	179	27.00	0.00	0.00			32.00	30.00	27.00
7	164	14.00	7.42	0.00			26.20	23.00	23.00
8	135	6.00	1.00	0.00			32.00	32.00	30.00
9	127	11.00	0.00	0.00			26.00	21.00	21.00
10	128	28.00	0.00	0.00	0.05	0.05	35.00	33.00	30.00

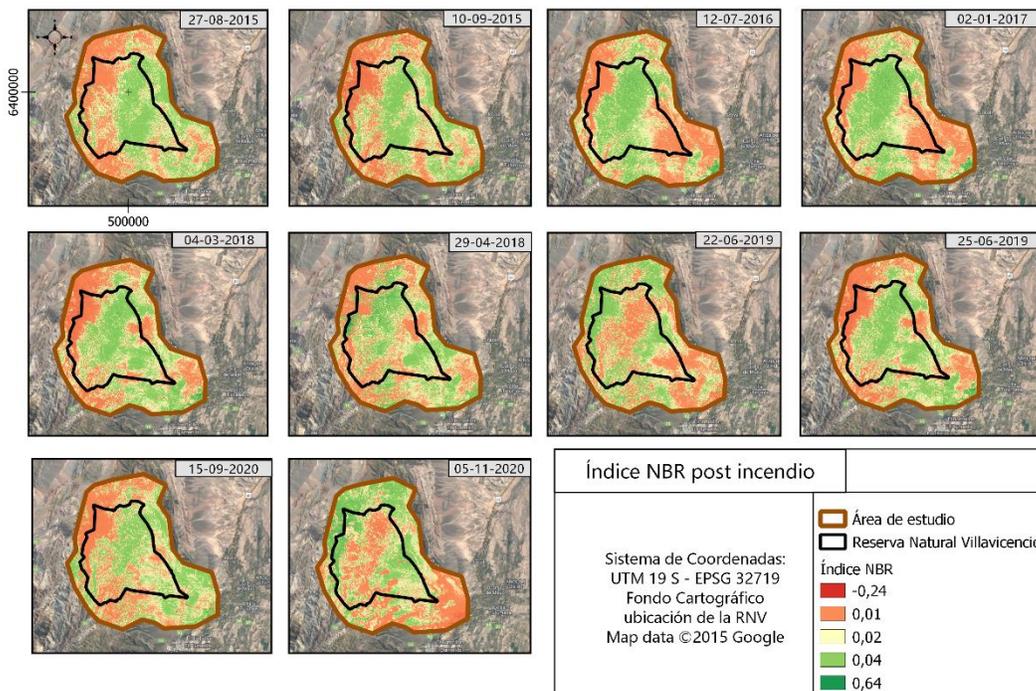
**Tabla 39:** Valores de las variables morfológicas para el conjunto de datos del Téc. Ferraris.

ID	Pendiente	Orientación	TWI
1	11.40	344.745	5.22
2	14.42	303.690	5.27
3	7.07	351.870	6.74
4	3.16	71.565	9.90
5	3.16	108.435	6.72
6	5.10	101.310	8.54
7	13.04	57.529	5.93
8	4.00	0.000	9.00
9	2.00	180.000	8.92
10	3.16	251.565	9.45

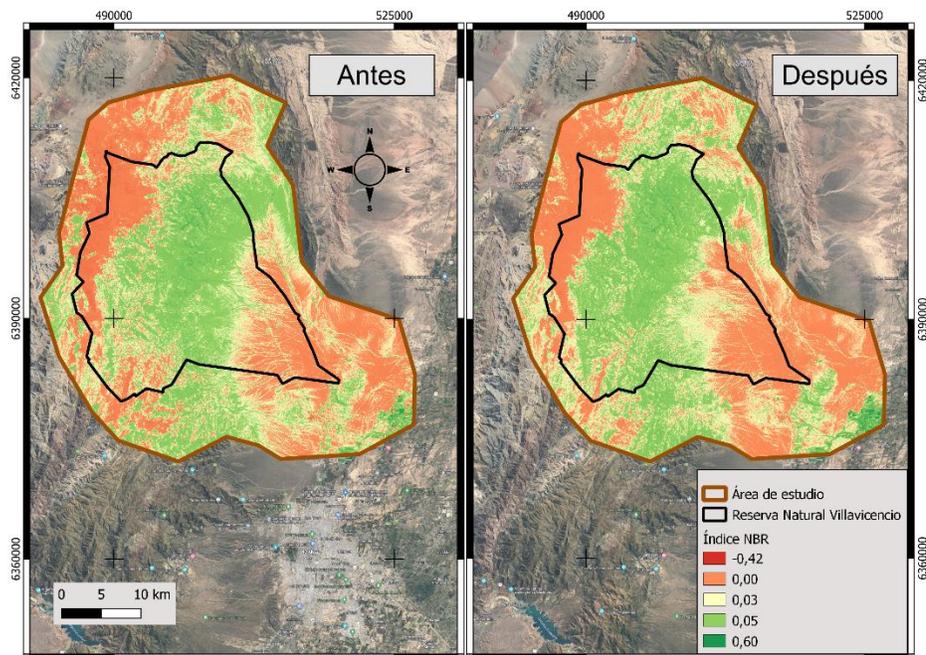
**Anexo 2: Mapas de las variables utilizadas en el análisis de regresión, correspondientes a los años anteriores al 2023.**



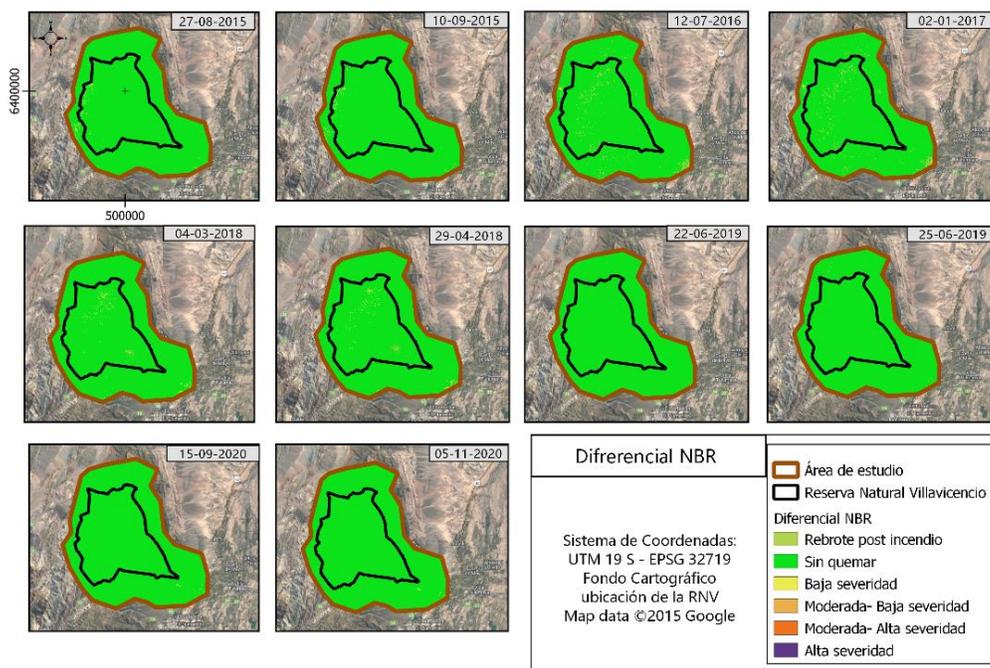
**Figura 19:** Mapas de los índices NBR previos al incendio para los focos obtenidos de Firms en la RNV (Fuente: Elaboración propia).



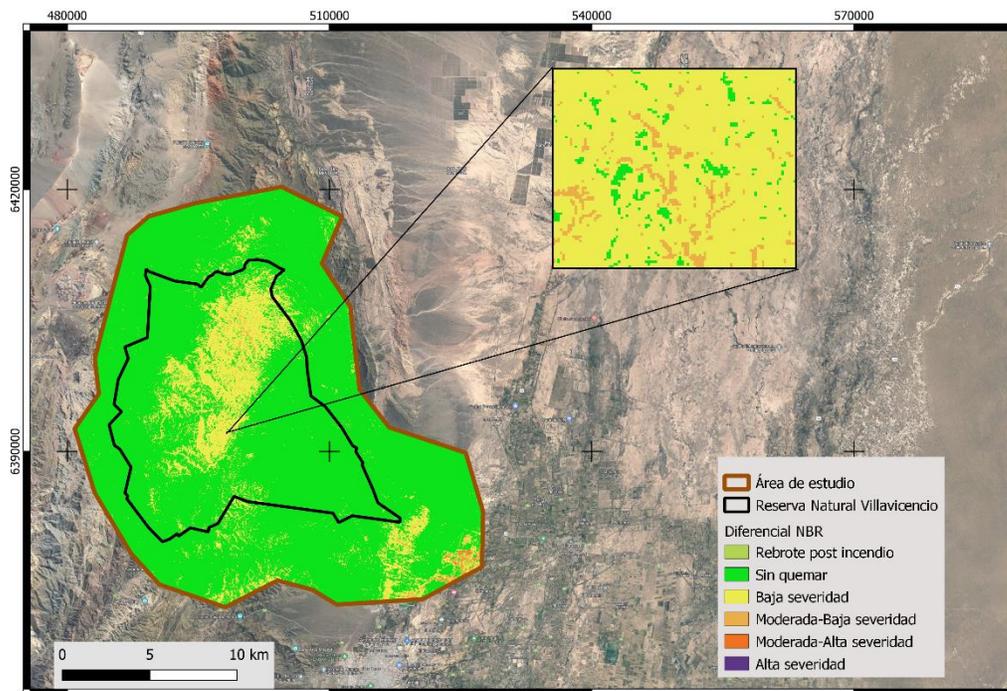
**Figura 20:** Mapas de los índices NBR posteriores al incendio para los focos obtenidos de Firms en la RNV (Fuente: Elaboración propia).



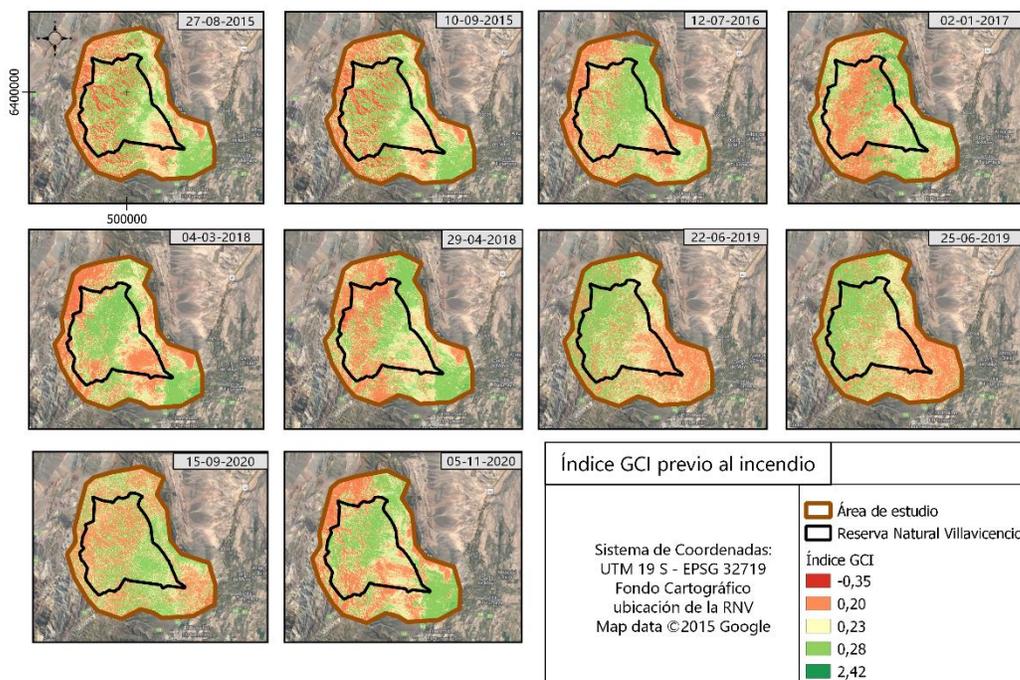
**Figura 21:** Mapas de los índices NBR anterior (izquierda) y posterior (derecha) al incendio para los focos obtenidos del Téc. Ferraris en la RNV. Sistema de coordenadas: UTM 19S – EPSG 32719. Fondo cartográfico: Map data ©2015 Google (Fuente: Elaboración propia).



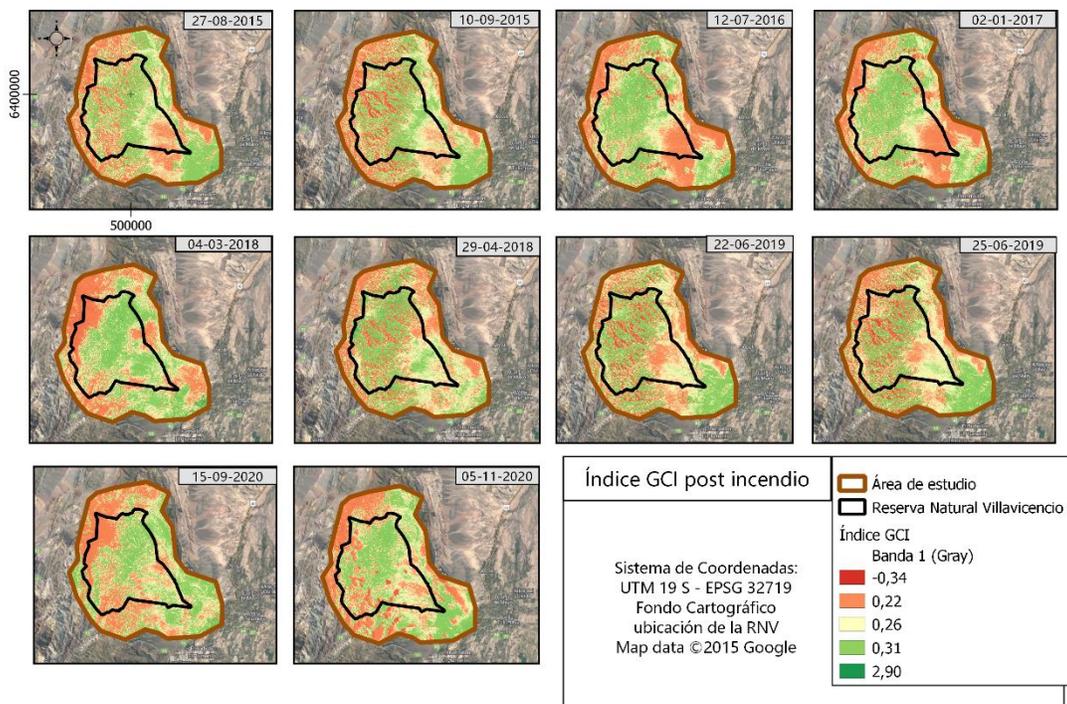
**Figura 22:** Mapas de los Diferenciales NBR para los focos obtenidos de Firms en la RNV (Fuente: Elaboración propia).



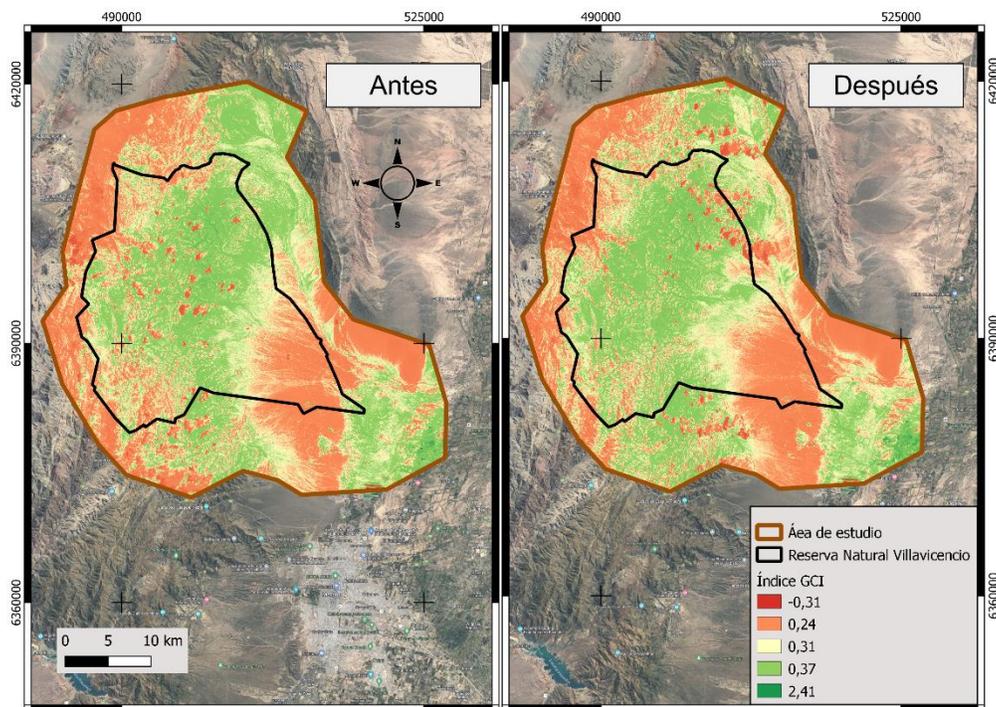
**Figura 23:** Mapa del Diferencial NBR para los focos obtenidos del Téc. Ferraris en la RNV. Sistema de coordenadas: UTM 19S – EPSG 32719. Fondo cartográfico: Map data ©2015 Google (Fuente: Elaboración propia).



