



Universidad Nacional de Rosario  
Facultad de Ciencias Agrarias



Licenciatura en Recursos Naturales

***Análisis espacial y temporal de los focos de incendio y de las áreas quemadas en el Delta Superior del río Paraná.***

Alumno: Federico Ascolani

Director: Néstor Cristian Di Leo

Lugar de trabajo: Centro de Estudios Territoriales (CET), Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Rosario. Zavalla.

Año 2023

## 1. ÍNDICE

2.	LISTA DE TABLAS .....	4
3.	LISTA DE FIGURAS .....	5
4.	AGRADECIMIENTOS .....	8
5.	RESUMEN .....	9
6.	ABSTRACT .....	10
7.	INTRODUCCIÓN .....	11
7.1	Introducción general .....	11
7.2	Objetivo general .....	19
7.3	Objetivos específicos .....	19
7.4	Hipótesis .....	20
8.	MATERIALES Y MÉTODOS .....	21
8.1	Descripción del área de estudio .....	21
8.2	Representación gráfica del área de estudio .....	23
8.3	Productos satelitales de focos de calor .....	24
8.4	Análisis de la distribución temporal de los focos de calor .....	25
8.5	Análisis de la distribución espacial y patrones de agrupamiento de los focos de calor .....	25
8.6	Detección y cuantificación de las superficies quemadas .....	29
8.6.1	Base de datos de imágenes satelitales ópticas .....	29
8.6.2	Clasificación de coberturas .....	32
8.6.3	Cuantificación y mapeo de las superficies quemadas .....	33
8.6.4	Requema .....	35
8.6.5	Validación del área quemada .....	35
8.6.6	Evaluación del NBR para la determinación de la cobertura quemada .....	36
8.7	Análisis de la distribución espacial de los focos de calor en relación a sus patrones de agrupamiento según distancias a elementos del paisaje del humedal... ..	37
8.7.1	Relación espacial entre los focos de calor y los cursos y cuerpos de agua .....	37

8.7.2	Relación espacial entre los focos de calor y elementos/estructuras antrópicas .....	39
8.7.3	Análisis estadístico .....	43
8.8	Relacionamiento causal con otras fuentes de información .....	44
9.	RESULTADOS .....	45
9.1	Distribución temporal de los focos de calor .....	45
9.2	Distribución espacial y patrones de agrupamiento de los focos de calor .....	55
9.3	Detección y cuantificación de las superficies quemadas.....	60
9.3.1	Clasificaciones de cobertura.....	60
9.3.2	Representación y cuantificación de las superficies quemadas.....	65
9.3.3	Requema .....	75
9.3.4	Validación del área quemada .....	78
9.3.5	Evaluación del NBR para la determinación de la cobertura quemada...81	
9.4	Análisis de la distribución espacial de los focos de calor en relación a sus patrones de agrupamiento según distancias a elementos del paisaje del humedal... ..	86
9.4.1	Relación espacial entre los focos de calor y los cursos y cuerpos de agua .....	88
9.4.2	Relación espacial entre los focos de calor y elementos/estructuras antrópicas .....	88
10.	DISCUSIÓN.....	91
10.1	Área quemada.....	91
10.2	Patrones espaciotemporales.....	93
10.3	Variables ambientales .....	95
10.4	Actividades socio productivas .....	105
10.5	Validación del área quemada.....	107
11.	CONCLUSIONES .....	108
12.	BIBLIOGRAFÍA.....	110
13.	ANEXO .....	117

## 2. ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Bandas espectrales de las imágenes Sentinel-2 con su respectiva longitud de onda ( $\mu\text{m}$ ) y resolución (m). .....	30
Tabla 2: Imágenes Sentinel-2 utilizadas en cada una de las fechas .....	31
Tabla 3: Cálculo de las áreas quemadas acumuladas. ....	34
Tabla 4: Número y porcentaje de focos de calor según producto por semestre.....	48
Tabla 5: Número y porcentaje de focos de calor según producto por estación.....	49
Tabla 6: Número y porcentaje de focos de calor según producto por mes. ....	51
Tabla 7: Número y porcentaje de focos de calor según producto por quincena.....	53
Tabla 8: Número de focos de calor VIIRS S-NPP por bimestre. ....	55
Tabla 9: Clases y subclases.....	60
Tabla 10: Resultados de área quemada .....	74
Tabla 11: Correspondencia entre los focos de calor y el área quemada.....	80
Tabla 12: Densidad de focos de calor por tipo de superficie.....	87
Tabla 13: Relación espacial entre los focos de calor y los cuerpos de agua navegables. .....	88
Tabla 14: Relación espacial entre los focos de calor y las instalaciones ganaderas.	88
Tabla 15: Relación espacial entre los focos de calor y los elementos y/o infraestructuras no relacionadas con la ganadería.....	89
Tabla 16: Relación espacial entre los focos de calor y los registros de sitios de vacunación de SENASA.....	89
Tabla 17: Número y porcentaje de focos de calor según producto por semana.....	117

### 3. ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Regiones del Delta del Paraná.....	11
Figura 2. Delimitación del área de estudio realizada con el software QGIS versión 3.18. .....	21
Figura 3. Superficie matricial. ....	28
Figura 4. Pasos para el cálculo de intensidad de puntos según la técnica de Kernel.....	28
Figura 5. Cursos y cuerpos de agua .....	38
Figura 6: Ejemplo de geolocalización y delimitación digital de los elementos y estructuras antrópicas. ....	40
Figura 7. Ejemplo de relacionamiento espacial entre elementos/estructuras antrópicas y focos de calor tomando un sector del área estudiada. ....	42
Figura 8. Focos de calor MODIS registrados durante el 2020.....	45
Figura 9. Focos de calor VIIRS S-NPP registrados durante el 2020. ....	46
Figura 10. Focos de calor VIIRS NOAA-20 registrados durante el 2020.....	47
Figura 11. Porcentaje de focos de calor por periodo estacional.....	50
Figura 12. Focos de calor por mes por producto satelital.....	51
Figura 13. Porcentaje de focos de calor por mes en relación al total de los focos detectados según cada producto satelital. ....	52
Figura 14. Porcentaje de focos de calor por quincenas según producto.....	54
Figura 15. Mapa de densidad de focos de calor (uniforme) para el total del año 2020. .....	56
Figura 16. Mapa de densidad de focos de calor (cuartico) para el total del año 2020. .....	57
Figura 17. Mapa de densidad de focos de calor (uniforme) para el bimestre julio-agosto del año 2020.....	58
Figura 18. Mapa de densidad de focos de calor (uniforme) para el bimestre septiembre-octubre del año 2020.....	59
Figura 19. Clasificación de coberturas, fecha 1 de febrero de 2020. ....	61
Figura 20. Clasificación de coberturas, fecha 26 de mayo de 2020.....	62

Figura 21. Clasificación de coberturas, fecha 8 de septiembre de 2020. ....	63
Figura 22. Clasificación de coberturas, fecha 22 de noviembre de 2020. ....	64
Figura 23. Área quemada total en el Delta Superior del Paraná en el año 2020. ....	65
Figura 24. Área quemada parcial por fecha. ....	66
Figura 25. Área quemada parcial del 1 de febrero de 2020. ....	67
Figura 26. Área quemada parcial del 26 de mayo de 2020. ....	68
Figura 27. Área quemada parcial del 8 de septiembre de 2020. ....	69
Figura 28. Área quemada parcial del 22 de noviembre de 2020. ....	70
Figura 29. Área quemada parcial por fecha en el año 2020. ....	71
Figura 30. Área quemada adicional detectada en cada fecha durante el año 2020. ..	72
Figura 31. Área quemada acumulada por fecha en el año 2020. ....	73
Figura 32. Área de requema entre el 1 de febrero y el 22 de noviembre de 2020. ...	75
Figura 33. Área de requema entre el 26 de mayo y el 22 de noviembre de 2020. ....	76
Figura 34. Puntos de verdad de campo relevados en la Isla de los Mástiles. ....	78
Figura 35. Puntos de verdad de campo relevados frente a la localidad de Arroyo Seco. .....	79
Figura 36. Índice normalizado de área quemada (NBR) del 1 de febrero de 2020. ...	82
Figura 37. Índice normalizado de área quemada (NBR) del 26 de mayo de 2020. ....	83
Figura 38. Índice normalizado de área quemada (NBR) del 8 de septiembre de 2020. .....	84
Figura 39. Índice normalizado de área quemada (NBR) del 22 de noviembre de 2020. .....	85
Figura 40. Geolocalización de los elementos/estructuras antrópicas en el área de estudio. ....	86
Figura 41: Relación espacial entre los focos de calor y los elementos analizados ...	90
Figura 42. Nivel hidrométrico del río Paraná en Rosario y Victoria. ....	96
Figura 43. Patrón de ocurrencia de los focos de calor en relación a la altura del río Paraná. ....	97