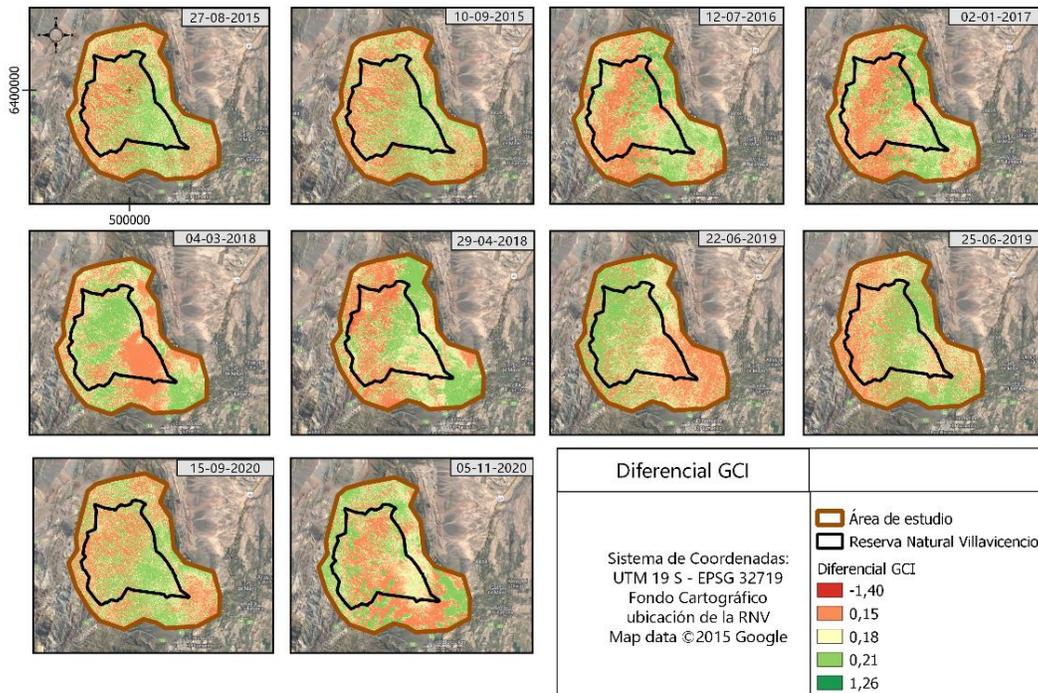
**Figura 24:** Mapas de los índices GCI previos al incendio para los focos obtenidos de Firms en la RNV (Fuente: Elaboración propia).



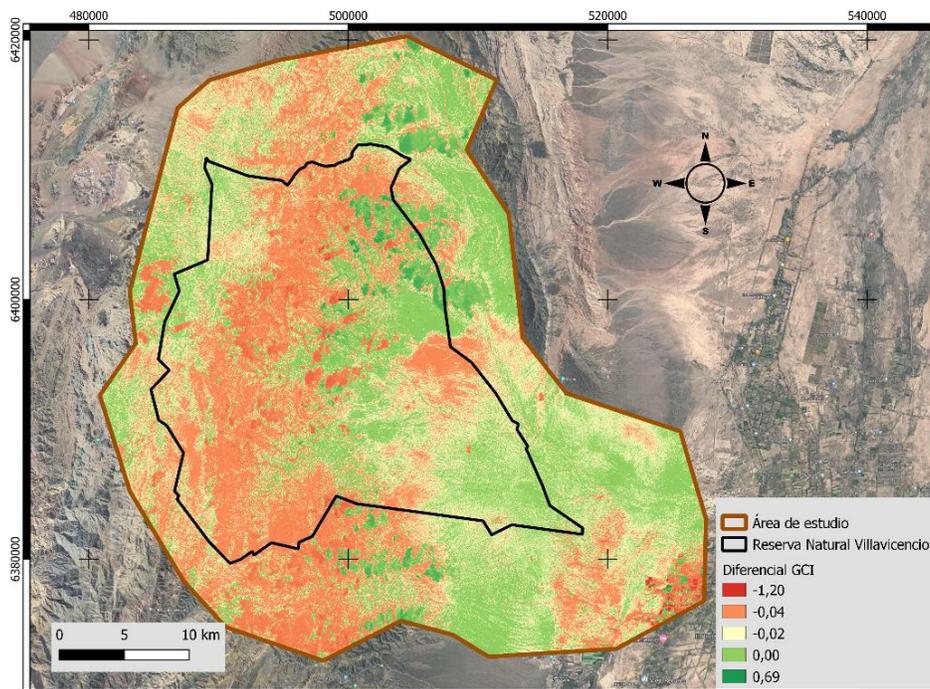
**Figura 25:** Mapas de los índices GCI posteriores al incendio para los focos obtenidos de Firms en la RNV (Fuente: Elaboración propia).



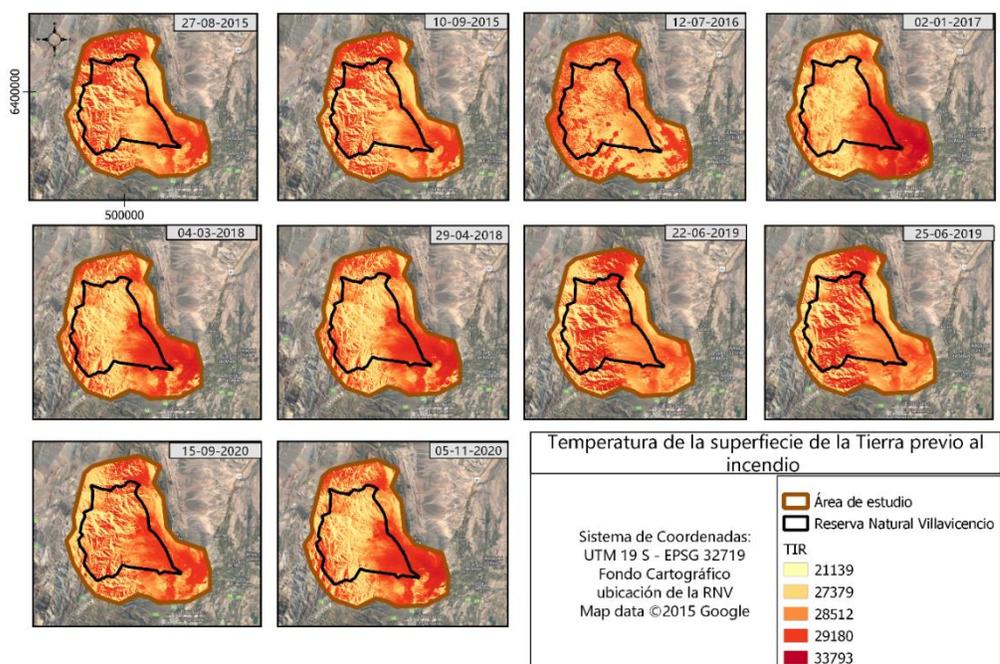
**Figura 26:** Mapas del índice GCI anterior (derecha) y posterior (izquierda) al incendio para los focos obtenidos del Téc. Ferraris en la RNV. Sistema de coordenadas: UTM 19S – EPSG 32719. Fondo cartográfico: Map data ©2015 Google (Fuente: Elaboración propia).



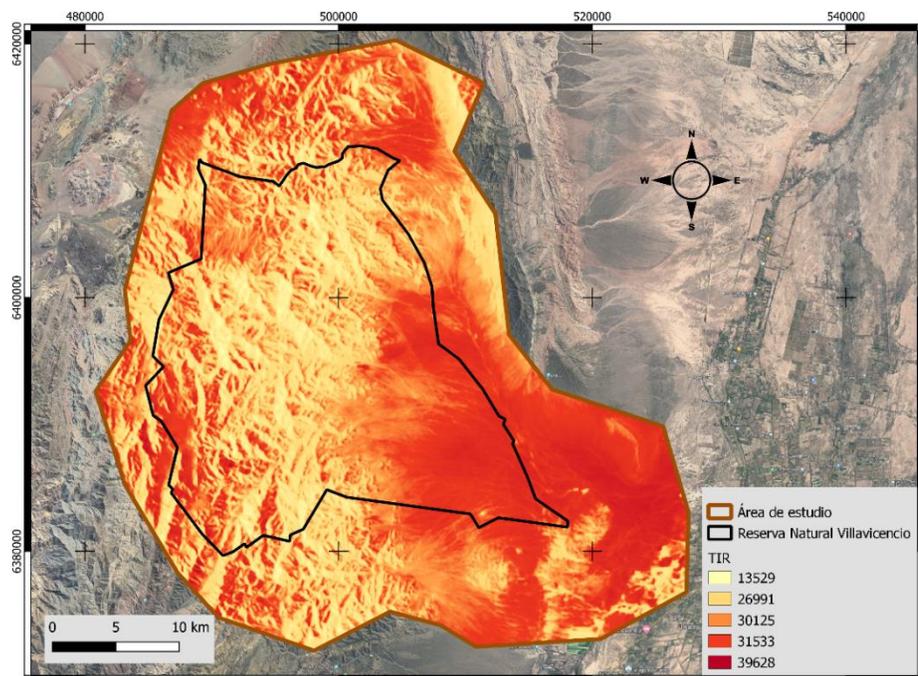
**Figura 27:** Mapas del Diferencial GCI para los focos de incendio obtenidos de Firms en la RNV (Fuente: Elaboración propias).



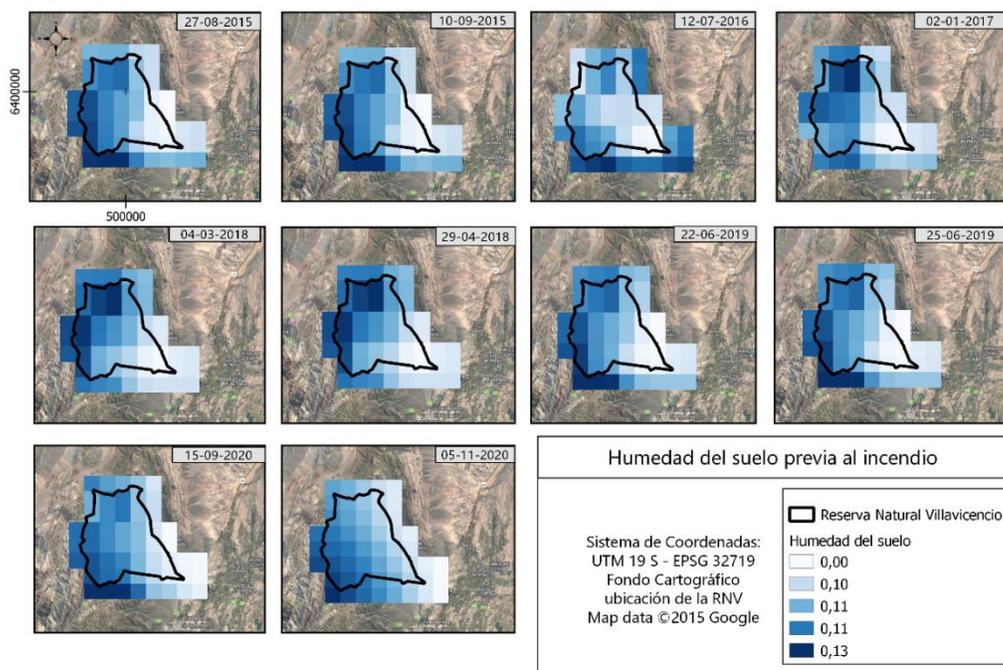
**Figura 28:** Mapa del Diferencial GCI para los focos de incendios obtenidos del Téc. Ferraris en la RNV. Sistema de coordenadas: UTM 19S – EPSG 32719. Fondo cartográfico: Map data ©2015 Google (Fuente: Elaboración propia).



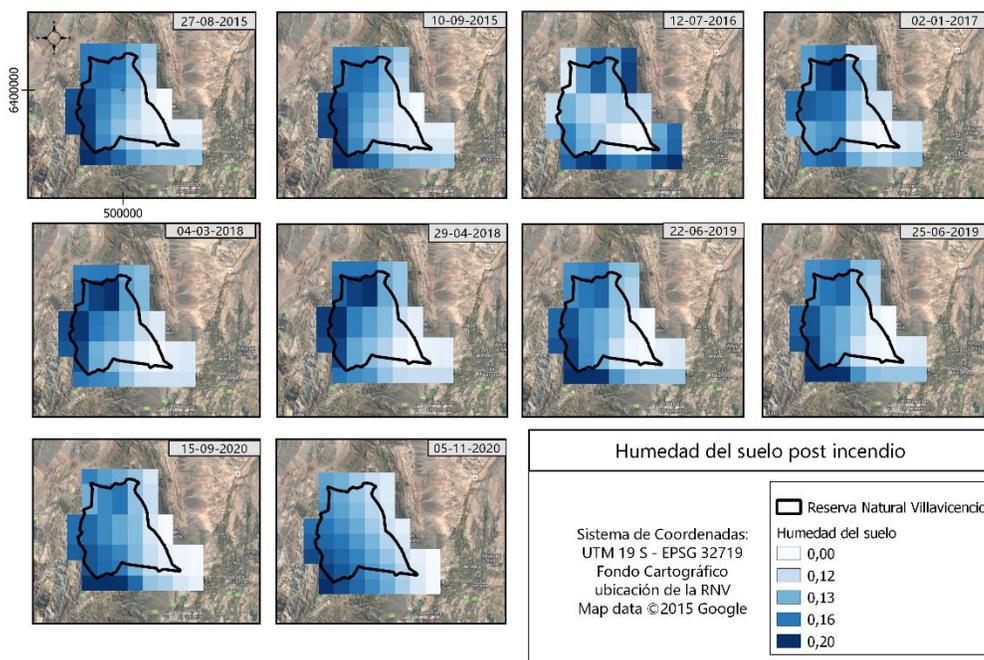
**Figura 29:** Mapas de la temperatura superficial de la Tierra previo al incendio para los focos de incendio obtenidos de Firms en la RNV (Fuente: Elaboración propia).



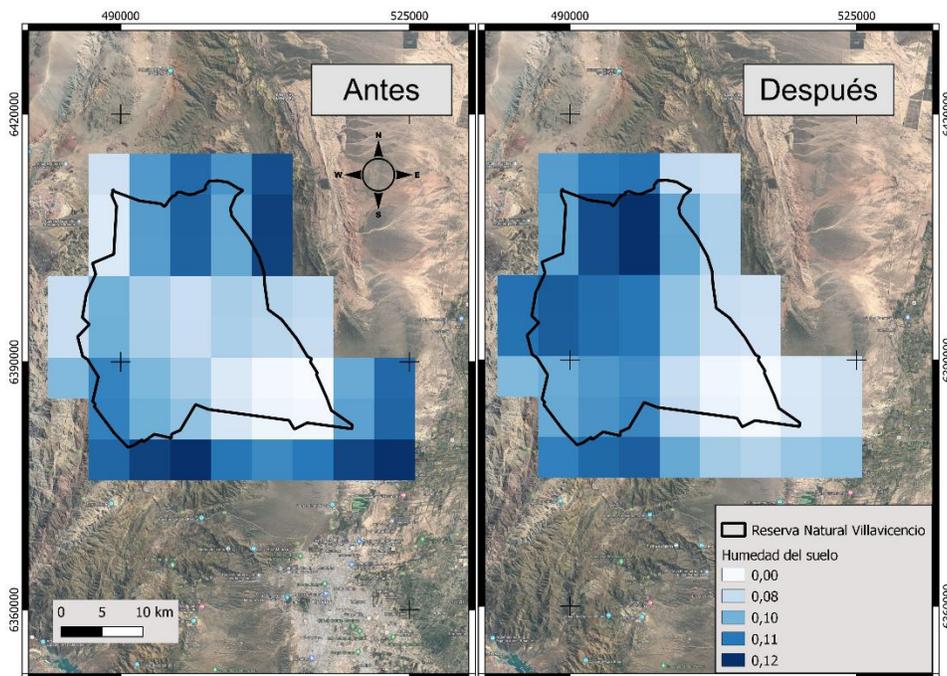
**Figura 30:** Mapa de la temperatura superficial de la Tierra para los focos de incendio obtenidos del Téc. Ferraris en la RNV. Sistema de coordenadas: UTM 19S – EPSG 32719. Fondo cartográfico: Map data ©2015 Google (Fuente: Elaboración propia).



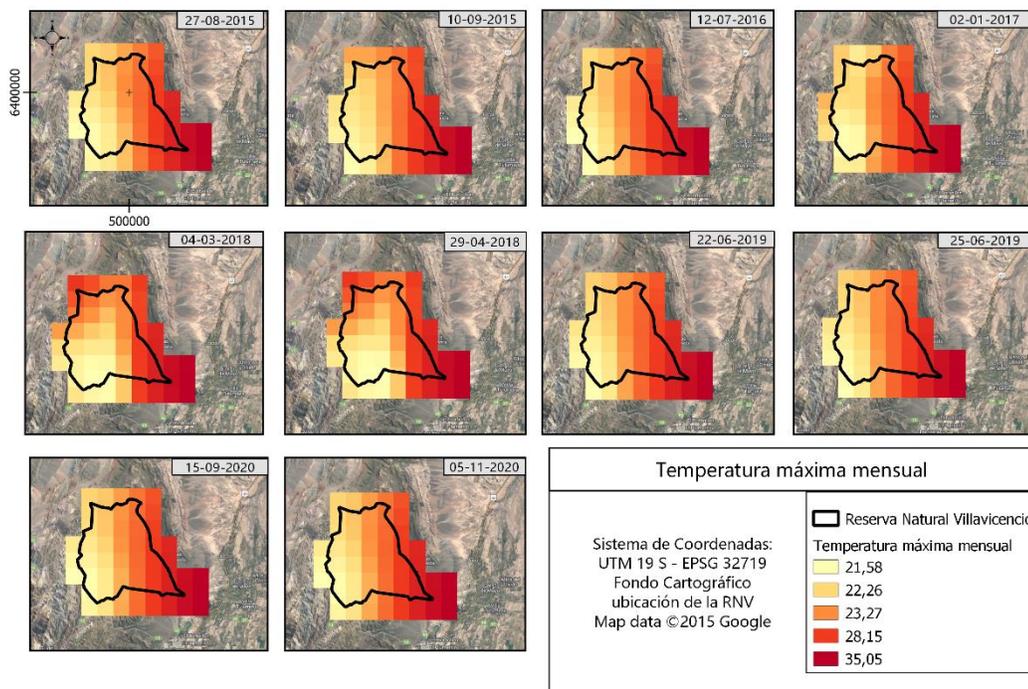
**Figura 31:** Mapas de humedad del suelo previos al incendio para los focos obtenidos de Firms en la RNV (Fuente: Elaboración propia).



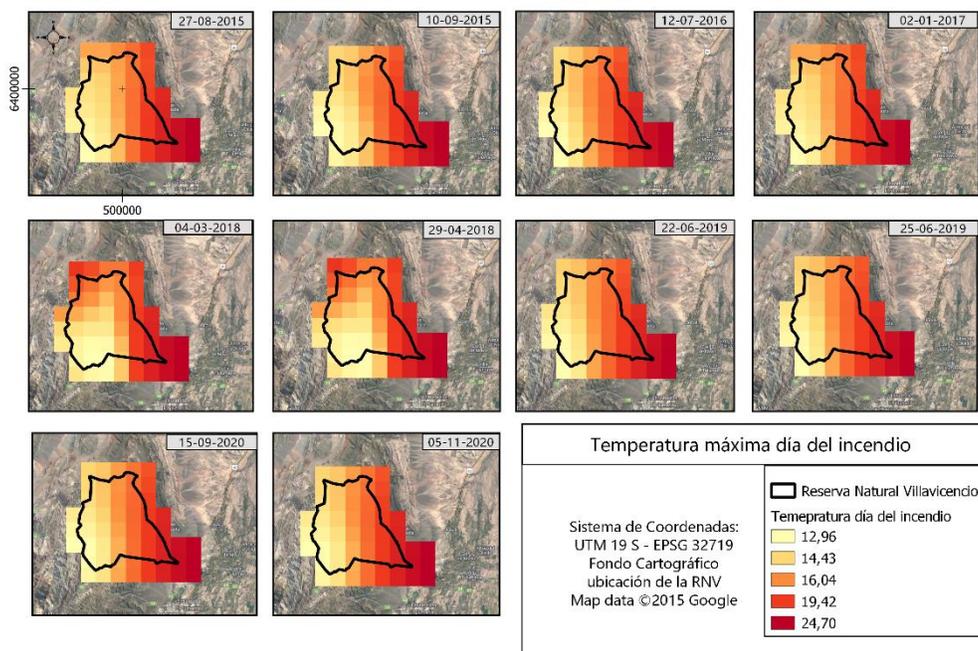
**Figura 32:** Mapas de humedad del suelo posteriores a los incendios para los focos obtenidos de Firms en la RNV (Fuente: Elaboración propia).



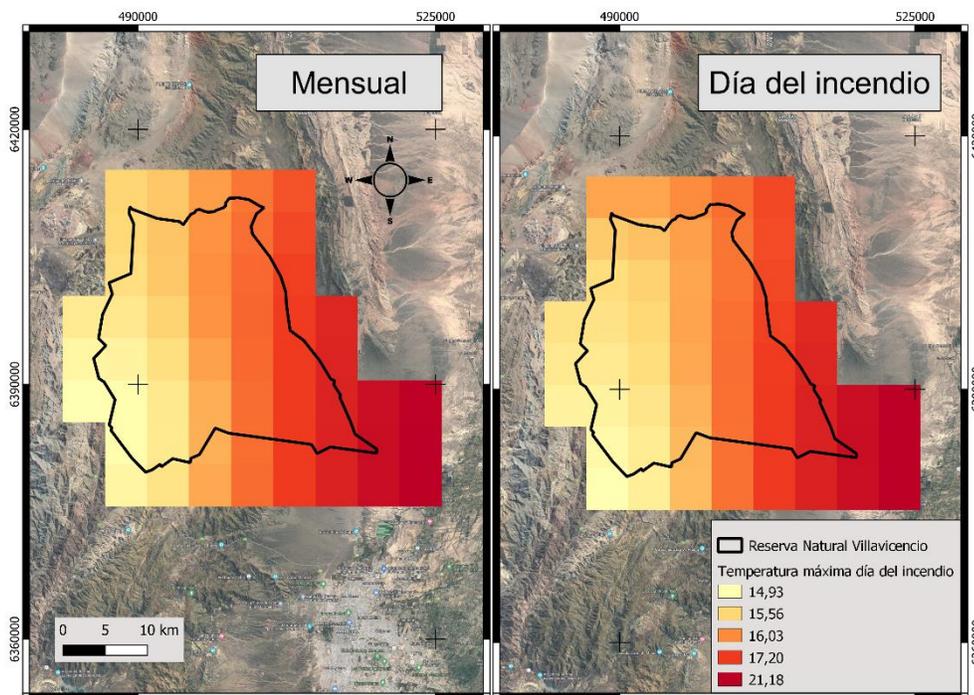
**Figura 33:** Mapa de humedad del suelo previo al incendio (izquierda) y posterior (derecha) para los focos de incendio obtenidos del Téc. Ferraris en la RNV. Sistema de coordenadas: UTM 19S – EPSG 32719. Fondo cartográfico: Map data ©2015 Google (Fuente: Elaboración propia).



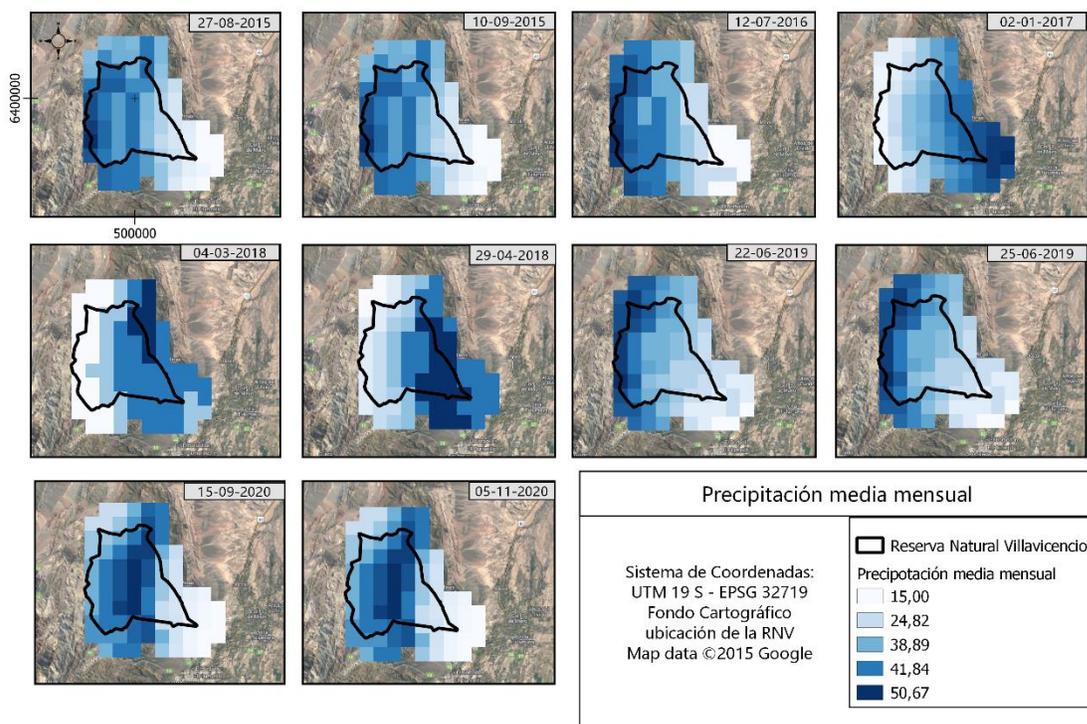
**Figura 34:** Mapas de temperatura máxima mensual para los focos de incendio obtenidos de Firms en la RNV (Fuente: Elaboración propia).



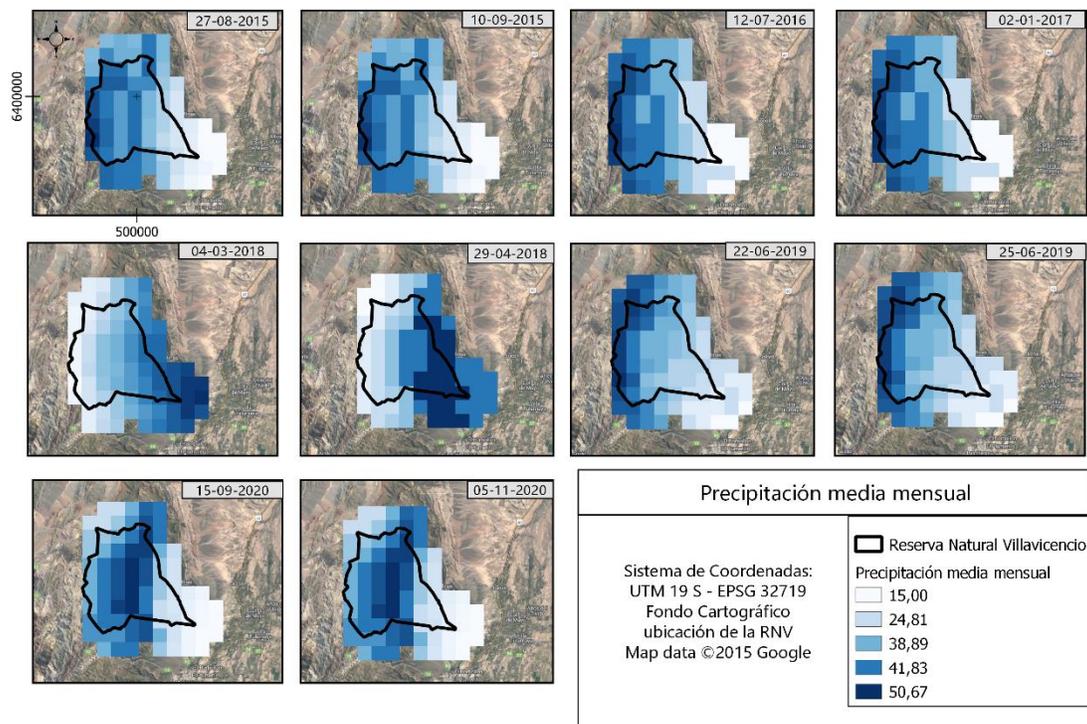
**Figura 35:** Mapas de temperatura máxima día del incendio para los focos obtenidos de Firms en la RNV (Fuente: Elaboración propia).



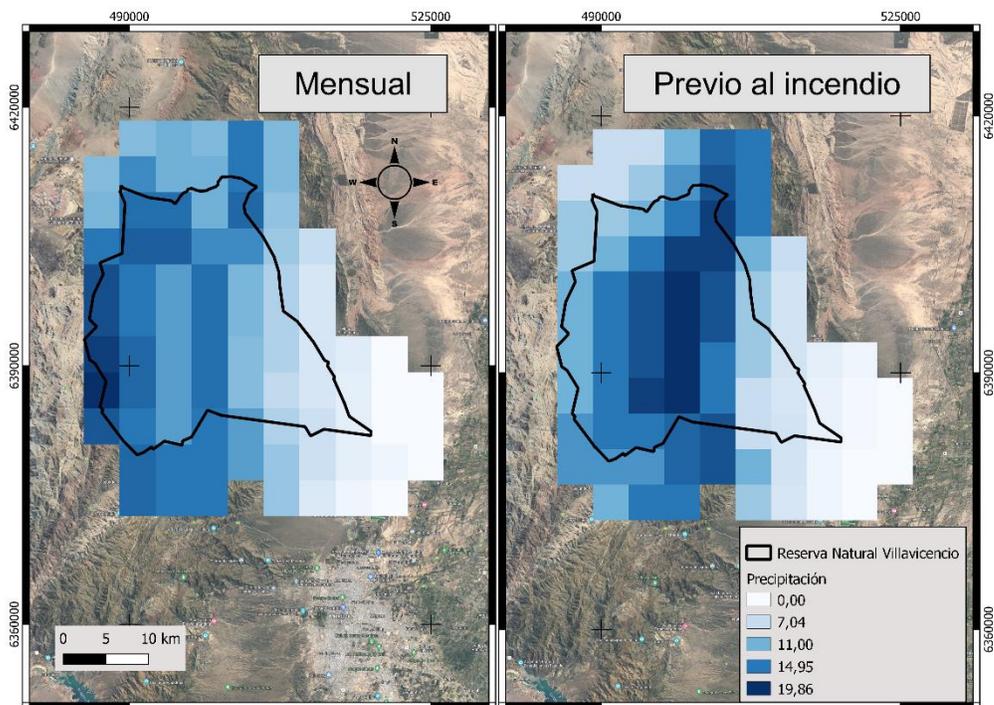
**Figura 36:** Mapas de temperatura máxima mensual (izquierda) y temperatura máxima día del incendio (derecha) para los focos obtenidos del Téc. Ferraris. Sistema de coordenadas: UTM 19S – EPSG 32719. Fondo cartográfico: Map data ©2015 Google (Fuente: Elaboración propia).



**Figura 37:** Mapas de precipitación media mensual para los focos de incendio obtenidos de Firms en la RNV (Fuente: Elaboración propia).



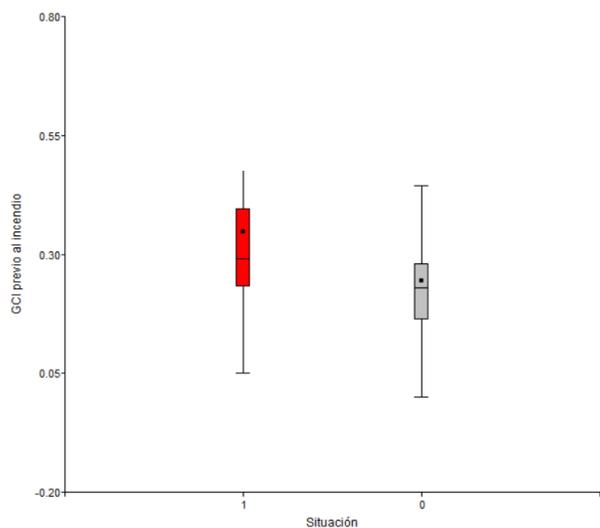
**Figura 38:** Mapas de precipitación previa al incendio para los focos obtenidos de Firms en la RNV. (Fuente: Elaboración propia).



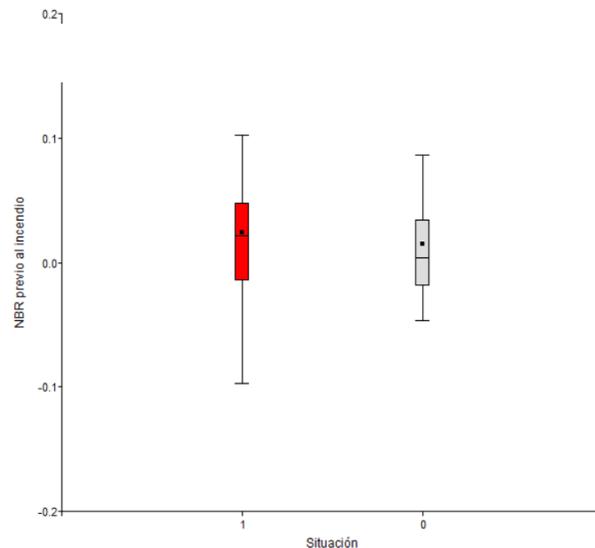
**Figura 39:** Mapas de precipitación mensual (izquierda) y precipitación previa al incendio (derecha) para los focos de incendio obtenidos del Téc. Ferraris en la RNV. Sistema de coordenadas: UTM 19S – EPSG 32719. Fondo cartográfico: Map data ©2015 Google (Fuente: Elaboración propia).