Figura 44. Precipitaciones promedio y efectivas en el período de enero 2019 a abril de 2021. ....	98
Figura 45. Precipitaciones en la ciudad de Rosario. Promedios históricos: 1991-2021, precipitación acumulada mensual (mm) año 2020 y cantidades mensuales de focos de calor VIIRS S-NPP del año 2020.....	99
Figura 46. Precipitaciones por hora y día, año 2020.....	100
Figura 47. Cobertura nubosa por hora y día, año 2020.....	102
Figura 48. Distribución temporal de los focos de calor y variables climáticas. ....	104
Figura 49. Proporción de focos de calor por semanas según producto. ....	119
Figura 50. Mapa de densidad de focos de calor (uniforme) para el bimestre enero-febrero del año 2020. ....	120
Figura 51. Mapa de densidad de focos de calor (uniforme) para el bimestre marzo-abril del año 2020.....	121
Figura 52. Mapa de densidad de focos de calor (uniforme) para el bimestre mayo-junio del año 2020.....	122
Figura 53. Mapa de densidad de focos de calor (uniforme) para el bimestre julio-agosto del año 2020.....	123
Figura 54. Mapa de densidad de focos de calor (uniforme) para el bimestre septiembre-octubre del año 2020.....	124
Figura 55. Mapa de densidad de focos de calor (uniforme) para el bimestre noviembre-diciembre del año 2020. ....	125
Figura 56. Áreas quemadas PIECAS-DP. Enero- diciembre 2020.....	126

#### **4. AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a mi director, Néstor Di Leo por haberme guiado en la elaboración de esta tesina. A mi compañera Juliana Santi por su lectura y comentarios atentos. A mi familia y amigos por haberme brindado su apoyo. A mis compañeros y compañeras por el acompañamiento durante el cursado de la carrera. También, al Centro de Informaciones Meteorológicas de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas de la Universidad del Litoral (FICH-UNL) por haberme permitido consultar la base de datos de altura hidrométrica media del río Paraná.

## 5. RESUMEN

El Delta del Paraná es un macrosistema de humedales que en las dos últimas décadas ha sufrido la ocurrencia reiterada de incendios, los que producen alteraciones graves en su ecología, afectan sus servicios ecosistémicos y generan emisiones de gases y cenizas. Debido a que ocupa un área extensa (2,3 millones de hectáreas), presenta alta heterogeneidad, alta fragmentación natural y variabilidad temporal, y varias zonas de difícil acceso, la investigación a campo presenta dificultades. Por estas razones, la utilización de herramientas de teledetección para su monitoreo y evaluación resulta una alternativa adecuada por su capacidad de abarcar grandes superficies a un costo relativamente muy bajo. En este trabajo de Tesina se caracterizaron los patrones espaciales y temporales de los focos de incendio en el Delta Superior del río Paraná (entre Diamante y Villa Constitución) correspondientes a 2020, y se indagó sobre sus causas, utilizando la información espacial y temporal de los focos de calor detectados por los sensores remotos MODIS y VIIRS. El patrón temporal de estos fue irregular, concentrándose en los meses de julio a septiembre, pero fuertemente en el mes de agosto (con un 38% del total). Se relacionaron sus geolocalizaciones y densidad, con sus distancias con respecto a las masas de agua, a los elementos y estructuras de tipo antrópico, instalaciones ganaderas y sitios de vacunación del ganado, y se realizó un análisis estadístico encontrándose diferencias significativas. Además, se estimó el área quemada en 2020 mediante la clasificación supervisada de imágenes Sentinel-2 utilizando el complemento SCP en entorno del software QGIS, obteniéndose un área quemada de 203.207,61 hectáreas (27,87% del Delta Superior del Paraná, del cual el 75,21% se quemó desde el 26 de mayo al 22 de noviembre). La validación de la misma se realizó a partir de la verificación en 82 sitios de verdad de campo localizados en dos sectores del área de estudio, y mediante un análisis de su correspondencia con las áreas quemadas registradas en los productos satelitales.

**Palabras claves:** focos de incendio, área quemada, humedales, Delta del Paraná, sensoramiento remoto, Sistemas de Información Geográfica

## 6. ABSTRACT

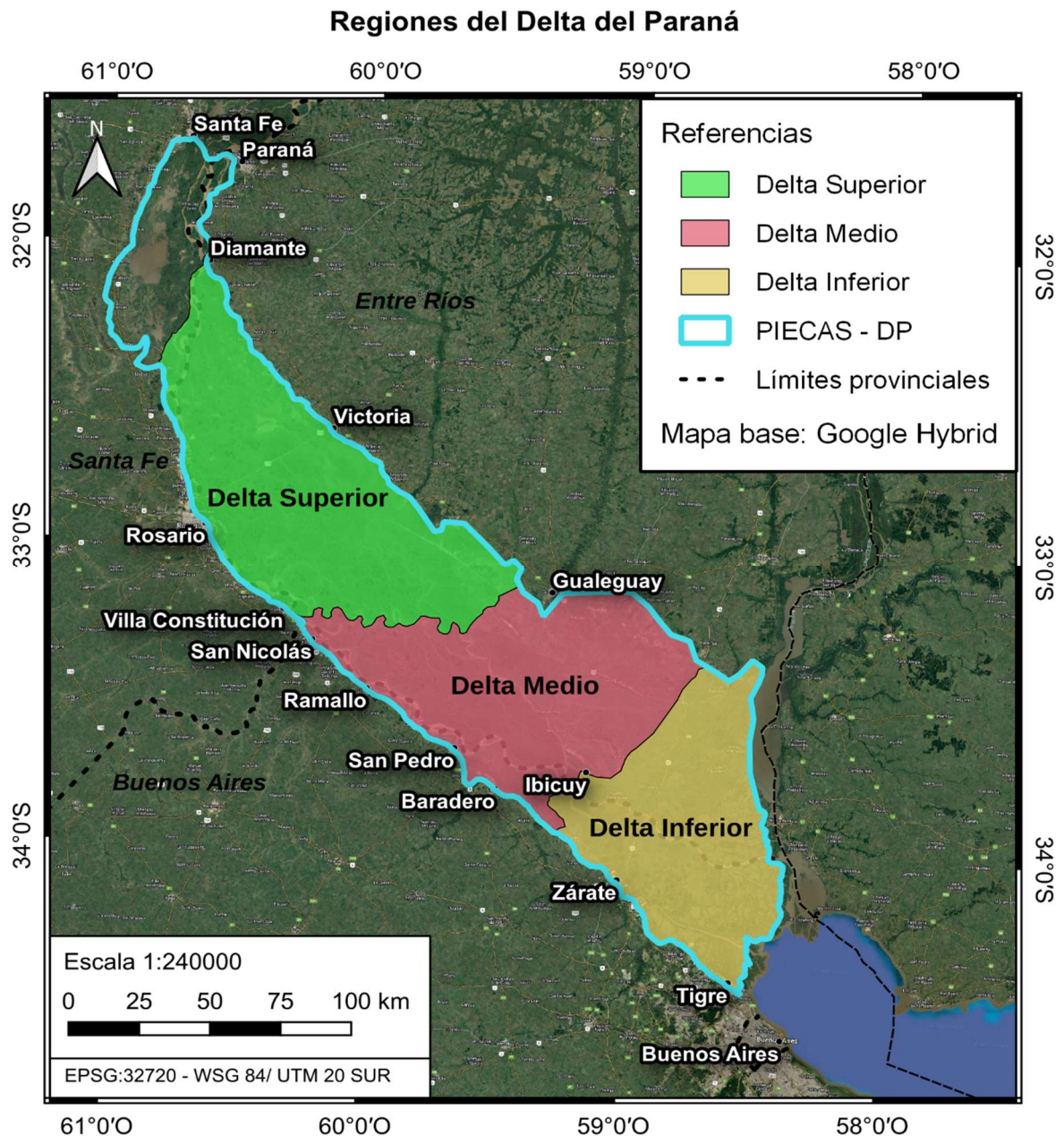
The Paraná River delta is a wetlands macrosystem that in the last two decades has suffered the repeated occurrence of fires, resulting in serious alterations in its ecology, affect its ecosystem services and generate gas and ash emissions. Due to its large area (2,3 million hectares), high heterogeneity, high natural fragmentation and temporal variability, and several difficult to reach areas, field research presents difficulties. For these reasons, the use of remote sensing tools for monitoring and evaluation is an appropriate alternative for its ability to cover large regions at a relatively low cost. In this thesis work, the spatial and temporal patterns of the point-sources of fire in the Upper Delta of the Paraná River (from Diamante to Villa Constitución) corresponding to 2020 were characterized and investigated their causes, using the spatial and temporal information of the points of heat detected by MODIS and VIIRS remote sensors. The temporal pattern of these was irregular, concentrating in the months of July to September, but strongly in the month of August (with 38% of the total). Their geolocations and density were analyzed in relation to their distance from water masses, anthropogenic structures, livestock facilities, and vaccination sites, and a statistical analysis was carried out, finding significant differences. In addition, the burned area for 2020 was estimated through the supervised classification of Sentinel-2 images using the SCP plugin in the QGIS software environment, obtaining a burned area of 203,207.61 hectares (27.87% of the Upper Paraná Delta, of which 75.21% burned from May 26 to November 22). Its validation was performed by from the verification in 82 field sites located in two sectors of the study area, and through an analysis of its correspondence with the burned areas registered in the satellite products.