## Anexo 3: Análisis estadístico: Diagramas de caja y matriz de correlación de Pearson para las variables utilizadas.

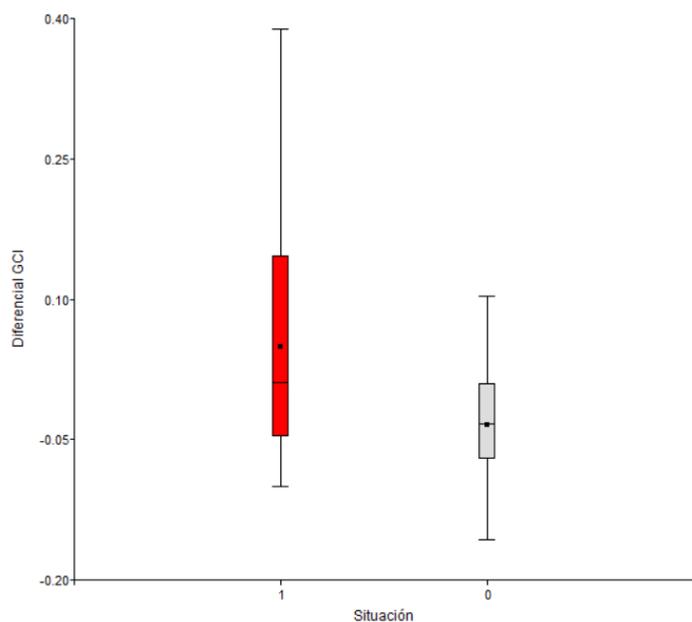
### Datos obtenidos de Firms



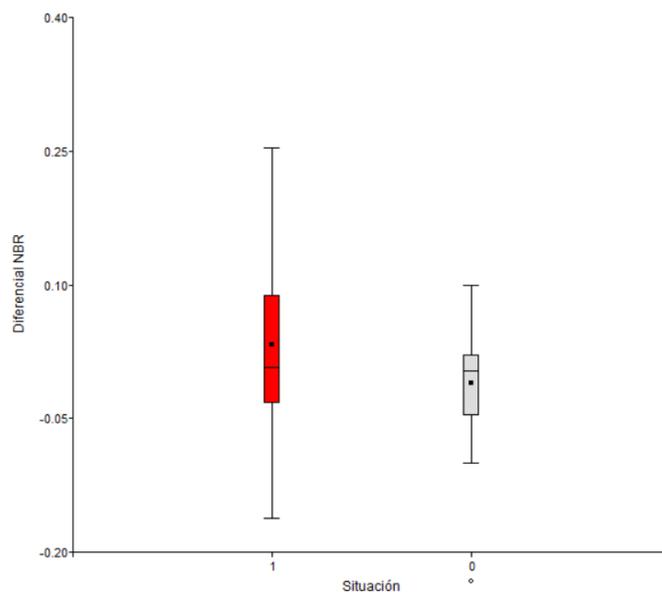
**Figura 40:** Diagrama de caja del índice GCI previo al incendio de los focos obtenidos de Firms en la RNV. (Fuente: Elaboración propia).



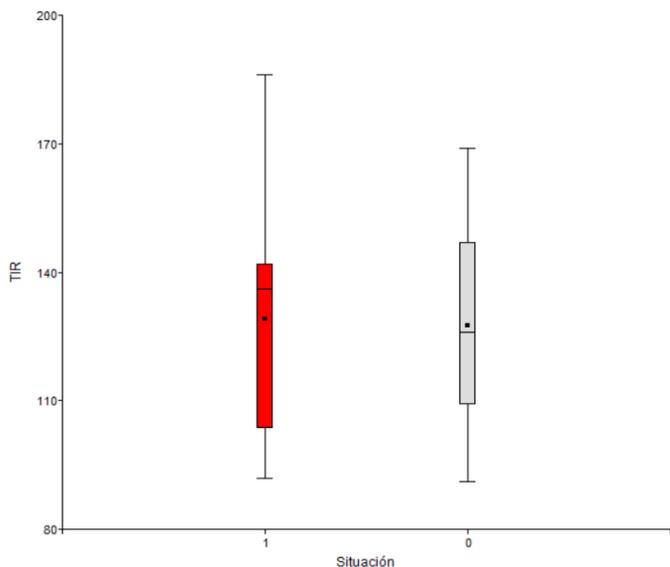
**Figura 41:** Diagrama de caja del índice NBR previo al incendio de los focos obtenidos de Firms en la RNV. (Fuente: Elaboración propia).



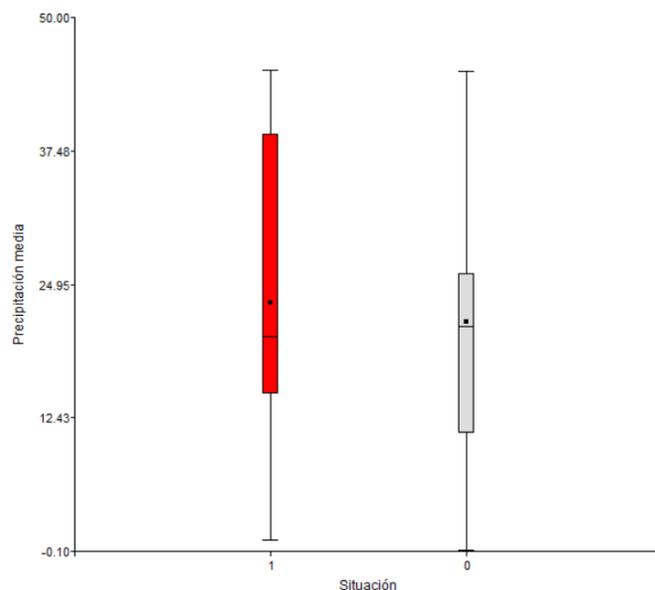
**Figura 42:** Diagrama de caja del diferencial GCI para los focos de incendio obtenidos de Firms en la RNV. (Fuente: Elaboración propia).



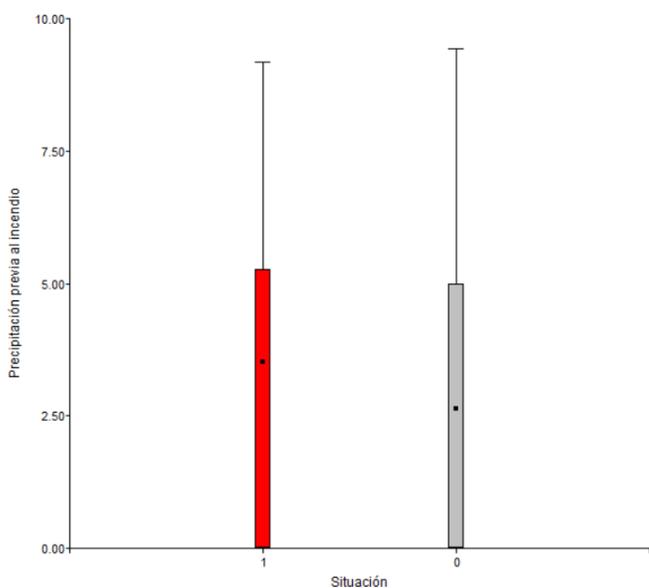
**Figura 43:** Diagrama de caja de diferencial NBR de los focos de incendio obtenidos de Firms en la RNV. (Fuente: Elaboración propia).



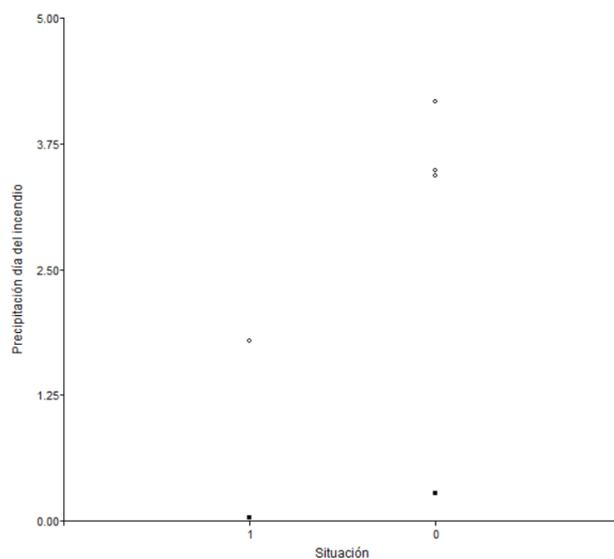
**Figura 44:** Diagrama de caja de TIR de los focos de incendio obtenidos de Firms en la RNV. (Fuente: Elaboración propia).



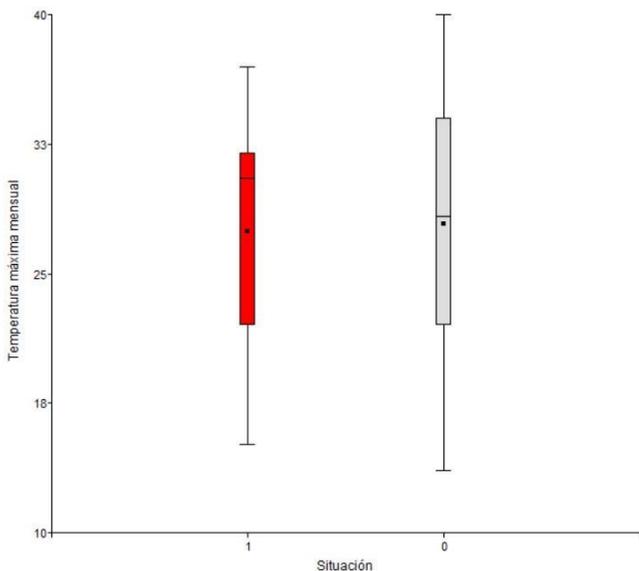
**Figura 45:** Diagrama de caja de la precipitación media mensual de los focos de incendio obtenidos de Firms en la RNV. (Fuente: Elaboración propia).



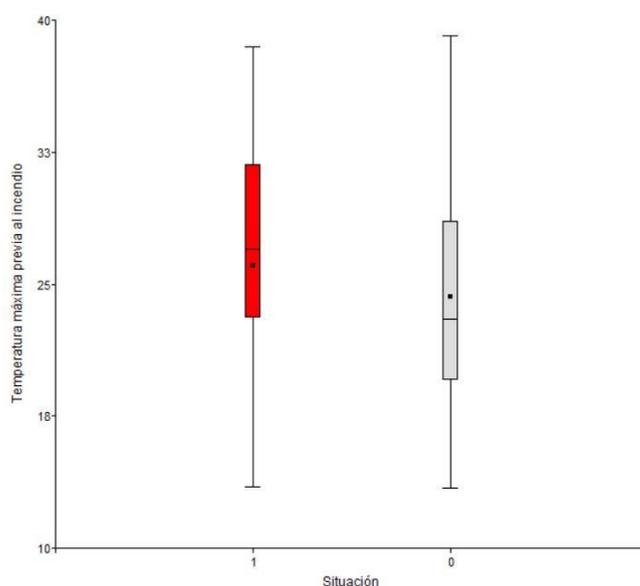
**Figura 46:** Diagrama de caja de la precipitación previa al incendio de los focos obtenidos de Firms en la RNV. (Fuente: Elaboración propia).



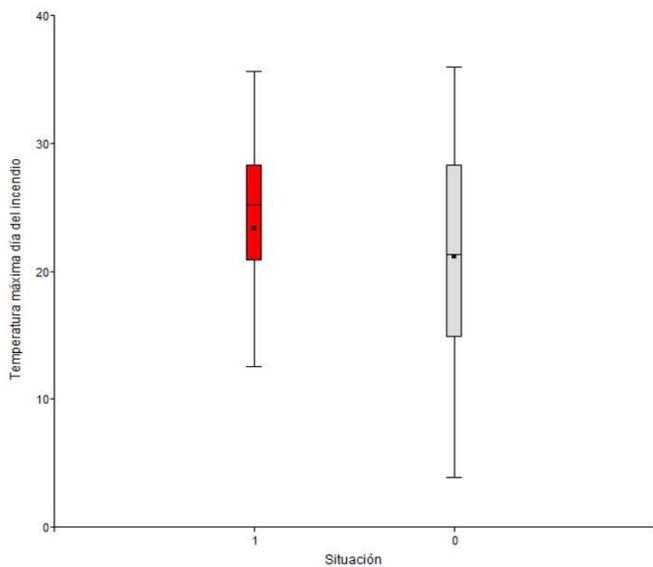
**Figura 47:** Diagrama de caja de la precipitación día del incendio de los focos obtenidos de Firms en la RNV. (Fuente: Elaboración propia).



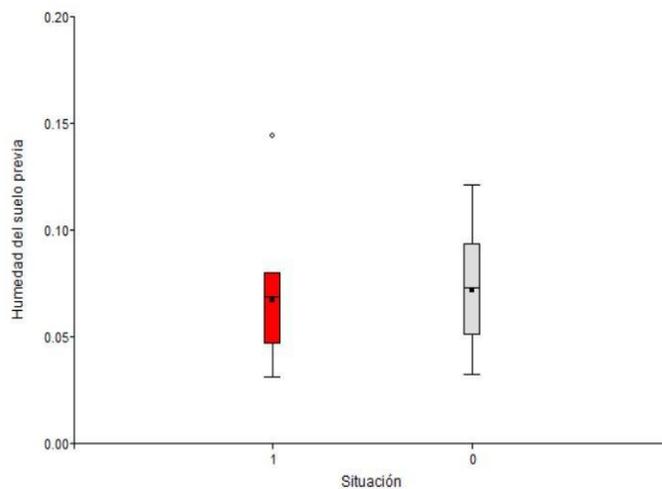
**Figura 48:** Diagrama de caja de la temperatura máxima mensual de los focos de incendio obtenidos de Firms en la RNV. (Fuente: Elaboración propia).



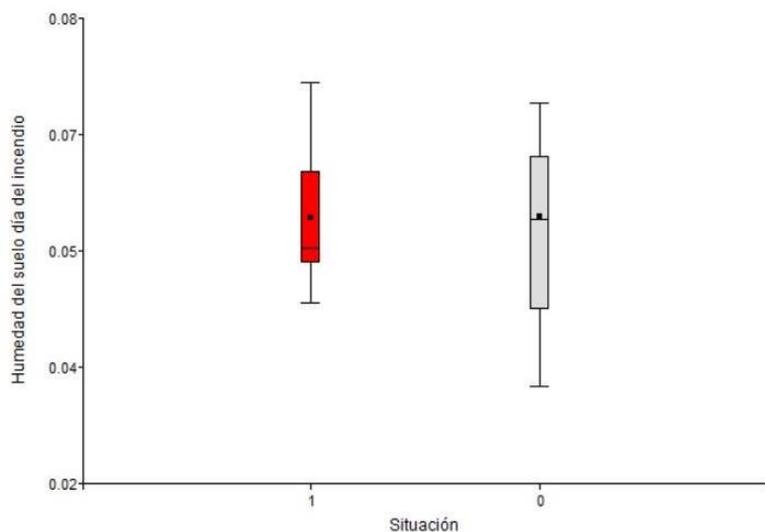
**Figura 49:** Diagrama de caja de la temperatura máxima previa al incendio de los focos obtenidos de Firms en la RNV. (Fuente: Elaboración propia).



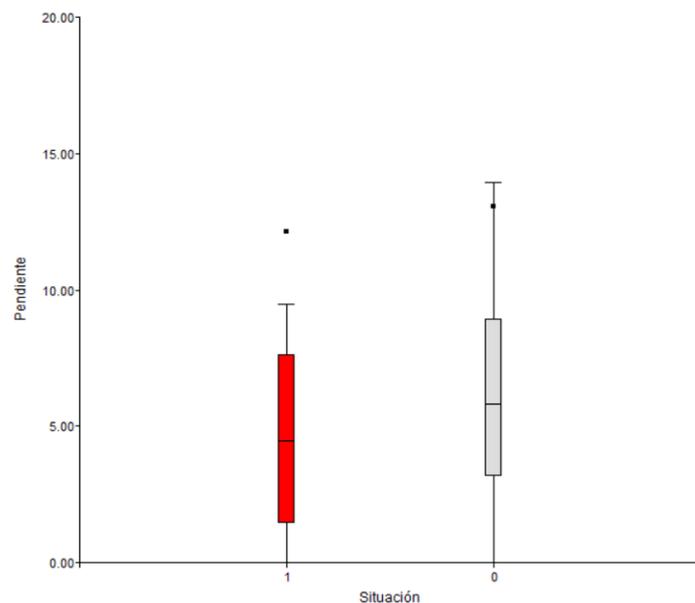
**Figura 50:** Diagrama de caja de la temperatura máxima día del incendio de los focos obtenidos de Firms en la RNV. (Fuente: Elaboración propia).



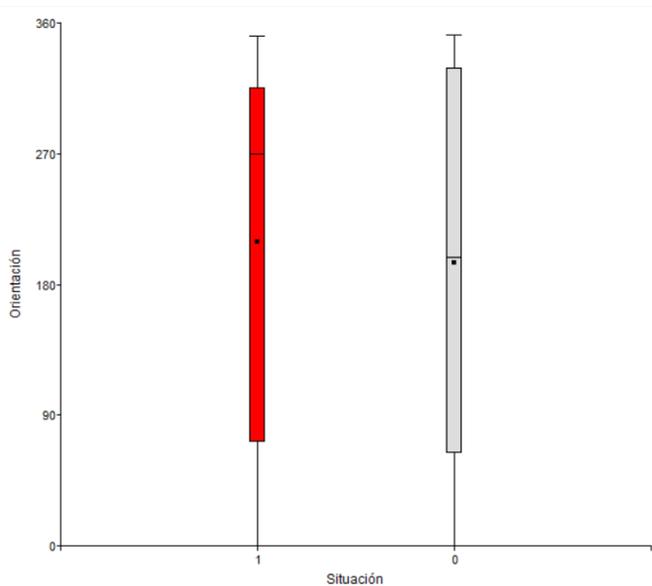
**Figura 51:** Diagrama de caja de la humedad del suelo previa al incendio de los focos obtenidos de Firms en la RNV. (Fuente: Elaboración propia).



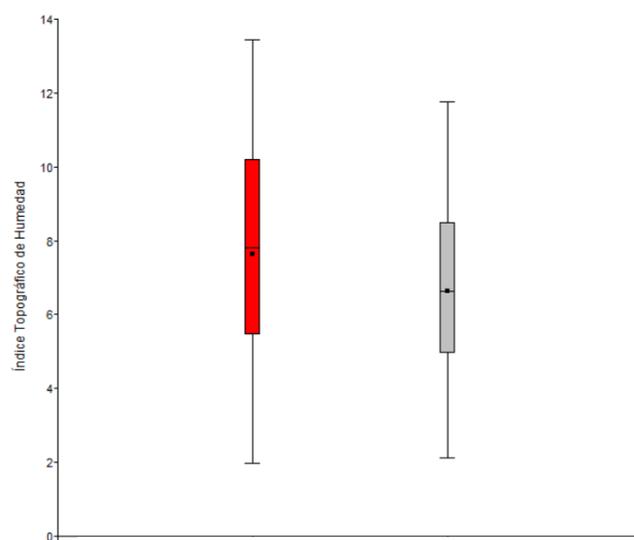
**Figura 52:** Diagrama de caja de la humedad del suelo día del incendio de los focos obtenidos de Firms en la RNV. (Fuente: Elaboración propia).



**Figura 53:** Diagrama de caja de la pendiente de los focos obtenidos de Firms en la RNV. (Fuente: Elaboración propia).



**Figura 54:** Diagrama de caja de la orientación de los focos obtenidos de Firms en la RNV. (Fuente: Elaboración propia).



**Figura 55:** Diagrama de caja del índice topográfico de humedad de los focos obtenidos de Firms en la RNV. (Fuente: Elaboración propia)



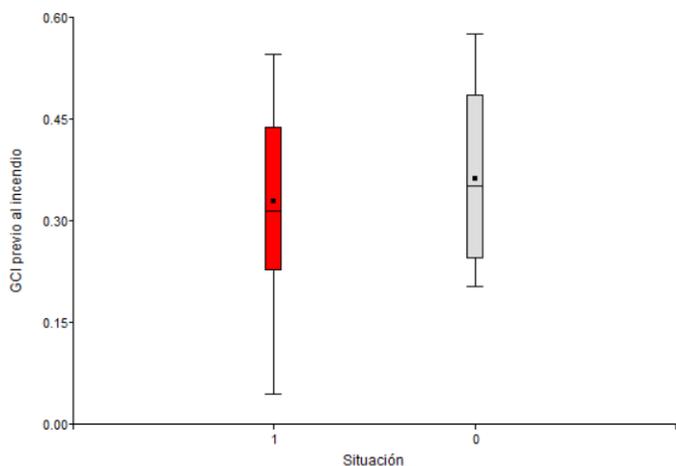
**Tabla 40:** Matriz de correlación de Pearson para las variables de Firms

	GCI.antes	NBR.ante	TIR	dif.Gci	dif.NBR	Pp.M	Pp.3	Pp.Dia	Hum.3	Hum.Dia	TMM	TM3	TMDia	Pend.	Orient.	TWI
GCI.antes	1	0,008	0,000	0,252	0,271	0,031	0,562	0,372	0,000	0,000	0,508	0,562	0,712	0,826	0,844	0,337
NBR.ante	0,260	1	0,345	0,000	0,000	0,004	0,189	0,290	0,337	0,000	0,000	0,005	0,001	0,529	0,771	0,845
TIR	0,367	0,095	1	0,029	0,371	0,000	0,556	0,611	0,323	0,421	0,118	0,016	0,046	0,003	0,832	0,164
dif.Gci	0,114	0,419	0,219	1	0,000	0,081	0,040	0,369	0,488	0,403	0,002	0,033	0,006	0,815	0,247	0,893
dif.NBR	0,110	0,521	0,090	0,746	1	0,036	0,680	0,563	0,291	0,979	0,004	0,174	0,033	0,591	0,961	0,709
Pp.M	0,214	-0,279	0,347	-0,174	-0,208	1	0,003	0,009	0,018	0,354	0,000	0,003	0,000	0,277	0,335	0,380
Pp.3	0,058	0,131	0,060	0,203	0,041	0,287	1	0,926	0,035	0,266	0,243	0,049	0,047	0,200	0,483	0,188
Pp.Dia	-0,089	0,106	-0,051	0,090	0,058	-0,257	0,009	1	0,472	0,877	0,008	0,040	0,081	0,327	0,405	0,654
Hum.3	0,614	0,148	-0,153	0,107	-0,163	0,354	0,318	-0,111	1	0,000	0,637	0,034	0,215	0,028	0,965	0,001
Hum.Dia	0,654	0,523	-0,124	0,129	-0,004	-0,143	0,171	0,024	0,766	1	0,010	0,001	0,002	0,615	0,614	0,929
TMM	-0,066	-0,457	0,157	-0,297	-0,286	0,457	-0,117	-0,262	0,073	-0,384	1	0,000	0,000	0,078	0,203	0,877
TM3	-0,058	-0,273	0,241	-0,212	-0,136	0,293	-0,195	-0,204	-0,321	-0,472	0,801	1	0,000	0,120	0,884	0,000
TMDia	-0,037	-0,333	0,200	-0,273	-0,211	0,343	-0,197	-0,174	-0,191	-0,447	0,800	0,942	1	0,322	0,967	0,002
Pend.	-0,022	-0,063	-0,297	-0,024	-0,054	0,109	0,128	-0,098	0,332	-0,078	0,176	-0,155	-0,099	1	0,355	0,000
Orient.	-0,020	0,029	0,021	0,116	0,005	-0,096	-0,070	0,083	-0,007	0,078	-0,127	0,015	-0,004	-0,093	1	0,392
TWI	-0,096	0,020	0,140	-0,014	-0,037	-0,088	-0,131	0,045	-0,471	-0,014	0,015	0,344	0,301	-0,734	0,086	1

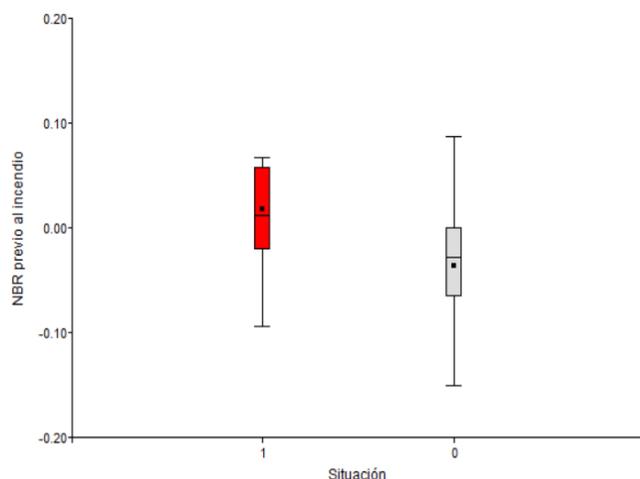
**Tabla 41:** Referencias para tabla de coeficiente de Pearson.

<b>GCI.antes</b>	<b>Índice GCI previo al incendio</b>
<b>NBR.ante</b>	Índice NBR previo al incendio
<b>dif.Gci</b>	Diferencial GCI
<b>dif.NBR</b>	Diferencial NBR
<b>Pp.M</b>	Precipitación media mensual
<b>Pp.3</b>	Precipitación previa al incendio
<b>Pp.Dia</b>	Precipitación día del incendio
<b>Hum.3</b>	Humedad previa al incendio
<b>Hum.Dia</b>	Humedad día del incendio
<b>TMM</b>	Temperatura máxima mensual
<b>TM3</b>	Temperatura máxima previa al incendio
<b>TMDia</b>	Temperatura máxima día del incendio

**Datos obtenidos del área técnica de Villaviciencia**



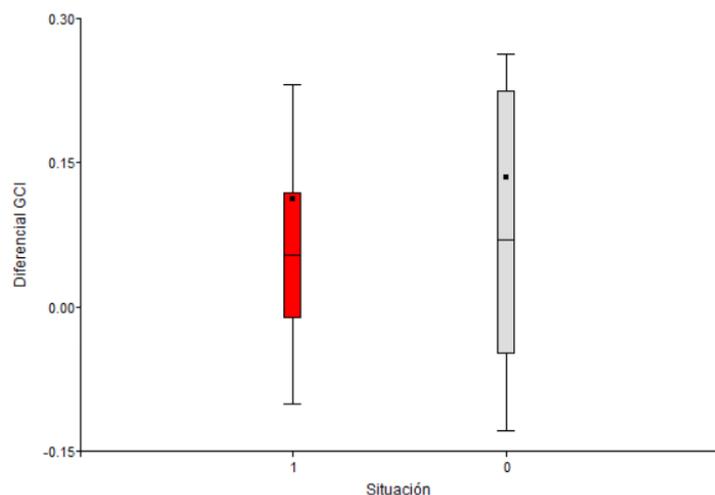
**Figura 56:** Diagrama de caja del índice GCI previo al incendio los focos obtenidos del área técnica de Villaviciencia en la RNV. (Fuente: Elaboración propia).



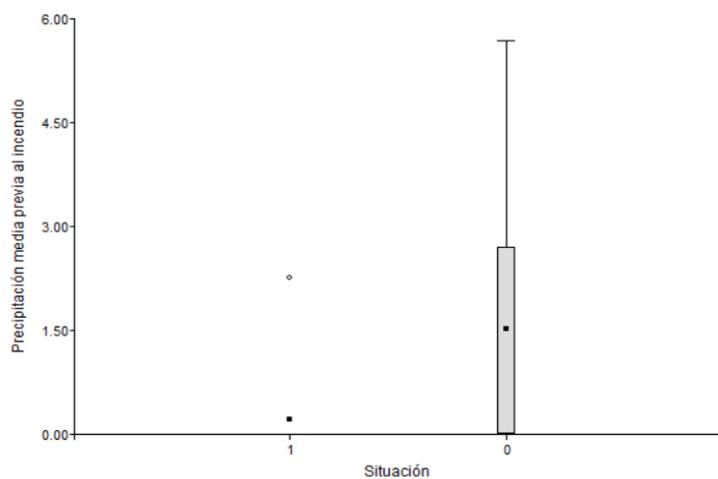
**Figura 57:** Diagrama de caja del índice NBR previo al incendio de los focos obtenidos del área técnica de Villaviciencia en la RNV. (Fuente: Elaboración propia).



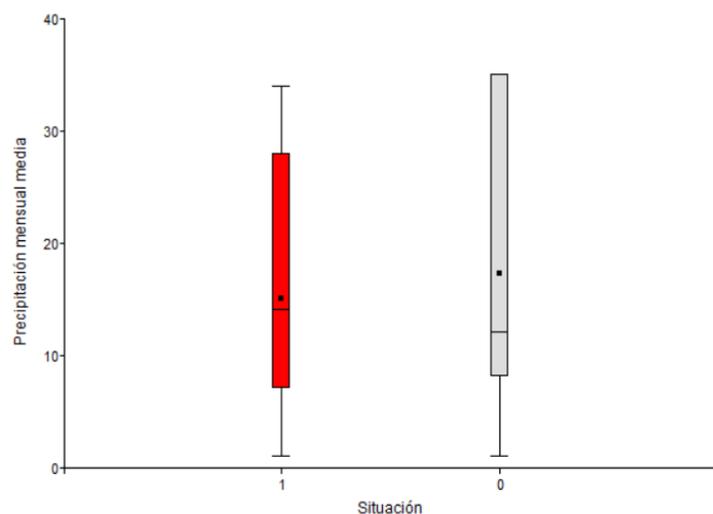
**Figura 58:** Diagrama de caja del diferencial NBR de los focos de incendio obtenidos del área de técnica de Villavicencio en la RNV. (Fuente: Elaboración propia).



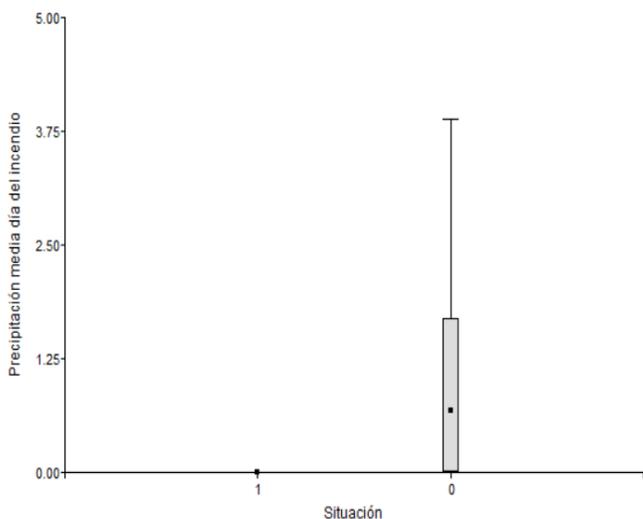
**Figura 59:** Diagrama de caja del Diferencial GCI de los focos de incendio obtenidos del área técnica de Villavicencio en la RNV. (Fuente: Elaboración propia).



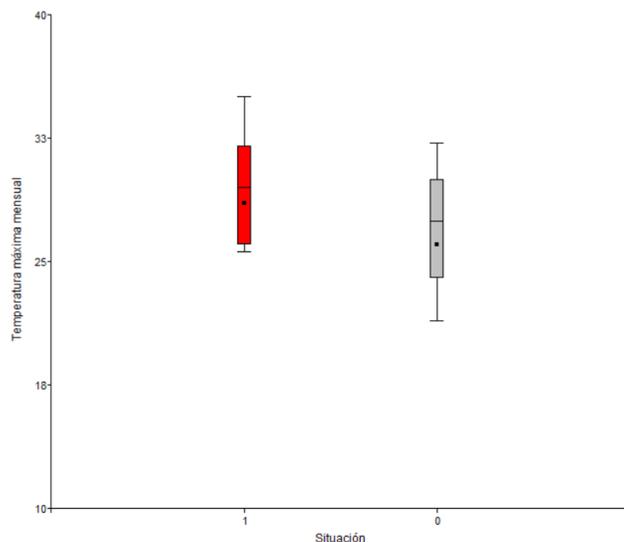
**Figura 60:** Diagrama de caja de la precipitación previa al incendio de los focos obtenidos del área de técnica de Villavicencio en la RNV. (Fuente: Elaboración propia).



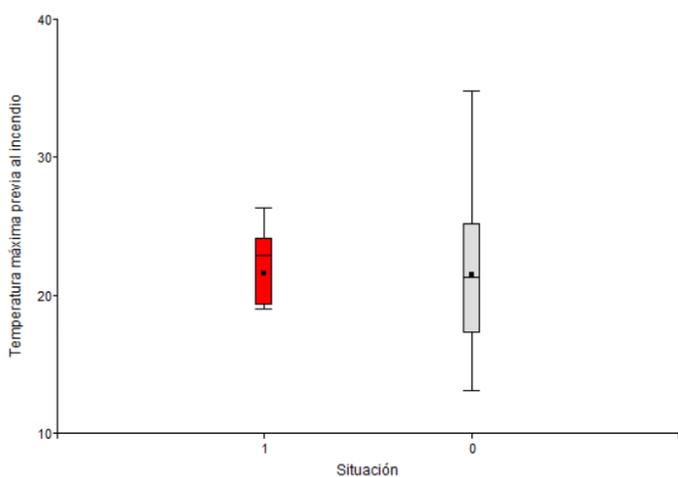
**Figura 61:** Diagrama de caja de la precipitación media mensual de los focos de incendio obtenidos del área de técnica de Villavicencio en la RNV. (Fuente: Elaboración propia).



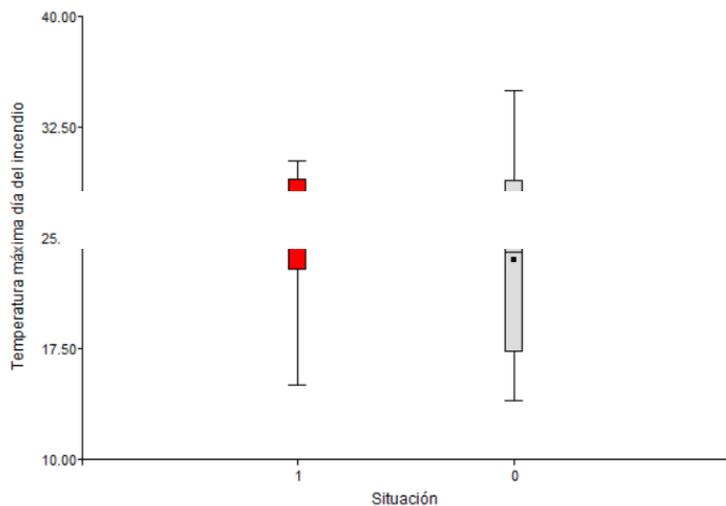
**Figura 62:** Diagrama de caja de la precipitación día del incendio de los focos obtenidos del área de técnica de Villavicencio en la RNV. (Fuente: Elaboración propia).



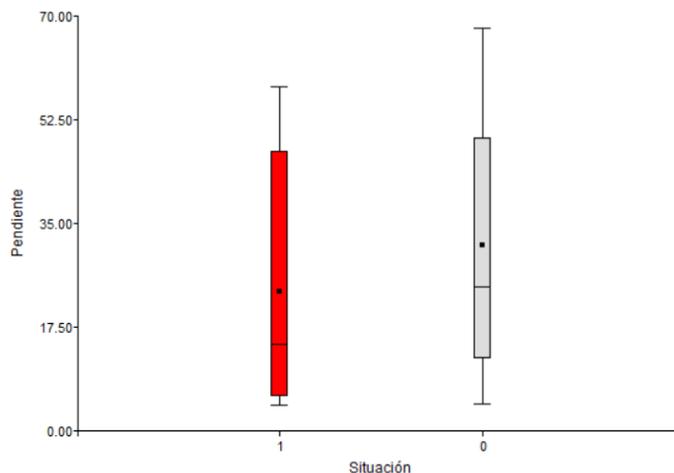
**Figura 63:** Diagrama de caja de la temperatura máxima mensual de los focos de incendio obtenidos del área de técnica de Villavicencio en la RNV. (Fuente: Elaboración propia).