**Key words:** Active fires, burned areas, wetlands, Delta del Paraná, remote sensing, Geographical Information Systems

## 7. INTRODUCCIÓN

### 7.1 Introducción general

La región del Delta del Paraná es un macrosistema de humedales que abarca aproximadamente 17.500 km<sup>2</sup> y se extiende a lo largo de los últimos 300 km de la cuenca del río Paraná (Neiff et al., 1994). Según su disposición en el territorio se divide en tres regiones: el Alto Delta o Delta Superior, el Delta Medio, y el Bajo Delta o Delta Inferior (Burkart, 1957) (Figura 1).



**Figura 1. Regiones del Delta del Paraná.** El Delta Superior o Alto Delta, se extiende desde Diamante hasta Villa Constitución, provincia de Santa Fe; el Delta Medio, desde Villa Constitución hasta Ibicuy en la provincia de Entre Ríos; y el Delta Inferior o Bajo Delta, desde Ibicuy hasta su

desembocadura en el gran estuario llamado Río de la Plata. Fuente: Elaboración propia basada en Burkart (1957).

La importancia del Delta del Paraná es reconocida a nivel internacional. La Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza recomienda otorgarle alta prioridad, e insta a la implementación de medidas de conservación y uso racional, y de políticas de desarrollo sustentable en el humedal (UICN, 2005). Además, Argentina es signataria y Estado Parte de la Convención de Ramsar (Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas) desde el año 1991 -la Convención fue ratificada por Ley Nº 23919/91-. Ésta define a los humedales como “extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de aguas, 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” (Convención Ramsar, 1971). Según el Inventario Nacional de Humedales de la República Argentina (INH), un humedal es un “ambiente en el cual la presencia temporaria o permanente de agua superficial o subsuperficial causa flujos biogeoquímicos propios y diferentes a los ambientes terrestres y acuáticos” y sus rasgos distintivos son la existencia de biota adaptada a estas condiciones y/o suelos hídricos o sustratos con rasgos de hidromorfismo (Kandus y Minotti, 2018). En 2015, el Sitio Ramsar Delta del Paraná fue designado “Humedal de Importancia Internacional, abarcando unas 243.126 hectáreas (Giacosa et al., 2016).

Los humedales del Delta del Paraná cumplen importantes funciones ecológicas, entre ellas: la reserva, purificación y provisión de agua; la amortiguación de inundaciones; la acumulación y/o exportación de sedimentos, materia orgánica y nutrientes; la transformación y degradación de contaminantes; la regulación de la evapotranspiración y con ello la temperatura local. Sus comunidades vegetales, altamente productivas, secuestran carbono en el suelo y en la biomasa y pueden ser utilizadas como alimento para el ganado. Además, es reservorio de biodiversidad, ya que el río Paraná actúa como corredor biogeográfico, razón por la cual conviven especies de regiones tropicales, subtropicales y templadas, resultando una diversidad ecológica mucho mayor que en zonas terrestres a la misma latitud (Giacosa et al., 2016).

Las actividades productivas que tradicionalmente se realizan en el Delta Superior del Paraná son la ganadería extensiva, la caza, la pesca, la apicultura, la recolección de leña, actividades de turismo, recreación y deporte; mientras que en el Delta Medio prevalece la producción ganadera, y en el Delta Inferior la forestación y sistemas silvopastoriles con Salicáceas. El uso residencial es antiguo pero escaso, con tendencia a intensificarse. A partir de la década de 1990, se produjo una aceleración de los procesos de transformación de las islas, como consecuencia de la expansión del cultivo de soja y la adopción amplia del paquete tecnológico en la Pampa Húmeda, que contribuyó al desplazamiento de la ganadería hacia zonas marginales como el humedal (Aznar et al., 2011). La ganadería es la actividad productiva más extendida abarcando hasta el 90% de la superficie del Delta en algunos sectores (Quintana, 2020). La alta productividad natural de estos ambientes, sumada a un prolongado período de aguas bajas entre 1999 y 2007, condujo a la transformación del tradicional sistema de ganadería extensiva estacional en uno de ocupación permanente. Entre 1997 y 2007, el número de cabezas de ganado en las islas se incrementó, llegando a 1.500.000 (Quintana et al., 2014a).

Los humedales del Delta producen gran cantidad de forrajeras nativas de calidad que pueden ser utilizadas fundamentalmente para el engorde de ganado. Esta producción tiene lugar principalmente en la primavera y el verano, siendo más escasa y de menor calidad en el invierno. En los meses cálidos, coincidentes con el período de aguas bajas (veranada), el ganado es trasladado a las islas para su engorde con vegetación nativa, volviendo al continente en otoño (Quintana et al., 2014b), de modo que existe una relación entre el nivel hidrométrico del río y la superficie disponible para hacer ganadería (Massa, 2016).

Algunos factores que contribuyeron a la intensificación de la ganadería en los territorios de islas son: la proximidad a grandes centros urbanos e industriales a lo largo del río Paraná, y por lo tanto a los centros de comercialización y consumo más importantes; la construcción de grandes obras de infraestructuras que mejoran la accesibilidad y disminuyen los costos de traslado de la hacienda; políticas de arrendamiento de tierras fiscales en el Departamento Victoria, provincia de Entre Ríos; un ciclo climático-hidrológico extenso de aguas bajas, que favorece la productividad y la rentabilidad, facilita el desplazamiento del ganado y reduce los costos de producción; y el bajo valor inmobiliario de las tierras en relación con las tierras

continentales debido a su carácter inundable. Quintana et al., (2014b) establece una caracterización del Delta Superior de la cual se tratarán a continuación tres sectores, a saber:

a) En el Delta Superior la producción ganadera se realiza a cielo abierto. En la zona de las Islas del Departamento Victoria (ZG-2), el SENASA registró en diciembre de 2013 una superficie ganadera de 362.870 ha, 282 establecimientos con una superficie media de 1.286 ha. Aproximadamente el 60% de los productores llevan a cabo su actividad en tierras fiscales y el 40% en privadas. En ambos casos predomina el arrendamiento. Además, otra forma de tenencia es el subarrendamiento de tierras fiscales para pastaje. En la actualidad, se realiza rodeo general, predominando el engorde largo (invernada) y el engorde corto (veranada), mientras que la cría se realiza en baja proporción. En la zona se efectúa pastoreo continuo. El alimento se basa principalmente en pastizales naturales. El ganado se mueve, en promedio, tres veces por año y la mayor parte de los productores utiliza barcos para trasladarlos. En 2013, se registraron 132.298 animales de todas las categorías. En relación con la carga ganadera, la media de la zona es de 0,52 EV/ha y el 50% de los casos tiene entre 0,12 y 0,55 EV/ha<sup>1</sup>.

b) En el sector Islas del Departamento de Diamante y áreas aledañas (ZG-1), el SENASA relevó 177 establecimientos ganaderos con una superficie de total de 104.307 ha y una superficie media de 589 ha. Se observa un cambio de modalidad productiva dada por el reemplazo del engorde de novillos durante la bajante del río, con traslado vía terrestre, por el ciclo completo, con alta frecuencia de movilidad y traslado en barco. En esta área prácticamente no existen tierras fiscales. La zona se caracteriza por la presencia de productores grandes y pequeños. Los primeros pertenecen a familias que históricamente poseían grandes superficies en la zona; los pequeños productores constituyen la mayoría y suelen realizar el ciclo completo. En 2014, se registraron alrededor de 66176 animales, con un valor promedio del rodeo de 373, sin embargo, el stock se concentra en los establecimientos grandes, donde menos del 30% posee el 65% del total de cabezas de ganado. Las cargas rondan de

---

<sup>1</sup> EV (Equivalentes Vaca) hace referencia a la cantidad de animales que tienen el mismo requerimiento promedio anual de alimento que una vaca de 400 kg de peso, que gesta y cría un ternero hasta el destete a los seis meses de edad con 160 kg de peso, incluido el forraje consumido por el ternero.