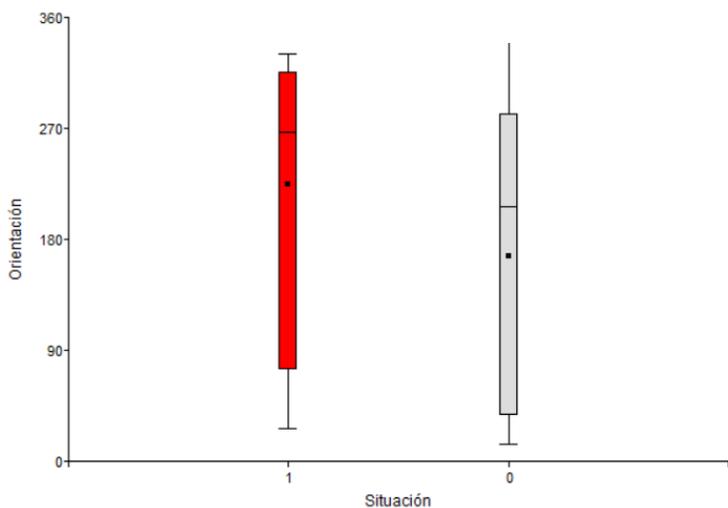
**Figura 64:** Diagrama de caja de la temperatura máxima previa al incendio de los focos obtenidos del área de técnica de Villavicencio en la RNV. (Fuente: Elaboración propia).



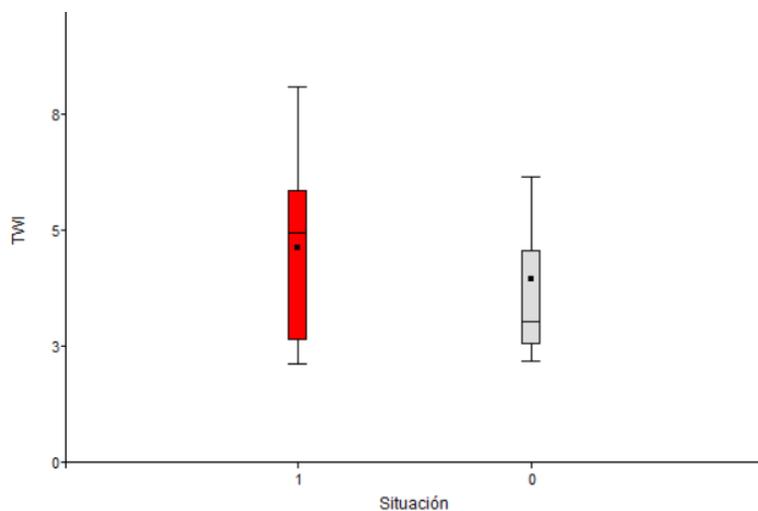
**Figura 65:** Diagrama de caja de la temperatura máxima día del incendio de los focos obtenidos del área de técnica de Villavicencio en la RNV. (Fuente: Elaboración propia).



**Figura 66:** Diagrama de caja de la pendiente de los focos de incendios obtenidos del área de técnica de Villavencio en la RNV. (Fuente: Elaboración propia).



**Figura 67:** Diagrama de caja de la orientación de los focos de incendio obtenidos del área de técnica de Villavencio en la RNV. (Fuente: Elaboración propia).



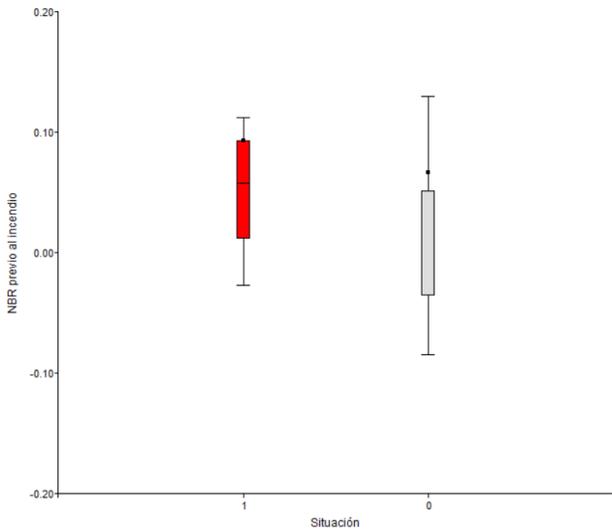
**Figura 68:** Diagrama de caja de índice topográfico de humedad los focos de incendio obtenidos del área de técnica de Villavencio en la RNV. (Fuente: Elaboración propia).



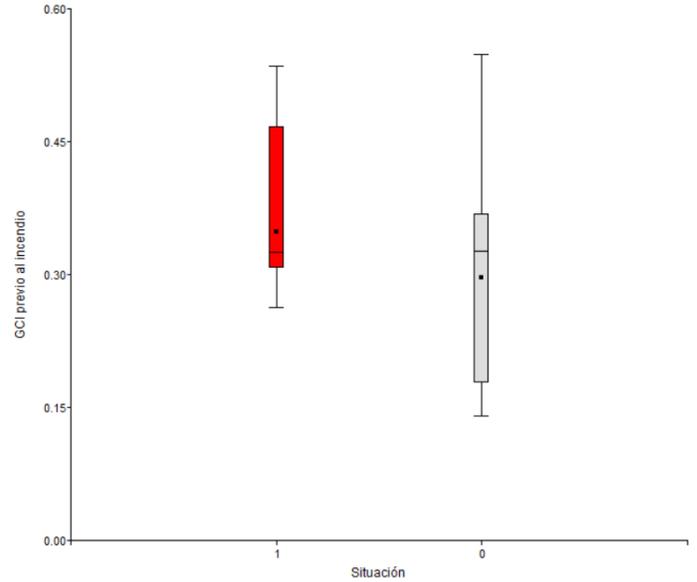
**Tabla 42:** Matriz de correlación de Pearson para las variables del área técnica de Villaviciencia.

	GCI previo	NBR previo	TIR	dif. GCI	dif. NBR	Prec. mensual	Prec. previa	Prec. día	Temp. mensual	Temp. previa	Temp. día	Pend.	Orient.	TWI
GCIprevio	1	0,014	0,720	0,488	0,024	0,108	0,171	0,167	0,445	0,155	0,107	0,663	0,123	0,854
NBR previo	0,516	1	0,187	0,585	0,514	0,067	0,172	0,120	0,687	0,880	0,858	0,496	0,768	0,838
TIR	-0,081	-0,292	1	0,150	0,346	0,002	0,648	0,209	0,257	0,424	0,799	0,715	0,986	0,495
dif. GCI	0,156	0,123	-0,318	1	0,181	0,800	0,869	0,749	0,678	0,912	0,484	0,780	0,204	0,696
dif. NBR	0,479	0,147	-0,211	0,296	1	0,972	0,855	0,326	0,862	0,668	0,424	0,465	0,418	0,200
Prec.mensual	-0,352	-0,397	0,614	-0,057	0,008	1	0,196	0,489	0,335	0,426	0,551	0,716	0,043	0,162
Prec. Previa	-0,303	-0,302	0,103	-0,037	-0,041	0,287	1	0,000	0,827	0,486	0,505	0,406	0,195	0,395
Prec. Dia	-0,306	-0,342	0,279	-0,072	-0,219	0,156	0,681	1	0,102	0,020	0,083	0,189	0,485	0,050
Temp.mensal	-0,172	0,091	0,252	-0,094	0,039	0,216	-0,049	0,358	1	0,000	0,001	0,365	0,263	0,217
Temp.previa	-0,314	0,034	0,180	-0,025	-0,097	0,179	0,157	0,491	0,894	1	0,000	0,777	0,389	0,289
Temp.dia	-0,353	-0,040	0,057	-0,157	-0,180	0,134	0,150	0,378	0,662	0,801	1	0,652	0,622	0,776
Pendiente	0,098	0,153	0,083	-0,063	-0,164	0,082	-0,186	-0,291	-0,203	-0,064	0,102	1	0,156	0,000
Orientación	-0,339	-0,067	0,004	0,281	0,182	0,436	0,287	0,157	0,249	0,193	0,111	-0,313	1	0,693
TWI	-0,042	-0,046	-0,153	-0,088	0,284	-0,309	0,191	0,422	0,274	0,237	0,064	-0,811	0,089	1

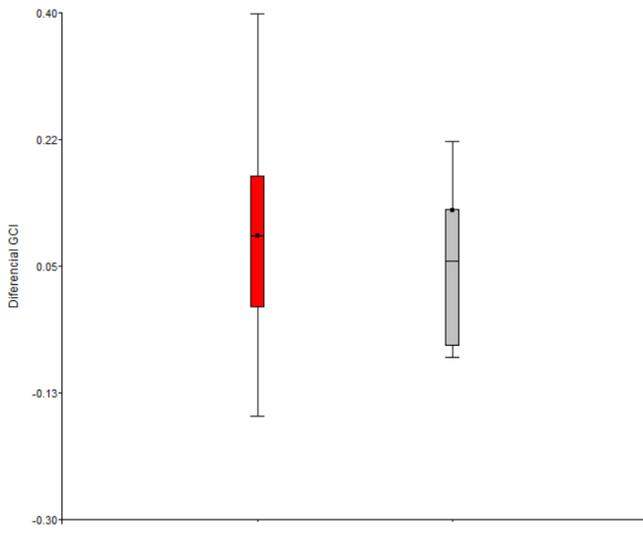
### Datos del Téc. Ferraris



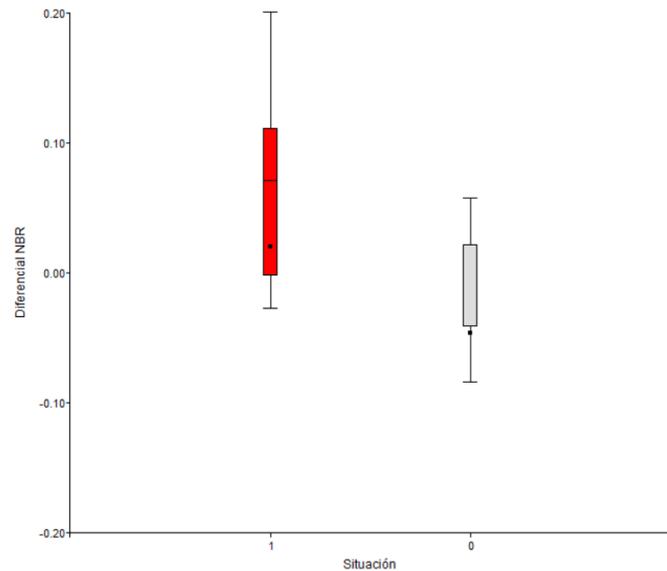
**Figura 69:** Diagrama de caja del índice NBR previo al incendio de los focos obtenidos del Téc. Ferraris en la RNV. (Fuente: Elaboración propia).



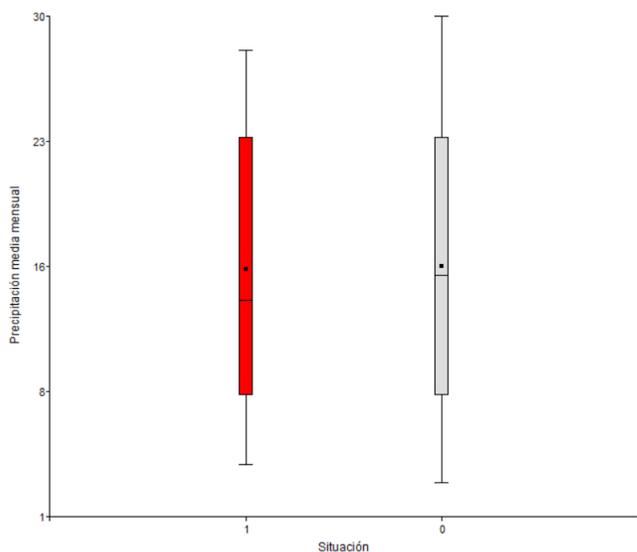
**Figura 70:** Diagrama de caja del índice GCI previo al incendio de los focos obtenidos del Téc. Ferraris en la RNV. (Fuente: Elaboración propia).



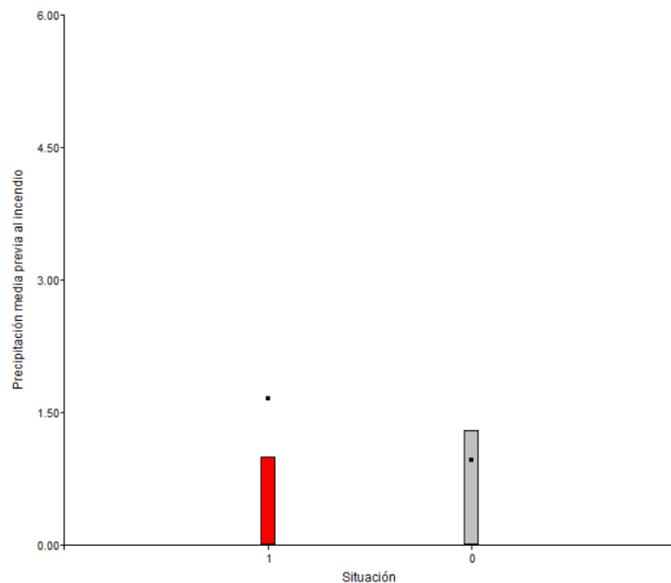
**Figura 71:** Diagrama de caja del diferencial GCI de los focos de incendio obtenidos del Téc. Ferraris en la RNV. (Fuente: Elaboración propia).



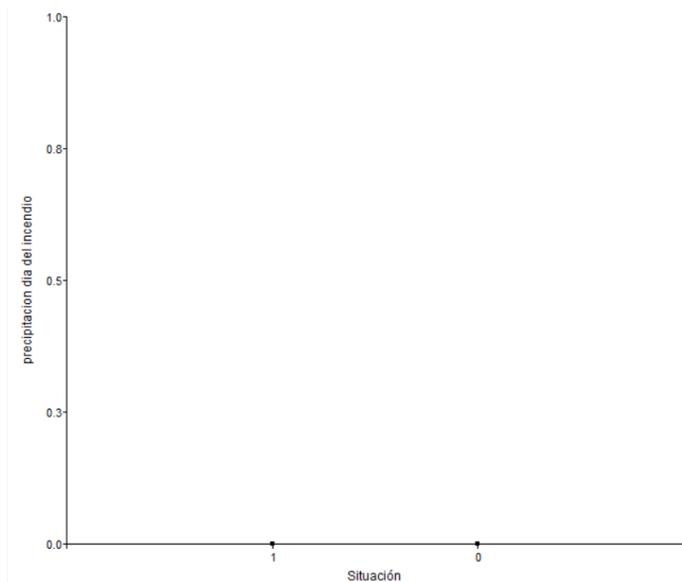
**Figura 72:** Diagrama de caja del diferencial NBR de los focos de incendio obtenidos del Téc. Ferraris en la RNV. (Fuente: Elaboración propia).



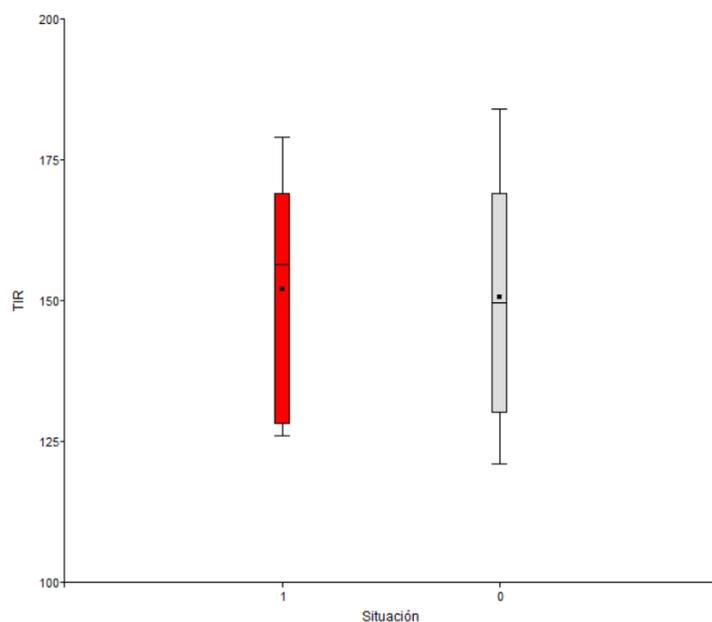
**Figura 73:** Diagrama de caja de la precipitación media mensual de los focos de incendio obtenidos del Téc. Ferraris en la RNV. (Fuente: Elaboración propia).