0,46 a 1,2 EV/ha. En la zona se realiza pastoreo continuo. El alimento se basa principalmente en pastizales naturales. Pocos productores suplementan con heno u otras especies. La quema de pastizales es una práctica habitual.

c) En el Sector No Insular de las Desembocaduras de los Arroyos Nogoyá y Clé y del río Gualeguay (ZG-3), el SENASA registró 108 establecimientos ganaderos, una superficie de 91.777 ha y una superficie media de los establecimientos de 850 ha. El sistema es dinámico y se reacomoda cada año según la oferta del forraje, variando tanto la cantidad de animales como las categorías de manejo. Predominan los propietarios. La zona está poco poblada, los establecimientos son grandes y los que podrían ser considerados pequeños productores en general son los encargados o puesteros de los establecimientos ubicados tanto en los campos bajos como en las islas de los grandes productores. En 2014, se registraron 81.463 animales. Predomina la cría sin la venta de terneros mientras que el engorde lo hace el mismo productor en los campos que normalmente también posee en las islas de las ZG-2 y ZG-5. En relación con la carga ganadera la media de la zona es de 1,04 EV/ha. El forraje proviene en su totalidad de pastizales naturales. Se realiza un movimiento de ganado entre los campos bajos y las islas cuando se producen cambios en la disponibilidad de agua (Quintana et al., 2014b).

Desde mediados de 2019, la región de la Cuenca del Plata ha estado sufriendo condiciones de sequía extrema de carácter excepcional, consideradas por el Instituto Nacional del Agua (INA) como la sequía más severa desde el año 1944 (Borus et al., 2021). Debido a su larga duración e intensidad, ha generado diversos impactos en varios sectores socioeconómicos, a saber: reducción del rendimiento agrícola, interrupciones del suministro de agua, disminución del transporte fluvial, reducción en la producción de energía hidroeléctrica. También ha causado graves efectos en los ecosistemas y la biodiversidad. Esta sequía podría estar asociada a la falta de precipitaciones en la parte superior de la cuenca, lo cual habría provocado el descenso considerable del caudal de los ríos Paraguay y Paraná (Naumann et al., 2022).

En la cuenca del río Paraná, el fuego ha sido utilizado históricamente como práctica de manejo para la eliminación de especies vegetales con bajo valor forrajero (Brinson y Malvárez, 2002). Los cambios de uso del suelo han contribuido a la intensificación de incendios intencionales en las islas, cuyo fin predominante es la quema de

pastizales para remover la biomasa senescente y así promover el rebrote de estructuras vegetativas que serán alimento del ganado vacuno (Della Ceca, 2020). Las obras de infraestructura, como la conexión vial Rosario-Victoria, dieron mayor visibilidad y accesibilidad a la región.

Según el Servicio Nacional de Manejo del Fuego (SNMF), desde enero a septiembre de 2020, la superficie afectada por el fuego en las islas fue de 265.100 hectáreas aproximadamente. La misma fuente indica que el 95% de los incendios forestales y de pastizales a nivel nacional son producidos por intervenciones humanas relacionados con la actividad agropecuaria y, en menor medida, causados por las fogatas e incendios no intencionales.

A nivel local, existen opiniones contrapuestas sobre el origen del fuego. En algunos ámbitos de divulgación, determinados especialistas en temas agropecuarios afirman que la elevada ocurrencia del fuego es consecuencia de procesos naturales (Informe Litoral, 2020) mientras que otros además consideran que hay una práctica tradicional en los productores ganaderos (Aguer, 2020; Selasco, 2021). Desde una perspectiva totalmente diferente, en medios comunicación se sostiene con firmeza que los incendios son intencionales (Hiba, 2021) y tienen evidentes efectos nocivos tanto para la salud de la población (La Capital, 2021) como para el medio ambiente (Universidad Nacional de San Martín, 2020; Lucero, 2020).

Los incendios pueden producir alteraciones graves en el humedal y afectar sus servicios ecosistémicos, causando la pérdida de biomasa, la fragmentación y pérdida de hábitats, la reducción de la biodiversidad y la extinción de especies endémicas de la región (Salvia, 2010). La destrucción de los hábitats afecta intensamente a las especies con menor movilidad; otras escapan del incendio, generando una presión sobre el nuevo ambiente en el que se refugian, pudiendo provocar desequilibrios en el ecosistema. La competencia entre especies se torna mayor, haciendo escasear las fuentes de agua y especies para la alimentación, afectando consecuentemente las redes tróficas del sistema.

El fuego también afecta las propiedades físicas del suelo dado que la eliminación de la cobertura vegetal provoca una mayor exposición del suelo a condiciones climáticas extremas que conduce a un aumento en la tasa de mineralización de la materia

orgánica, resultando en la pérdida de la estabilidad de agregados y de su estructura. En consecuencia, aumenta el escurrimiento superficial, la susceptibilidad a la erosión y a la compactación, y disminuye la capacidad de almacenaje de agua (SNMF, 2020). La quema de la biomasa de las islas tiene como resultado la emisión a la atmósfera de gases trazas, aerosoles atmosféricos y gases de efecto invernadero (GEI), - principalmente dióxido de carbono, metano, óxidos de nitrógeno, compuestos orgánicos volátiles y compuestos azufrados-, que influyen sobre el clima terrestre y el ciclo hidrológico. Las cenizas y partículas producidas son transportadas por el viento y alteran la calidad del aire, afectando la salud de los residentes en áreas urbanas próximas de la provincia de Santa Fe (Gabellini et al., 2020). En algunas ciudades como Rosario y las localidades vecinas de Alvear, Pueblo Esther, Villa Constitución y Fray Luis Beltrán; sus habitantes han manifestado gran preocupación por la situación ambiental (Della Ceca, 2020), derivando en protestas e intervenciones de ambientalistas y un tratamiento continuo del tema en los medios de comunicación.

En respuesta a las preocupaciones y reclamos sociales, en septiembre de 2008, la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación (SAyDS) y las provincias de Entre Ríos, Buenos Aires y Santa Fe, firmaron una Carta de Intención acordando sumar esfuerzos para la elaboración de un “Plan Integral Estratégico para la Conservación y el Aprovechamiento Sostenible de la Región Delta del Paraná” (PIECAS-DP) como una herramienta de ordenamiento ambiental del territorio. A la vez, la Ley N° 26815, de manejo del fuego, promulgada por el Poder Ejecutivo de la Nación el 10 de enero de 2013, establece los presupuestos mínimos de protección ambiental en materia de incendios forestales y rurales en el ámbito del territorio nacional y crea el Sistema Federal de Manejo del Fuego; integrado por el Servicio Nacional de Manejo del Fuego, el Ministerio de Ambiente, y Desarrollo Sustentable, la Administración de Parques Nacionales, las provincias y la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. El Servicio Nacional de Manejo del Fuego tiene como función controlar los incendios en áreas naturales o rurales (Ley N° 26815, 2013). El miércoles 12 de enero de 2022 el Poder Ejecutivo Nacional, por medio del decreto 6/2022, declara la Emergencia Ígnea en todo el territorio de la República Argentina por el plazo de un año, con el fin de adoptar las medidas que resulten necesarias para propiciar y atender con carácter inminente la supresión y el combate de incendios, la restauración de las zonas afectadas y la prevención de nuevos focos (Decreto 6, 2022).

El manejo del fuego posee un costo económico elevado debido a que requiere recursos humanos, vehículos y medios aéreos. En el Delta del Paraná el control del fuego involucra dos aviones hidrantes del SNMF, un avión observador del SNMF, dos helicópteros del Ejército Argentino, brigadistas de Parques Nacionales, brigadistas forestales de Policía Federal Argentina y de la UMRE del Ejército (SNMF, 2020). Según Gabriel Fuks, ex secretario de Articulación Federal de la Seguridad de la Nación, se calculó un gasto de 22 millones de pesos diarios por los operativos realizados entre agosto y septiembre de 2020 (Ortega, 2020).

El régimen histórico de ocurrencia de incendios, la determinación del área quemada y su relación con la actividad ganadera en los ambientes de islas del Paraná son aspectos que no han sido suficientemente estudiados (Sione et al., 2009). La bibliografía específica sobre los incendios en la zona de estudio versa sobre la aplicación de métodos de detección de focos de calor (Della Ceca, 2020); la estimación de dióxido de carbono emitido a la atmósfera (Sione et al., 2009); cartografía de modelos combustibles y análisis de los registros históricos de los focos de calor (Zamboni et al., 2013; Zamboni et al., 2017); la determinación del área quemada (Stamati et al., 2008; Salvia, 2010; Della Ceca, 2020) y de los tipos de coberturas quemadas (Kandus et al., 2008; Salvia, 2010; Tentor, 2015). No obstante, no hay un tratamiento exhaustivo sobre las causas y factores que originan estos incendios. Los estudios realizados en otros países son en su mayoría referidos a zonas forestales. Los que abordan incendios en humedales son escasos, pudiendo destacarse los de Ramsey et al. (2002) y el de Cassidy (2007) en los cuales se emplean herramientas satelitales.

Los humedales de la Región del Delta del Paraná se caracterizan por cubrir una gran extensión, presentar una alta heterogeneidad, poseer una alta fragmentación natural y variabilidad temporal. En consecuencia, una investigación “a campo” presentaría, en este caso, diversas dificultades: el acceso y tránsito (Salvia, 2010), demanda mucho tiempo, tiene costos elevados, y requiere equipos y conocimientos técnicos que no siempre están disponibles (Gaitán, 2002). Estos factores dificultan la obtención de información sobre las variables biogeofísicas, estructurales y funcionales que definen la biodiversidad y ecología de estos ecosistemas (Salvia, 2010). Por esto, las herramientas geotecnológicas que integran a los relevamientos mediante Sensoramiento Remoto o Teledetección resultan una alternativa interesante al

presentar ventajas tales como: abordajes a diferentes escalas espaciales y períodos de tiempo, evaluación de áreas de mayor superficie y sobre todo, la mayor facilidad analítica empleando entornos de Sistemas de Información Geográfica (SIG), que facilitan la elaboración de mapas, y por ende la comunicación de resultados y la toma de decisiones en plazos cortos (Sousa et al., 2017). Estas geotecnologías constituyen importantes y eficaces soluciones técnicas para estudiar los incendios. Son aplicables a los producidos en las islas del Delta del Paraná, tanto durante su ocurrencia, como es el caso de la localización de focos activos de incendio, como así también la evaluación y seguimiento de la superficie afectada posterior al disturbio. Esto posibilita el estudio pormenorizado de los distintos eventos, brindando información sobre motivaciones causales, y sobre las consecuencias e impactos que se generan (Della Ceca, 2020).

## **7.2 Objetivo general**

Analizar la distribución espacial y temporal de los focos de incendios y de la superficie quemada en el Delta Superior del Paraná durante el año 2020, mediante la aplicación de sistemas de información geográfica (SIGs) y herramientas de teledetección.

## **7.3 Objetivos específicos**

1. Caracterizar la distribución espacial de los focos de incendio con respecto a sus patrones de agrupamiento, distancia a asentamientos humanos y a cursos de agua.
2. Describir la distribución temporal de los focos de incendio en cuanto a su periodicidad: semanal, quincenal y mensual.
3. Detectar y cuantificar las superficies afectadas por incendios, que pueden ser coincidentes o no con los focos observados y describir las características de distribución espacial que presentan.
4. Establecer el origen natural y/o antrópico de los incendios en base al análisis estadístico de la ubicación espacial y temporal de los focos; y su grado de relación espacial con estructuras antrópicas.

#### **7.4 Hipótesis**

Los focos de incendios en el Delta Superior del Paraná tienen un patrón determinístico como consecuencia de su origen antrópico, no siendo aleatorios en su distribución.

## 8. MATERIALES Y MÉTODOS

### 8.1 Descripción del área de estudio

El área de estudio está ubicada en los territorios de islas del Paraná, en las provincias de Entre Ríos y Santa Fe (Argentina) con coordenadas centrales 32° 51' 46" S y 60° 06' 22' O (datum WGS84), en el Delta Superior del Paraná clasificado dentro de la ecorregión Delta e Islas del Paraná (Burkart et al.,1999). Su superficie comprende 729041,87 hectáreas, equivalente al 34,1 % del área del PIECAS (Figura 2).

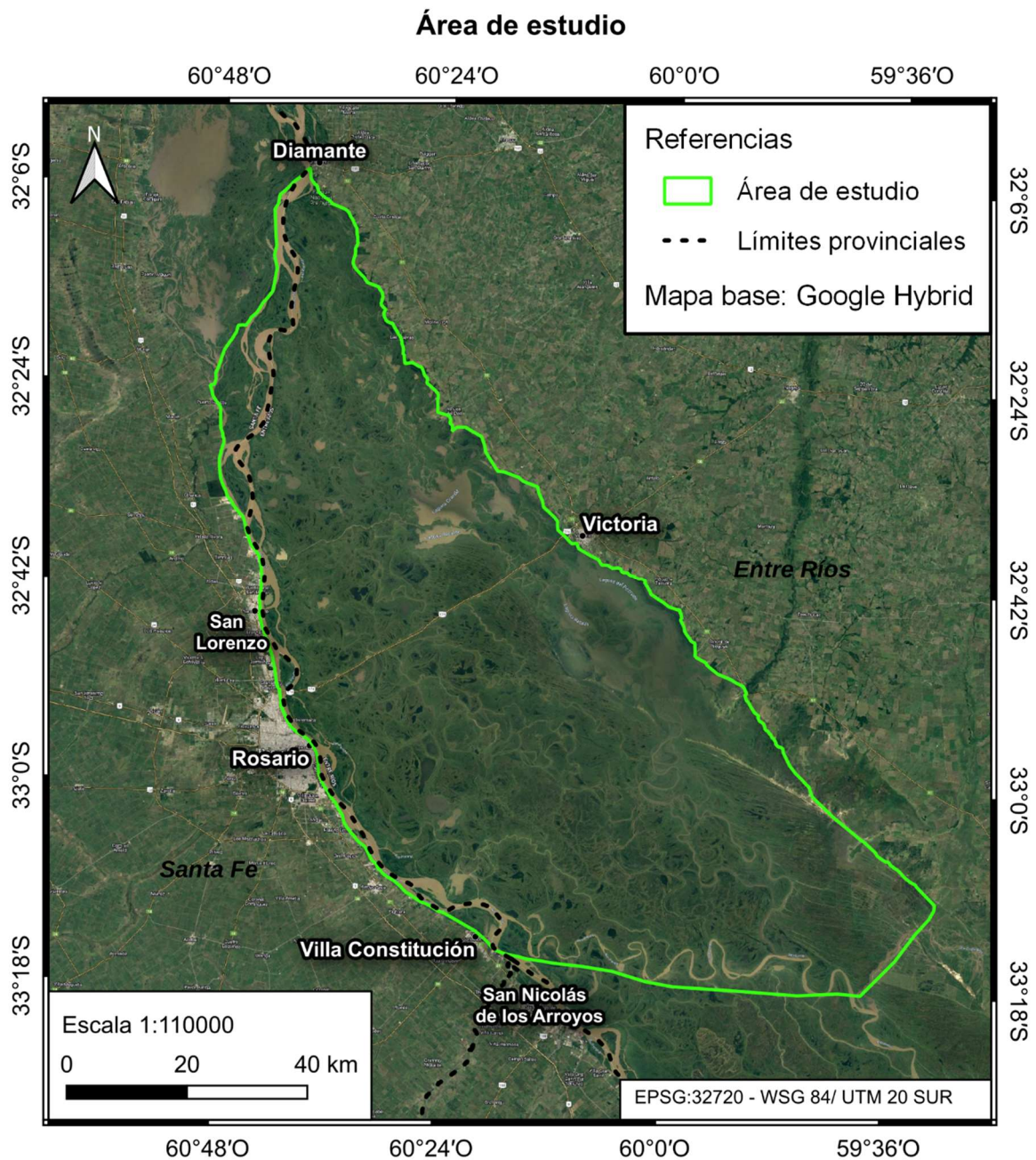


Figura 2. Delimitación del área de estudio realizada con el software QGIS versión 3.18.

En cuanto a su geomorfología, el Delta Superior del Paraná está conformado por depósitos aluviales que forman islas, cuya morfología presenta bordes externos elevados -albardones marginales-, bajos inundables en la zona interna y áreas de transición intermedias -medias lomas- (Sione et al., 2009). El clima es templado y subhúmedo, con una precipitación media anual de 1.000 mm, humedad relativa de 79% y temperaturas medias anuales de 16,7°C a 18°C (Servicio Meteorológico Nacional, 1980). El régimen hidrológico está determinado por las precipitaciones locales, de régimen estacional y por los regímenes de inundación del río Paraná y, en menor medida, del río Gualeguay (Malvárez, 1997). En la planicie de inundación abundan lagunas, madrejones, zanjones y cauces asociados a albardones internos. En cuanto a la vegetación, más del 80% de la superficie de la región está cubierta por formaciones herbáceas: praderas de herbáceas equisetoides (juncales y pirizales), pajonales, pastizales y praderas de herbáceas latifoliadas (plantas acuáticas o emergentes fijas). Los bosques nativos cubren apenas el 4% de la superficie y se desarrollan en sitios de menor inundabilidad o permanencia de agua (Kandus et al., 2011).