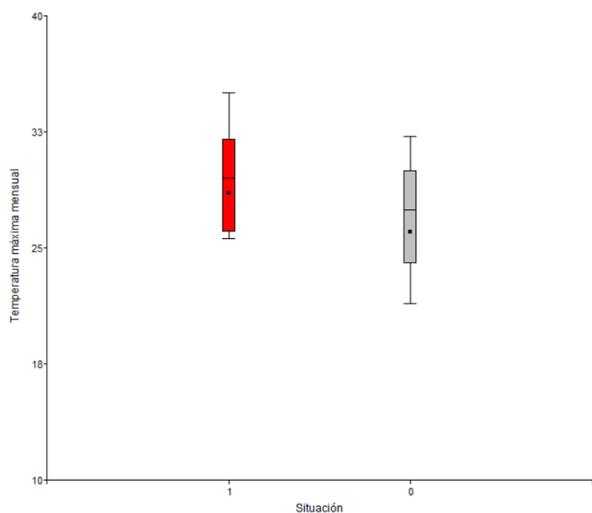
**Figura 74:** Diagrama de caja de la precipitación previa al incendio de los focos obtenidos del Téc. Ferraris en la RNV. (Fuente: Elaboración propia).



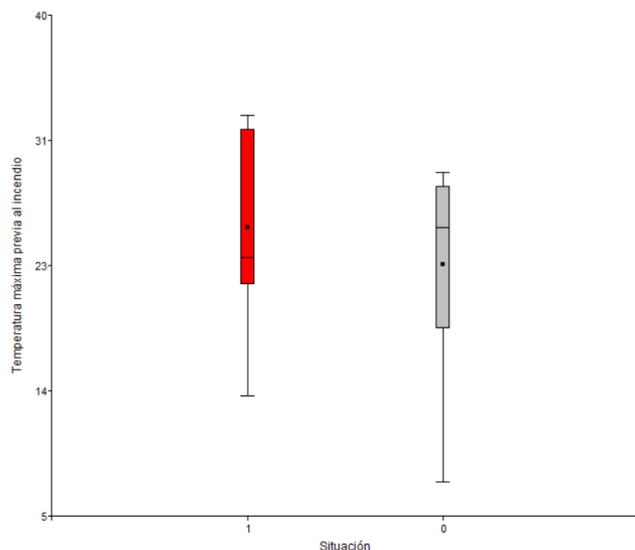
**Figura 75:** Diagrama de caja de la precipitación día del incendio de los focos obtenidos del Téc. Ferraris en la RNV. (Fuente: Elaboración propia).



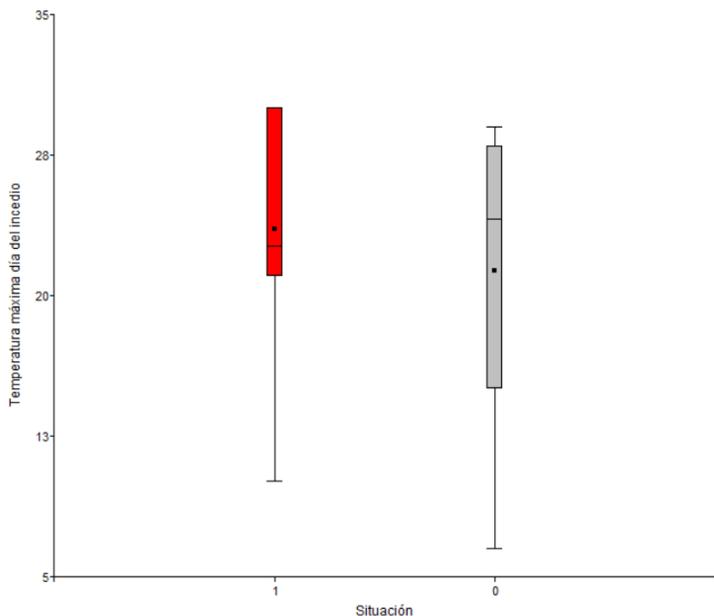
**Figura 76:** Diagrama de caja de la temperatura de la superficie de la Tierra de los focos de incendio obtenidos del Téc. Ferraris en la RNV. (Fuente: Elaboración propia).



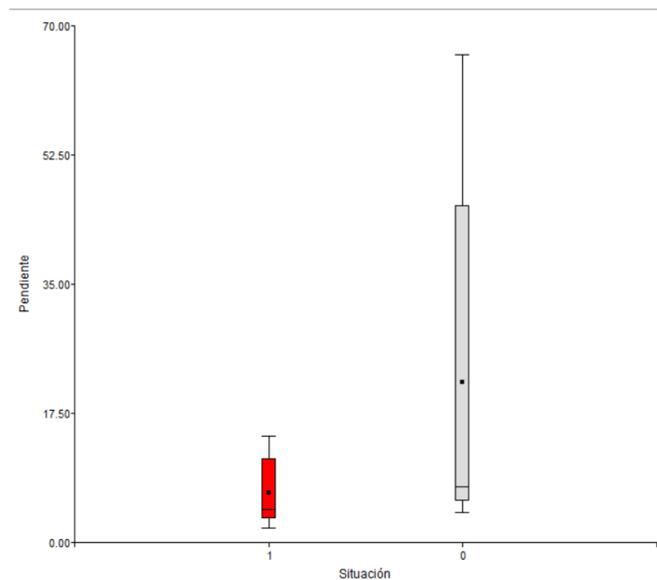
**Figura 77:** Diagrama de caja de la temperatura máxima mensual de los focos de incendio obtenidos del Téc. Ferraris en la RNV. (Fuente: Elaboración propia).



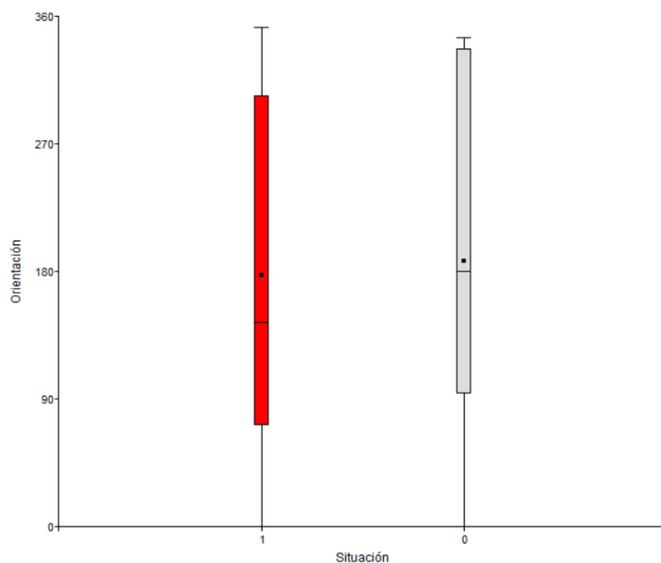
**Figura 78:** Diagrama de caja de la temperatura máxima previa al incendio de los focos obtenidos del Téc. Ferraris en la RNV. (Fuente: Elaboración propia).



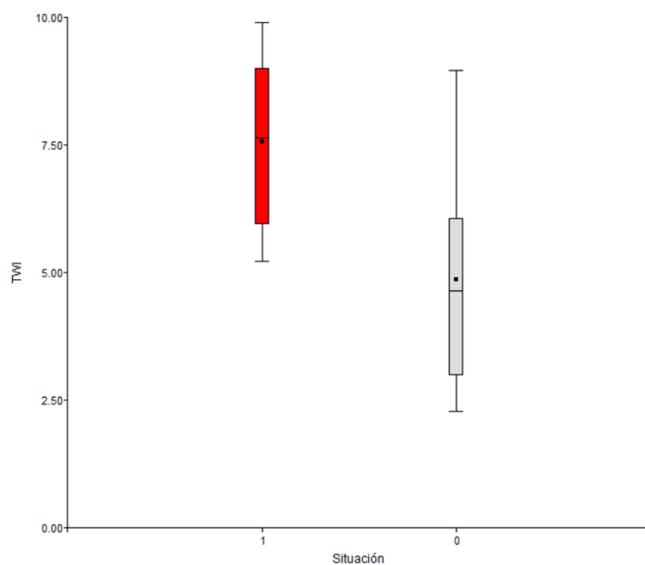
**Figura 79:** Diagrama de caja de la temperatura máxima día del incendio de los focos obtenidos del Téc. Ferraris en la RNV. (Fuente: Elaboración propia).



**Figura 80:** Diagrama de caja de la pendiente de los focos de incendio obtenidos del Téc. Ferraris en la RNV. (Fuente: Elaboración propia).



**Figura 81:** Diagrama de caja de la orientación de los focos de incendio obtenidos del Téc. Ferraris en la RNV. (Fuente: Elaboración propia).



**Figura 82:** Diagrama de caja del índice topográfico de humedad de los focos de incendio obtenidos del Téc. Ferraris en la RNV. (Fuente: Elaboración propia).



**Tabla 43:** Matriz de correlación de Pearson para las variables del Téc. Ferraris.

	GCI antes	NBR antes	TIR	dif. GCI	dif. NBR	Ppm	Pp3	P.Dia	TMM	TM3	TM.DIA	Pendiente	Orientación	TWI
GCI antes	1	0,069	0,116	0,785	0,569	0,911	0,206	1,000	0,905	0,969	0,790	0,461	0,565	0,248
NBR antes	-0,415	1	0,296	0,108	0,958	0,729	0,260	1,000	0,737	0,800	0,496	0,132	0,888	0,093
TIR	0,363	-0,246	1	0,945	0,888	0,973	0,848	1,000	0,490	0,994	0,817	0,667	0,321	0,624
dif. GCI	-0,065	0,370	0,016	1	0,643	0,314	0,400	1,000	0,510	0,376	0,297	0,563	0,691	0,210
dif. NBR	-0,135	0,013	0,034	0,110	1	0,616	0,012	1,000	0,329	0,323	0,473	0,237	0,375	0,302
Ppm	0,027	-0,083	-0,008	-0,237	-0,119	1	0,994	1,000	0,423	0,335	0,285	0,839	0,231	0,575
Pp3	0,296	0,264	0,046	0,199	-0,548	0,002	1	1,000	0,413	0,494	0,801	0,861	0,855	0,820
Pp.dia	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
TMM	0,028	0,080	0,164	0,156	0,230	0,190	0,194	0,000	1	0,000	0,000	0,006	0,018	0,005
TM3	-0,009	0,060	0,002	0,209	0,233	0,227	0,163	0,000	0,939	1	0,000	0,002	0,011	0,001
TM.dia	-0,064	0,162	0,055	0,245	0,170	0,251	0,060	0,000	0,923	0,963	1	0,000	0,028	0,001
Pend.	0,175	-0,349	0,102	-0,138	-0,277	0,048	0,042	0,000	0,591	0,659	-0,740	1	0,402	0,000
Orient.	0,137	0,034	0,234	-0,095	-0,210	0,281	0,044	0,000	0,521	0,553	-0,492	0,198	1	0,070
TWI	-0,271	0,386	0,117	0,293	0,243	0,133	0,054	0,000	0,600	0,704	0,679	-0,749	-0,413	1



## Anexo 4: Registro de los focos de incendios negativos y valores de sus variables

**Tabla 44:** Registro de los puntos negativos del conjunto de datos obtenido de Firms.

ID	Fecha del evento	X	Y
1	2000-12-26	515995.2009	6374696.045
2	2000-12-26	507696.1857	6387905.652
3	2000-12-26	509289.6788	6416313.307
4	2000-12-26	513489.9216	6383288.432
5	2000-12-26	512068.456	6395108.268
6	2000-12-27	517506.2206	6384610.489
7	2000-12-27	504549.5082	6396988.219
8	2000-12-27	511337.7787	6388536.203
9	2002-12-25	509047.9654	6414132.329
10	2003-12-30	506796.2986	6406586.193
11	2003-12-30	517250.3649	6388009.195
12	2003-12-30	510435.0139	6398644.872
13	2003-12-30	519364.482	6391266.75
14	2003-12-30	511503.5506	6383599.909
15	2003-12-30	519684.1565	6386199.901
16	2003-12-30	523497.3042	6376267.476
17	2003-12-30	514652.8445	6377546.338
18	2003-12-30	503575.4453	6391550.844
19	2003-12-31	504692.2903	6378817.963
20	2003-12-31	514636.7794	6386933.013
21	2004-01-01	506631.8529	6389317.686
22	2006-02-07	502022.8907	6396383.964
23	2006-07-26	507996.2207	6411872.345
24	2006-07-26	512076.4792	6382677.311
25	2006-07-26	508460.1418	6409797.687
26	2006-07-26	521357.7461	6389592.362
27	2006-07-26	509984.7204	6386051.454
28	2006-07-26	511527.1349	6407608.962
29	2009-07-14	509340.0082	6384079.319
30	2015-08-27	503709.6278	6395937.465
31	2015-08-27	520069.7028	6378289.008
32	2015-09-10	506483.5002	6385134.106
33	2016-07-12	508719.2127	6393754.058
34	2017-01-02	523194.3649	6382541.85
35	2018-03-04	506962.0999	6394318.926
36	2018-04-29	506595.1539	6403557.802
37	2019-06-22	515825.3068	6382244.213
38	2019-06-25	510335.4303	6397502.424
39	2020-11-05	504780.5559	6386948.93
40	2020-09-15	509314.0958	6382538.409
41	2020-09-15	527117.7898	6382588.693
42	2020-09-15	514338.4278	6391218.659



43	2020-11-05	506279.5214	6378495.739
44	2023-02-06	506181.0616	6398367.45
45	2023-02-06	502587.3801	6380444.029
46	2023-02-06	488056.2274	6392492.971
47	2023-02-06	497332.0676	6410003.647
48	2023-02-06	493139.8922	6399912.308
49	2023-02-06	493996.259	6377528.707
50	2023-02-06	493209.5697	6415858.878
51	2023-02-06	506414.0632	6411063.192

**Tabla 45:** Registro de los puntos negativos del conjunto de datos obtenidos del área técnica de Villavicencio.

ID	Fecha del evento	X	Y
1	2005/11/25	496242.66	6416671.53
2	2005/12/11	492474.02	6406116.8
3	2006/11/12	505117.47	6404814.99
4	2006/12/25	498657.88	6402586.05
5	2007/12/25	517423.2	6383562.23
6	2007/12/09	501468.21	6382287.67
7	2008/07/25	509583.61	6407745.45
8	2008/10/19	493569.33	6388272.78
9	2010/12/28	493742.89	6404338.42
10	2011/12/24	501384.89	6414468.45
11	2010/12/25	502487.05	6392076.34

**Tabla 46:** Registro de los puntos negativos del conjunto de datos obtenido del Téc. Ferraris.

ID	Fecha del evento	X	Y
1	2006-03-23	513448.7238	6384869.67
2	2006-07-25	524988.2386	6376960.296
3	2007-12-22	497070.8294	6418262.103
4	2008-12-26	496011.9057	6383677.531
5	2008-12-27	499913.0391	6396268.005
6	2009-03-01	494516.6949	6398594.349
7	2009-08-29	509587.9356	6381973.31
8	2010-10-05	509788.7963	6404136.604
9	2013-01-06	523908.4447	6385606.976
10	2017-01-02	503300.4195	6384336.3



**Tabla 47:** Valores de los índices espectrales para los puntos negativos del conjunto de datos de Firms.

ID	GCI previo al incendio	NBR previo al incendio	Diferencial GCI	Diferencial NBR
1	0.250	-0.043	-0.122	-0.061
2	0.286	0.034	0.021	0.011
3	-0.053	0.161	-0.203	-0.018
4	0.163	0.000	-0.008	0.020
5	0.342	0.010	0.045	0.078
6	0.189	-0.033	-0.033	0.011
7	0.400	0.050	-0.084	0.005
8	0.327	-0.028	-0.020	0.029
9	2.063	0.010	-0.071	-0.045
10	0.213	-0.017	-0.337	-0.233
11	0.185	-0.023	0.019	-0.100
12	0.224	-0.032	-0.156	-0.087
13	0.132	-0.024	-0.085	-0.043
14	0.167	-0.008	-0.033	-0.042
15	0.246	-0.053	-0.040	-0.053
16	0.281	0.000	0.102	0.000
17	0.222	-0.038	-0.041	0.021
18	0.213	-0.009	-0.037	-0.073
19	0.265	0.042	-0.417	-0.096
20	0.164	-0.030	-0.036	-0.047
21	0.163	-0.034	0.063	0.030
22	0.444	0.083	0.178	0.083
23	0.250	0.064	-0.009	0.092
24	0.318	0.137	0.060	0.069
25	0.300	-0.019	-0.010	0.019
26	0.105	0.135	-0.087	0.084
27	0.286	0.019	0.010	0.032
28	0.000	0.077	-0.100	0.099
29	0.250	0.061	0.131	0.061
30	0.227	0.020	-0.052	0.003
31	0.244	0.019	-0.015	0.001
32	0.180	-0.001	-0.005	0.012
33	0.244	-0.007	-0.031	-0.010
34	0.333	-0.009	-0.004	-0.023
35	0.150	0.048	0.103	-0.001
36	0.279	0.076	0.228	0.026
37	0.086	0.017	-0.009	0.004
38	0.125	0.030	0.008	0.011
39	0.234	0.017	-0.058	0.001
40	0.003	-0.005	-0.049	0.004
41	0.055	-0.004	-0.049	0.002
42	0.054	0.026	-0.055	0.003
43	-0.018	-0.021	-0.053	0.004
44	0.283	0.014	0.087	0.031
45	0.280	0.014	0.041	0.011



46	0.262	-0.026	-0.068	-0.049
47	0.195	-0.011	-0.014	-0.007
48	0.229	-0.115	-0.238	-0.202
49	0.235	-0.034	-0.048	-0.062
50	0.162	-0.036	-0.082	-0.071
51	0.264	-0.003	-0.118	-0.050