Con respecto a la flora, como especies dominantes se pueden mencionar a herbáceas como *Alternanthera philoxeroides* (Mart.) Griseb. (lagunilla), *Polygonum* spp. (catay), *Ludwigia* spp., *Schoenoplectus californicus* (C.A.Mey.) Soják; a otras herbáceas graminiiformes como *Panicum prionitis* Nees (paja de techar), *Paspalum repens* P.J.Bergius (pasto de agua), *Hymenachne pernambucensis* (Spreng.), *Echinochloa helodes* Parodi (pasto laguna), *Hymenachne grumosa* (Nees) Zuloaga (carrizo), *Echinochloa polystachya* (Kunth) Hitchc., *Panicum elephantipes* Nees ex Trin. (canutillo), *Cyperus giganteus* Vahl (pirí), acuáticas como *Pontederia crassipes* Mart., *Pontederia azurea* Sw., *Pontederia cordata* L., *Azolla* spp., *Salvinia* spp., *Lemna* spp. y *Pistia stratiotes* L.; y a especies leñosas como *Salix humboldtiana* Willd. (sauce criollo), *Vachellia caven* (Molina) Seigler & Ebinger (espinillo), *Erythrina crista-galli* L. (seibo), *Celtis iguanaea* (Jacq.) Sarg. (tala), *Tessaria integrifolia* Ruiz & Pav. (aliso) y *Albizia inundata* (Mart.) Barneby & J.W. Grimes (timbó) (Salvia, 2010).

Con relación a la fauna, este territorio se distingue por presentar una elevada diversidad de especies de invertebrados y vertebrados. Se destacan mamíferos como el *Myocastor coypus* Molina (coipo) y el *Hydrochoerus hydrochaeris* L. (carpincho);

reptiles como el *Crocodylus latirostris* Duadin (yacaré) y el *Salvator merianae* Duméril & Bibron (lagarto overo), la *Phrynops hilarii* Duméril & Bibron (tortuga campanita) y la *Hydromedusa tectifera* Cope (tortuga de río); y anfibios como la *Leptodactylus latrans* Steffen (rana criolla). Se presentan numerosas especies de peces como el *Piaractus mesopotamicus* Holmberg (pacú), el *Salminus brasiliensis* Cuvier (dorado), el *Luciopimelodus pati* Valenciennes (patí), y los géneros *Pseudoplatystoma* spp. (surubíes), *Schizodon* spp. y *Leporinus* spp. (bogas). En cuanto a las aves, resaltan el *Cairina moschata* L. (pato criollo), el *Chauna torquata* Oken (chajá), el *Aramus guarauna* L. (carau), la *Chroicocephalus maculipennis* Lichtenstein (gaviota capuchina) y el *Aramides ypecaha* Vieillot (ipacaá) (Bó y Quintana, 2013a).

El área de estudio fue seleccionada teniendo en cuenta su cercanía a los centros urbanos, la disponibilidad de imágenes satelitales y el volumen de procesamiento de los datos. Además, porque la región es de especial interés tanto para la sociedad como para los investigadores debido a que los incendios que allí ocurren generan emisiones que afectan a las poblaciones de los conglomerados urbanos ubicados a orilla del río Paraná, especialmente a los de la provincia de Santa Fe.

## **8.2 Representación gráfica del área de estudio**

La representación gráfica del área de estudio se realizó utilizando el software QGIS Quantum Geographic Information System -versión 3.18.0 "Zürich"-; un Sistema de Información Geográfica (SIG); de software libre y de código abierto que permite diversas prestaciones, entre ellas: la visualización; edición y análisis de información geoespacial; la composición y exportación de mapas; el uso de archivos en formatos ráster y vectoriales; la asociación de bases de datos y la georreferenciación de imágenes. El software se caracteriza por ser de estructura modular, es decir, que puede incorporar "plugins" que extienden sus funcionalidades e integrar herramientas de otros SIGs.

Se seleccionó como Sistema de Referencia de Coordenadas (SRC) del proyecto el EPSG:32720 - WGS 84/UTM zona 20S. Se eligió como mapa base al mapa de Google Hybrid obtenido a partir del complemento Quick Map Service y se cargó el polígono en formato shapefile del área de estudio del Delta Superior del Paraná (Figura 2).

### 8.3 Productos satelitales de focos de calor

La expresión ‘foco de calor’ hace referencia a una anomalía térmica detectada en la superficie terrestre por un sensor remoto (España, 2002), que se diferencia netamente de las más bajas temperaturas de los píxeles de su entorno, y que puede o no corresponder a un incendio. Un incendio puede estar representado por un único foco de calor o una agrupación de los mismos. Debido a que se presentan asociados en un determinado tiempo y espacio es posible interpretar a estos focos de calor como parte de un mismo evento de incendio (Zamboni et al., 2013).

En esta Tesina se utilizaron los productos satelitales de focos de calor derivados del programa Fire Information for Resource Management System (FIRMS) de la NASA, disponibles en forma gratuita en el sitio <https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/>:

1. Productos satelitales de focos de calor generados a partir de las observaciones provenientes del sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), situado en los satélites TERRA (EOS AM-1) y AQUA (EOS PM-1), lanzados por la Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio (NASA) en 1999 y 2002, respectivamente, como parte del programa Earth Observing System (EOS). Este sensor cubre 36 bandas espectrales entre los 620 y 14385 nm con una resolución espacial de 250, 500 y 1000 m. La resolución radiométrica es de 12 bits. El tiempo de revisita de cada uno de los satélites es de 1 día por lo que la resolución temporal varía entre 1 y 2 días. El ancho de barrido es de 2330 km (NASA, s.f.).
2. Productos satelitales de focos de calor obtenidos mediante el sensor VIIRS (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite) ubicado en los satélites Suomi National Polar-orbiting Partnership (Suomi-NPP) y Joint Polar Satellite System-1 (JPSS-1) -conocido como NOAA-20- de la National Oceanic and Atmospheric Administration de los Estados Unidos (NOAA), lanzados en 2011 y 2017, respectivamente. El sensor abarca 22 bandas espectrales entre los 412 y 12010 nm con una resolución espacial de 375 y 750 m. La resolución radiométrica es de 12 bits. El ancho de barrido es de 3060 km (Cao et al., 2017). Cada satélite tiene un tiempo de revisita de 1 a 2 días. La resolución temporal de los productos VIIRS es variable, pudiendo ser de frecuencia diaria, de ocho días, de dieciséis días, mensual, trimestral y anual.

Los datos de focos de calor obtenidos corresponden a todos los detectados en el territorio de la República Argentina durante el año 2020, de modo que fue necesario realizar una selección posterior de aquellos correspondientes al área y periodo analizados. Luego, se representaron los focos sobre el área de estudio. Se usó como cartografía base el producto Google Hybrid. La selección y representación de los focos de calor se realizó mediante el software QGIS Geographic Information System (versión 3.18).

#### **8.4 Análisis de la distribución temporal de los focos de calor**

Una vez obtenidos y representados los productos de focos de calor se contabilizó el número total de focos detectados por los sensores MODIS, VIIRS S-NPP y VIIRS NOAA-20 a lo largo del 2020 en el área de estudio. Posteriormente a partir de la hora y fecha de detección se los agrupó y cuantificó según los siguientes periodos de tiempo: semestre, mes, estación, quincena y semana. Luego, se calculó el porcentaje del total de observaciones que corresponden a cada uno de los valores de focos de calor obtenidos en cada periodo de tiempo, según cada uno de los productos satelitales.

#### **8.5 Análisis de la distribución espacial y patrones de agrupamiento de los focos de calor**

Con relación a los patrones de distribución y de agrupamiento de los focos de calor se analizan a continuación dos aspectos: a) el análisis espacial geoestadístico para verificar su aleatoriedad o no; b) los patrones de agrupamiento, mediante mapas de densidad de los focos de calor.

Con el fin de estudiar la distribución de los incendios en el Delta Superior del río Paraná se realizó un análisis espacial geoestadístico. Se utilizó para ello el entorno de QGIS.

Los procesos puntuales son fenómenos expresados a través de ocurrencias identificadas como puntos localizados en el espacio (Câmara et al., 2004), por lo tanto, la distribución espacial de los incendios, representada mediante los registros de focos de calor, puede ser caracterizada como un proceso puntual (Fuentes Santos et al., 2009).

El patrón de distribución espacial de los incendios está vinculado al origen causal de los mismos. Si este patrón tiene un comportamiento aleatorio, se asocia a un origen natural, como es el caso de los incendios causados por relámpagos, mientras que, si los incendios se distribuyen de manera agrupada, es altamente probable que se trate de una causa antrópica (González Olabarria et al., 2015).

El análisis de aleatoriedad de un proceso puntual se fundamenta en la comparación de la distribución observada con la aleatoriedad espacial completa (CSR, Complete Spatial randomness). La aleatoriedad espacial completa define una situación en la que es igualmente probable que ocurra un evento en cualquier lugar dentro del área de estudio, independientemente de la ubicación de otros eventos. Es decir, los eventos siguen una distribución de probabilidad uniforme a lo largo del área de estudio -proceso Homogéneo de Poisson- (Anselin, 1988, 1999; Cressie, 1993; Fuentes Santos et al., 2009, Olaya, 2014).

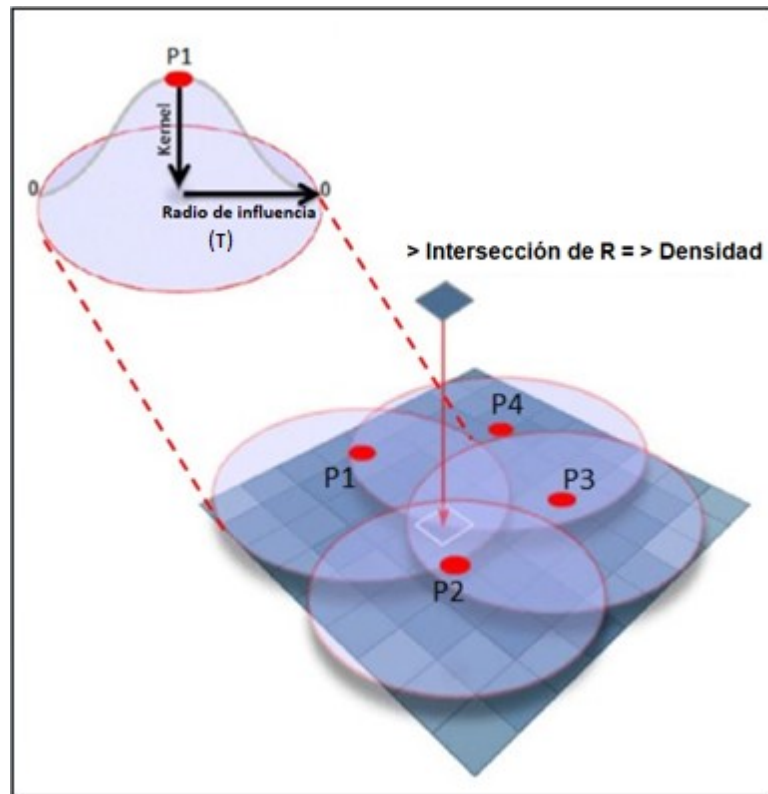
A fin de conocer si los incendios estudiados responden a un patrón de distribución aleatorio o no, se verificó la existencia de diferencias entre la distancia media observada y la distancia media esperada de los focos de calor. Para ello, se realizó un análisis de vecinos más próximos utilizando el software QGIS y los datos de localización de los focos de calor del producto VIIRS S-NPP del 2020. Para obtener la desviación estándar se realizó un análisis de distancia mínima en el sistema de información geográfica System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) (Conrad et al., 2015).

Por otro lado, el comportamiento espacial de un proceso puntual se puede describir estimando la densidad estadística espacial de los datos observados. Un método simple que permite representar y estimar la densidad de puntos de un proceso en una región de estudio es la técnica de estimación Kernel o estimación de densidad de núcleo (Kawamoto, 2012). Las entradas para su aplicación son las ocurrencias de una variable en un área (a través de un sistema de coordenadas). Si  $s$  representa una ubicación cualquiera en el área de análisis  $R$  y  $s_1, s_2, \dots, s_n$  son las ubicaciones de  $n$  eventos observados, entonces un estimador de  $\lambda$  (intensidad o el número de eventos por unidad de área), en  $s$  está dado por:

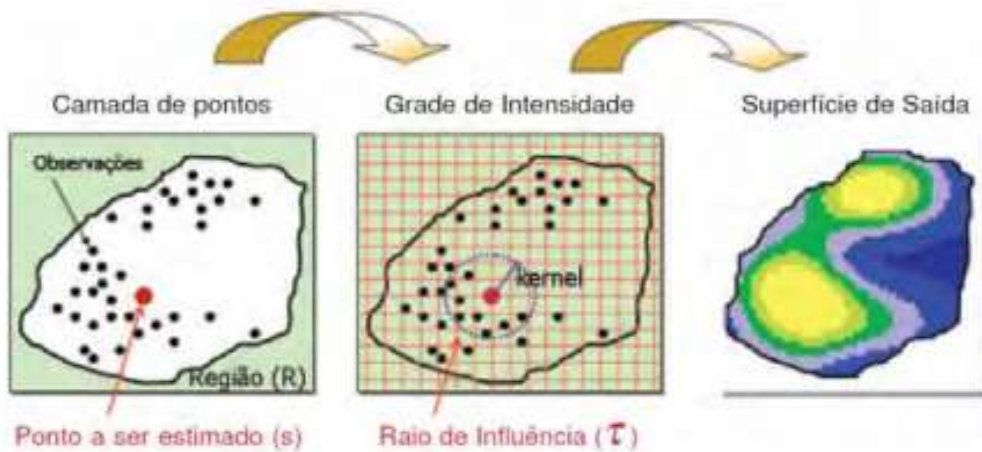
$$\hat{\lambda}_{\tau}(s) = \sum_{i=1}^n \frac{1}{\tau^2} k\left(\frac{s - s_i}{\tau}\right)$$

Donde  $k(\cdot)$  es una función Kernel bivariada y simétrica llamada función de estimación o de suavizado y el parámetro  $\tau > 0$  es el “ancho de banda” (o radio de influencia) y determina el grado de suavización; esencialmente es el radio de un disco centrado en  $s$ , en el que los  $s_i$  contribuirán significativamente para  $\lambda(s)$ . La función de estimación Kernel ejecuta un conteo de los todos los eventos  $s_i$  dentro del radio de influencia  $\tau$ , ponderando cada uno de ellos por la distancia a un punto  $s$ ,  $h_i$  (Kawamoto, 2012).

Esta técnica suaviza la superficie, calculando una densidad para cada región del área de estudio, utilizando interpolación. Esto permite la construcción de una superficie continua de ocurrencia de las variables, infiriendo para toda el área de estudio la variación espacial de la variable, incluso en regiones donde el proceso no generó ninguna ocurrencia real, lo que permite verificar, a escala general, posibles tendencias de datos (Kawamoto, 2012). El resultado es una superficie matricial donde el valor de cada pixel es la suma de los valores de los kernel superpuestos dividida por el área de cada radio de búsqueda, por lo que la densidad es mayor cuando se presenta superposición de radios de influencia de dos o más puntos (Bergamaschi, 2010) (Figuras 3 y 4).



**Figura 3. Superficie matricial.** Fuente: adaptado de Bergamaschi (2010).



**Figura 4. Pasos para el cálculo de intensidad de puntos según la técnica de Kernel.** Fuente: Kawamoto (2012).

En este trabajo se elaboraron, mediante la técnica de Kernel, 7 mapas de densidad de puntos en el espacio correspondientes al total de los focos de calor del producto VIIRS S-NPP del año 2020 y a los periodos bimestrales de: enero-febrero, marzo-abril, mayo-junio, julio-agosto, septiembre-octubre y noviembre-diciembre. Para ello, el total de focos de calor VIIRS S-NPP del año 2020 se subdividió en 6 grupos

bimestrales, se generaron los correspondientes archivos vectoriales y se realizó un conteo del número de focos de calor detectados en cada bimestre.

Posteriormente, los mapas de densidad se construyeron utilizando la herramienta de interpolación de QGIS llamada Mapas de Calor (Estimación de Densidad de Núcleo). Se eligió como parámetros un radio cuyo valor corresponde a la distancia media observada<sup>2</sup>, y un tamaño de pixel de 375m de alto por 375m de largo equivalente a la resolución del sensor VIIRS S-NPP.

Se utilizó una función de estimación Kernel de tipo uniforme la cual pondera de igual manera a todos los puntos dentro de un círculo, cuya ecuación es:

$$K(h) = \frac{1}{2}$$

Con el fin de mejorar la visualización, estos mapas fueron representados utilizando la función de tipo cuartica, tomando como radio 10000 m y una resolución de 1 m.

## **8.6 Detección y cuantificación de las superficies quemadas.**

### **8.6.1 Base de datos de imágenes satelitales ópticas.**

Para la estimación del área quemada se utilizaron imágenes satelitales derivadas de la misión Sentinel-2, del programa Copernicus de la Agencia Espacial Europea (ESA). Esta misión comprende una constelación de dos satélites: el S2A lanzado el 23 de junio de 2015 y el S2B lanzado el 7 de marzo de 2017. Cada uno posee un sensor denominado MultiSpectral Instrument (MSI) que cubre 13 bandas espectrales entre los 443 y 2190 nm con una resolución espacial de 10, 20 o 60 m (Tabla 1). La resolución radiométrica del MSI es de 12 bits y la resolución temporal es de 10 días, duplicándose la frecuencia al estar ambos operativos, pudiendo alcanzar una resolución temporal de 5 días. El ancho de barrido es de 290 km (ESA, 2015).