**Tabla 48:** Valores de las variables climáticas para los puntos negativos del conjunto de datos de Firms

ID	TIR	Precipitación media mensual	Precipitación previa al incendio	Precipitación día del incendio	Humedad del suelo previa al incendio	Humedad del suelo día del incendio	Temperatura máxima mensual	Temperatura máxima previa al incendio	Temperatura máxima día del incendio
1	157	24.00	5.00	0.00			34.00	33.85	30.84
2	155	21.00	0.00	0.00			34.00	33.98	31.06
3	109	23.00	4.85	0.00			31.00	30.91	28.30
4	157	23.00	0.00	0.00			34.00	33.98	31.06
5	156	25.00	0.00	0.00			35.00	34.11	31.07
6	158	35.00	0.00	0.00			40.00	39.12	30.75
7	138	20.00	0.00	0.00			28.00	27.69	18.56
8	160	34.00	0.00	0.00			37.00	33.98	25.59
9	140	43.00	0.00	0.00			28.00	25.15	25.15
10	145	21.00	0.00	0.00			28.30	20.86	20.86
11	150	10.00	4.17	0.00			35.00	33.68	33.68
12	148	21.00	0.00	0.00			30.30	28.46	28.46
13	149	24.64	0.00	0.00			32.90	33.68	33.68
14	145	22.00	0.00	0.00			31.20	28.54	28.54
15	150	26.00	0.00	0.00			35.00	33.68	33.68
16	147	26.00	0.00	0.00			34.00	31.76	31.76
17	143	26.00	4.25	0.00			33.66	27.02	27.02
18	143	19.00	0.00	0.00			23.00	21.76	21.76
19	133	16.00	0.00	0.00			29.20	19.81	17.55
20	151	11.00	0.00	0.00			38.24	28.54	26.00
21	145	38.00	0.00	0.00			32.40	20.73	18.95
22	169	14.00	5.50	0.00			34.70	23.79	20.39
23	124	23.00	0.00	0.00			14.40	13.80	8.65
24	126	15.00	5.20	0.00			17.00	16.24	11.12
25	123	20.00	0.00	0.00			14.60	15.40	9.87
26	122	14.00	0.00	0.00			20.49	19.12	14.03
27	127	10.00	0.00	0.00			18.00	16.24	11.12
28	117	16.00	0.00	0.00			17.00	15.40	9.87
29	137	4.00	3.44	3.44			18.00	17.53	9.79
30	94	14.00	0.00	0.00	0.08	0.06	15.00	16.20	13.61
31	95	8.00	0.00	0.00	0.08	0.07	23.50	22.11	20.11
32	100	11.00	0.00	0.00	0.06	0.06	23.00	13.42	3.85
33	126	4.00	2.66	2.66	0.12	0.10	13.60	14.11	10.34



34	138	36.00	0.00	0.00	0.05	0.04	35.50	38.18	35.99
35	124	16.00	15.64	0.00	0.10	0.07	27.70	27.74	26.95
36	106	5.00	9.44	0.00	0.05	0.05	24.20	21.53	15.12
37	92	6.00	0.00	0.00	0.05	0.06	20.00	16.64	15.54
38	91	7.00	2.38	0.00	0.06	0.07	20.00	17.55	6.18
39	134	16.00	8.00	0.00	0.04	0.04	30.00	22.63	14.82
40	113	9.00	4.17	4.17	0.04	0.04	22.00	21.30	21.30
41	111	0.00	0.00	0.00	0.03	0.03	26.60	25.21	25.21
42	113	5.00	3.49	3.49	0.04	0.04	24.00	21.30	21.30
43	111	18.00	14.53	0.00	0.04	0.04	26.00	23.00	14.30
44	115	21.45	4.98	0.00	0.11	0.06	34.00	25.83	24.24
45	108	21.45	4.20	0.00	0.07	0.05	24.00	23.64	21.73
46	100	44.93	5.24	0.00	0.09	0.05	22.00	19.81	18.04
47	102	35.48	5.82	0.00	0.10	0.06	36.00	25.29	23.62
48	104	44.93	5.22	0.00	0.10	0.06	36.00	19.81	18.04
49	107	44.93	5.15	0.00	0.09	0.06	35.80	19.70	16.98
50	97	63.26	6.00	0.00	0.08	0.04	36.27	19.51	17.86
51	113	35.48	4.70	0.00	0.09	0.05	27.75	25.29	23.62



**Tabla 49:** Valores de las variables morfológicas para los puntos negativos del conjunto de datos Firms.

ID	Pendiente	Orientación	TWI
1	3.16	198.435	8.61
2	3.16	341.565	8.07
3	82.87	188.326	2.12
4	8.94	333.435	7.52
5	3.16	341.565	9.36
6	3.16	161.565	8.50
7	8.00	0.000	6.08
8	8.94	333.435	8.27
9	12.65	251.565	4.48
10	25.30	341.565	3.22
11	3.16	161.565	9.99
12	3.16	288.435	10.05
13	7.07	351.870	5.69
14	4.47	63.435	7.38
15	1.41	45.000	8.49
16	5.83	329.036	8.48
17	7.62	23.199	6.08
18	4.47	26.565	6.62
19	44.20	37.648	2.40
20	0.00	90.000	11.11
21	8.00	0.000	6.87
22	18.38	225.000	4.31
23	4.47	296.565	6.96
24	4.47	63.435	7.75
25	5.66	315.000	6.30
26	4.00	180.000	5.45
27	4.47	63.435	8.65
28	13.93	248.962	4.33
29	8.00	0.000	6.64
30	7.07	351.870	4.95
31	3.16	71.565	9.68
32	7.07	8.130	6.11
33	5.10	348.690	6.56
34	5.66	135.000	10.32
35	4.00	0.000	6.20
36	10.77	338.199	5.90
37	1.41	45.000	11.77
38	4.24	315.000	8.30
39	5.83	329.036	8.16
40	5.83	329.036	6.93
41	1.41	315.000	8.86
42	0.00	315.000	7.77
43	8.94	26.565	7.16
44	7.07	278.130	6.38
45	63.07	334.654	2.79
46	3.16	198.435	4.21
47	36.50	99.462	2.34
48	72.72	328.496	2.68
49	45.54	19.231	2.53
50	47.71	123.024	2.70
51	7.21	326.310	6.38

**Tabla 50:** Valores de los índices espectrales para los puntos negativos del conjunto de datos del área técnica de Villavicencio.

ID	GCI previo al incendio	NBR previo al incendio	Diferencia GCI	Diferencia NBR
1	0.400	-0.029	-0.017	0,03279569745
2	0.244	-0.143	0.826	0.012
3	0.311	-0.048	-0.046	-0.104
4	0.522	-0.054	0.172	-0.045
5	0.213	-0.066	0.070	-0.037
6	0.310	0.000	-0.050	-0.046
7	0.576	0.010	-0.058	-0.054
8	0.486	0.087	0.223	0.097
9	0.204	-0.150	0.225	-0.039
10	0.351	0.000	0.262	0.010
11	0.359	-0.009	-0.129	-0.010

**Tabla 51:** Valores de las variables climáticas para los puntos negativos del conjunto de datos del área técnica de Villavicencio.

ID	TIR	Precipitación media mensual	Precipitación previa al incendio	Precipitación día del incendio	Temperatura máxima mensual	Temperatura máxima previa al incendio	Temperatura máxima día del incendio
1	182	11.45	0.00	0.00	23.00	19.80	16.89
2	106	12.00	0.00	0.00	20.00	19.04	19.04
3	191	35.00	1.85	1.85	30.00	24.33	24.33
4	171	14.00	0.00	0.00	24.00	21.26	18.70
5	161	8.00	3.88	3.88	35.00	34.83	29.63
6	140	7.00	2.70	0.00	25.00	25.14	25.14
7	148	1.00	0.00	0.00	14.00	13.93	13.93
8	113	10.00	2.66	0.00	16.50	13.11	13.11
9	175	35.00	5.69	1.70	17.20	17.20	13.77
10	161	21.00	0.00	0.00	25.20	22.72	11.62
11	169	35.00	0.00	0.00	28.90	25.26	23.04



**Tabla 52:** Valores de las variables morfológicas para los puntos negativos del conjunto de datos del área técnica de Villaviciencio.

ID	Pendiente	Orientación	TWI
1	67.91	13.627	2.65
2	23.32	210.964	3.02
3	24.21	231.710	2.63
4	49.48	14.036	2.17
5	4.47	206.565	9.43
6	21.54	111.801	4.38
7	52.80	37.304	2.27
8	35.69	281.310	3.56
9	12.17	350.538	4.57
10	5.10	281.310	6.15
11	47.01	91.219	2.53

**Tabla 53:** Valores de los índices espectrales para los puntos negativos del conjunto de datos del Téc. Ferraris.

ID	GCI previo al incendio	NBR previo al incendio	Diferencial GCI	Diferencial NBR
1	0.348	0.040	0.110	-0.013
2	0.159	0.546	0.886	-0.084
3	0.368	-0.037	0.128	-0.353
4	0.387	-0.085	0.036	-0.026
5	0.548	0.129	-0.077	0.057
6	0.178	-0.036	0.011	0.021
7	0.188	-0.015	-0.066	-0.035
8	0.348	0.051	0.078	-0.017
9	0.141	0.033	0.223	0.032
10	0.305	0.041	-0.061	-0.042

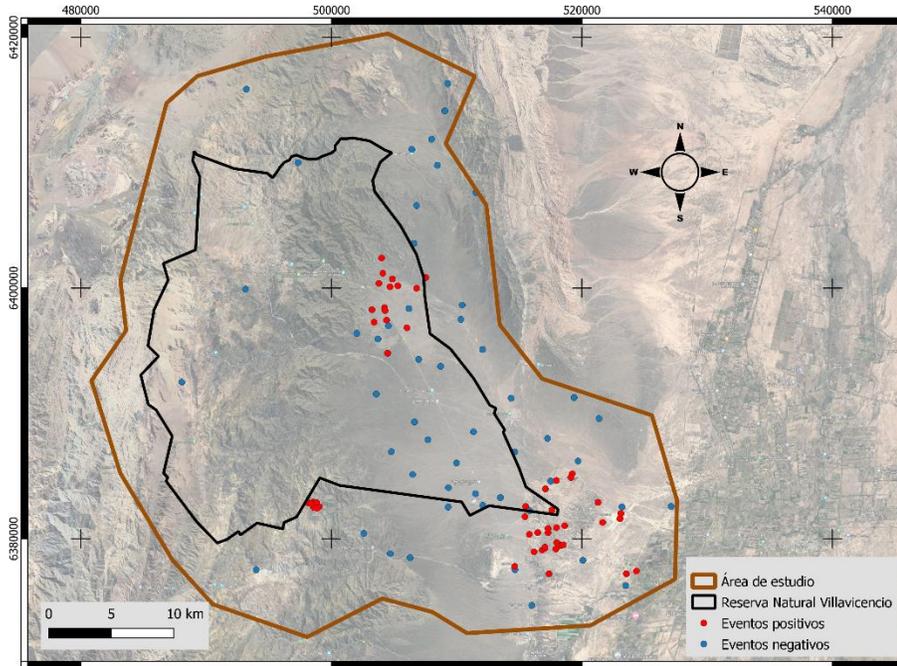


**Tabla 54:** Valores de las variables climáticas para los puntos negativos del conjunto de datos del Téc. Ferraris.

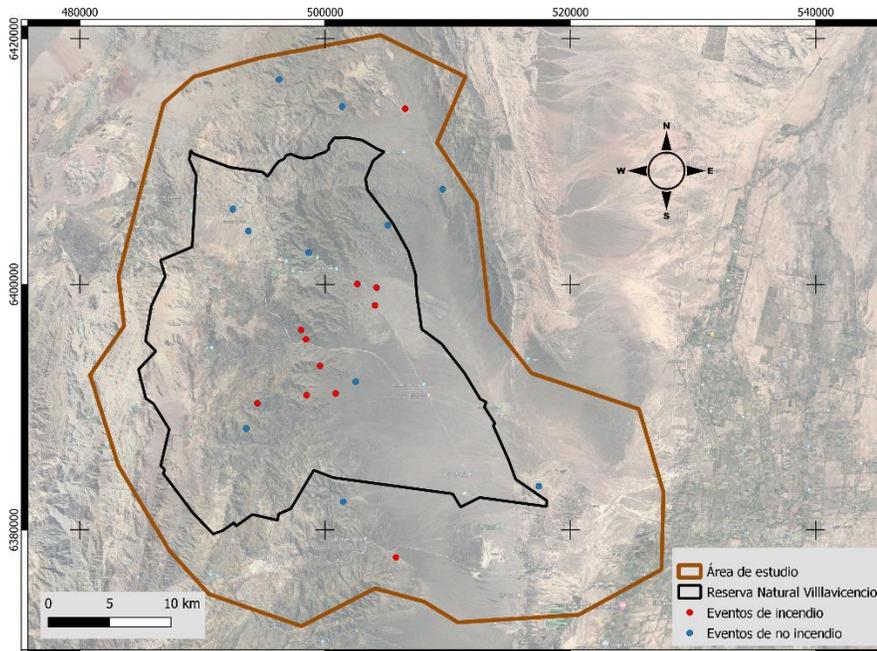
ID	TIR	Precipitación media mensual	Precipitación previa al incendio	Precipitación día del incendio	Humedad previo al incendio	Humedad día del incendio	Temperatura máxima mensual	Temperatura máxima previa al incendio	Temperatura máxima día del incendio
1	184	3.00	0.00	0.00			32.20	29.00	29.00
2	142	15.00	4.88	0.00			30.00	28.00	28.00
3	157	30.00	3.42	0.00			12.06	7.40	6.50
4	138	5.00	0.00	0.00			21.40	18.11	10.75
5	161	23.00	0.00	0.00			27.60	23.15	21.00
6	175	18.00	0.00	0.00			24.00	15.00	15.00
7	169	15.00	0.00	0.00			29.10	28.00	28.00
8	129	8.00	1.29	0.00			27.31	27.00	27.00
9	130	11.00	0.00	0.00			26.60	25.00	25.00
10	121	27.00	0.00	0.00	0.05	0.04	30.00	25.26	23.14

**Tabla 55:** Valores de las variables morfológicas para los puntos negativos del conjunto de datos del Téc. Ferraris.

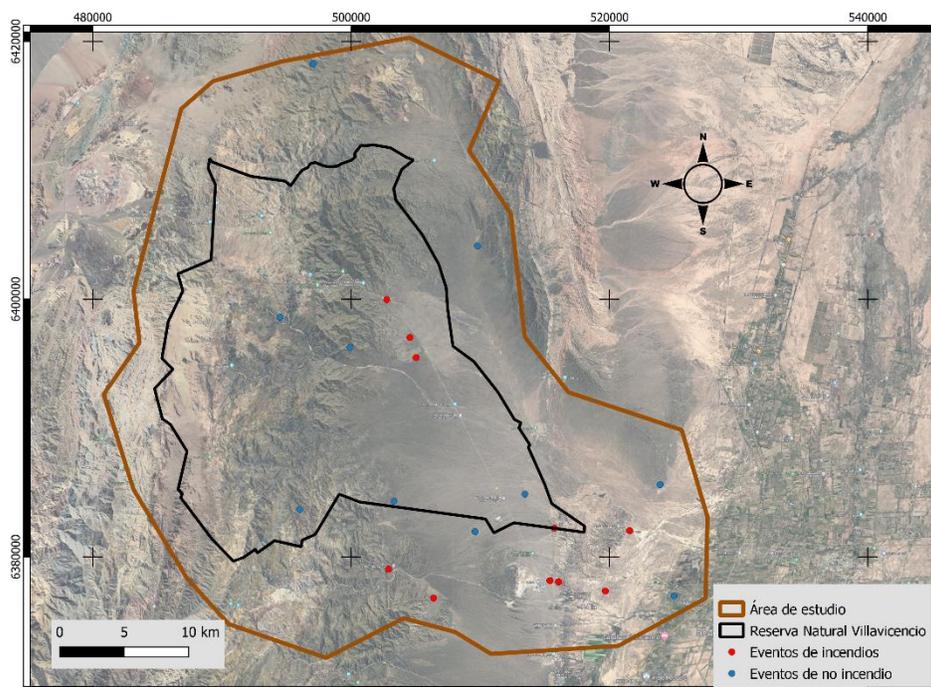
ID	Pendiente	Orientación	TWI
1	4.00	0.000	7.15
2	5.66	135.000	8.96
3	45.61	344.745	2.77
4	66.12	93.468	2.99
5	23.41	340.017	3.61
6	46.04	235.620	2.29
7	7.07	45.000	6.07
8	4.24	225.000	5.55
9	7.62	336.801	5.11
10	7.62	113.199	4.16



**Figura 83:** Mapa de Eventos de incendio (puntos positivos) y eventos de no incendio (puntos negativos) obtenidos de Firms en la RNV. Sistema de coordenadas: UTM 19S – EPSG 32719. Fondo cartográfico: Map data ©2015 Google. (Fuente: Elaboración propia).



**Figura 84:** Mapa de Eventos de incendio (puntos positivos) y eventos de no incendio (puntos negativos) obtenidos del área técnica de Villavicencio en la RNV. Sistema de coordenadas: UTM 19S – EPSG 32719. Fondo cartográfico: Map data ©2015 Google. (Fuente: Elaboración propia).



**Figura 85:** Mapa de Eventos de incendio (puntos positivos) y eventos de no incendio (puntos negativos) obtenidos del Téc. Ferraris en la RNV. Sistema de coordenadas: UTM 19S – EPSG 32719. Fondo cartográfico: Map data ©2015 Google. (Fuente: Elaboración propia).