---

<sup>2</sup> La distancia media observada utilizada para elaborar todos los mapas de densidad es la correspondiente al total de los focos de calor VIIRS S-NPP del 2020, no se modificó el parámetro para cada uno de los mapas bimestrales.

**Tabla 1: Bandas espectrales de las imágenes Sentinel-2 con su respectiva longitud de onda ( $\mu\text{m}$ ) y resolución (m).**

<b>Bandas</b>	<b>Longitud de onda (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>Resolución (m)</b>
Banda 1 – Aerosol	0,43 – 0,45	60
Banda 2 – Azul	0,45 – 0,52	10
Banda 3 – Verde	0,54 – 0,57	10
Banda 4 – Rojo	0,65 – 0,68	10
Banda 5 - Rojo lejano 1	0,69 – 0,71	20
Banda 6 - Rojo lejano 2	0,73 – 0,74	20
Banda 7 - Rojo lejano 3	0,77 – 0,79	20
Banda 8 - Infrarrojo cercano 1	0,78 – 0,90	10
Banda 8A - Infrarrojo cercano 2	0,85 – 0,87	20
Banda 9 - Vapor de agua	0,93 – 0,95	60
Banda 10 – Cirrus	1,36 – 1,39	60
Banda 11 - Infrarrojo de onda corta (SWIR) 1	1,56 – 1,65	20
Banda 12 - Infrarrojo de onda corta (SWIR) 2	2,10 – 2,28	20

Se seleccionaron cuatro días correspondientes al periodo febrero-noviembre del año 2020: 1 de febrero de 2020, 26 de mayo de 2020, 8 de septiembre de 2020 y 22 de noviembre de 2020. La elección de estas fechas está sujeta a la disponibilidad de las imágenes Sentinel 2 y también con el objetivo de que la representación temporal sea regular a lo largo del año 2020.

Para cada uno de los días se descargaron tres imágenes satelitales Sentinel 2 (tabla 2) correspondientes a las teselas T20HQJ, T20HQK y T21HTD que abarcan la escena correspondiente al Delta Superior del Paraná. Para ello se utilizó el complemento Semi-Automatic Classification Plugin (SCP) (Congedo, 2016) incluido en el QGIS.

**Tabla 2: Imágenes Sentinel-2 utilizadas en cada una de las fechas**

Fecha	Imágenes Sentinel-2
1 de febrero de 2020	L2A_T20HQJ_A024088_20200201T140849_2020-02-01
	L2A_T20HQB_A024088_20200201T140849_2020-02-01
	*L2A_T21HTD_A024088_20200201T140849_2020-02-01
26 de mayo de 2020	L2A_T20HQJ_A016824_20200526T140422_2020-05-26
	L2A_T20HQB_A016824_20200526T140422_2020-05-26
	*L2A_T21HTD_A016824_20200526T140422_2020-05-26
8 de septiembre de 2020	L2A_T20HQJ_A027234_20200908T140309_2020-09-08
	L2A_T20HQB_A027234_20200908T140309_2020-09-08
	*L2A_T21HTD_A027234_20200908T140309_2020-09-08
22 de noviembre de 2020	L2A_T20HQJ_A019398_20201122T140052_2020-11-22
	L2A_T20HQB_A019398_20201122T140052_2020-11-22
	*L2A_T21HTD_A019398_20201122T140052_2020-11-22

\*Se re proyectaron las imágenes correspondientes a la tesela T21HTD que tenían el sistema de referencia de coordenadas de origen WGS 84/UTM zona 21S (EPSG:32721) al sistema objetivo WGS84/UTM zona 20S (EPSG:32720).

Las imágenes descargadas son de nivel 2 A, por lo que al momento de su descarga habían sido previamente corregidas atmosféricamente. Por lo tanto, se descartaron las bandas atmosféricas 1, 9 y 10 dedicadas a la detección de nubes y correcciones atmosféricas. Posteriormente cada imagen fue “preprocesada” mediante el complemento SCP de QGIS para su transformación desde imagen de número digital a imagen de valores decimales de reflectancia.

Luego, para cada una de las cuatro fechas elegidas se construyó la “escena” que abarca el área de estudio. Esto se realizó elaborando un mosaico apilado para cada una de las cuatro fechas, donde cada mosaico estaba conformado por tres imágenes Sentinel-2, y a la vez, cada una de las imágenes contenía las 10 bandas espectrales seleccionadas<sup>3</sup>.

<sup>3</sup> Para realizar cada uno de los cuatro mosaicos apilados, primero fue necesario combinar por separado cada una de las 10 bandas espectrales de las 3 imágenes de cada fecha obteniendo así 10 mosaicos por fecha y posteriormente apilar estos 10 mosaicos resultantes.

Finalmente, los cuatro mosaicos apilados se recortaron de forma tal que solo abarquen la superficie del área de estudio, obteniendo de esta manera, cuatro imágenes ráster multicapa finales.

### **8.6.2 Clasificación de coberturas**

Se realizó una clasificación semiautomática de las coberturas presentes en cada una de las cuatro imágenes ráster utilizando el complemento Semi-Automatic Classification Plugin (SCP).

Para ello, se construyeron para cada área de cobertura observada, áreas de entrenamiento con sus respectivas firmas espectrales, definiendo de esta manera las subclases. Éstas se delimitaron a partir de la visualización de las coberturas presentes en las imágenes ráster; utilizando como respaldo imágenes de Google Earth. Para ello, se utilizó la composición de bandas RGB (12-8-2), es decir que la banda del infrarrojo de onda corta (SWIR) se colocó en el canal rojo; la banda del infrarrojo cercano en el canal verde y la banda azul en el canal azul. Esta combinación de bandas permite discriminar las zonas afectadas por incendios. El comportamiento de la vegetación frente a las bandas NIR y SWIR permite diferenciar la vegetación sana de la vegetación quemada. La vegetación sana muestra niveles altos de reflectancia en el NIR (Infrarrojo cercano) y bajos en el SWIR, mientras que en la vegetación afectada por incendios la reflectancia en el NIR es menor y en el SWIR es mayor. Las zonas donde se produjo quema de biomasa se visualizaron en tonos rojizos mientras que las zonas con vegetación sana se observaron en tonos verdosos. Posteriormente, las subclases de cobertura con sus respectivas áreas de entrenamiento fueron agrupadas en para formar las clases de cobertura. Una vez obtenidas todas las áreas de entrenamiento para todas las clases y sus respectivas subclases se ejecutó una clasificación supervisada utilizando el algoritmo “vecino más cercano” del SCP, obteniéndose así, las imágenes ráster correspondientes a las clasificaciones de coberturas que representan cada clase.

### **8.6.3 Cuantificación y mapeo de las superficies quemadas**

Una vez realizadas las clasificaciones de coberturas, se realizó la extracción y cuantificación del área quemada detectada en cada fecha. Luego, se estimó el área quemada total durante el año 2020. El área quemada estimada total del año 2020 hace referencia a la superficie afectada por incendios en relación al total área de estudio, por lo tanto, no se calculó como la suma de los valores de área quemada detectados en cada una de las cuatro fechas individuales sino como la suma de aquellas áreas quemadas “adicionales”. Esto se debe a que una zona que es afectada por incendios y es detectada como quemada en una determinada fecha puede que en una fecha posterior vuelva a ser detectada como tal. Esto puede darse por dos razones: a que el sector no logró recuperarse de la quema anterior o a que el sector volvió a ser quemado. La suma de las áreas quemadas parciales resultaría en una sobreestimación del área afectada.

Sobre la base de las cuatro clasificaciones de cobertura obtenidas se construyeron cuatro imágenes ráster que visualizan el área quemada detectada en cada una de las fechas, con las siguientes denominaciones: “área quemada parcial del 1 febrero”, “área quemada parcial del 26 de mayo”, “área quemada parcial del 8 de septiembre” y “área quemada parcial del 22 de noviembre”. A partir de estas se construyó una nueva imagen ráster que representa el área quemada total durante el año 2020. Estas operaciones se realizaron mediante la calculadora ráster de QGIS. Luego, aplicando el proceso “Informe de valores únicos” de la caja de herramienta de QGIS, se obtuvo el valor de superficie quemada en cada una de las fechas particulares y la superficie quemada total del año 2020.

Posteriormente, se extrajeron aquellas áreas quemadas correspondientes a las fechas del 26 de mayo, del 8 de septiembre y del 22 de noviembre que habían sido detectadas como quemadas por primera vez en su respectiva fecha de observación, es decir, que no habían sido detectadas previamente como quemadas en las fechas anteriores. A estas áreas se las denominó como: “área quemada adicional al 26 de mayo”, “área quemada adicional al 8 de septiembre” y “área quemada adicional al 22 de noviembre”. Se construyeron las correspondientes imágenes ráster y se obtuvieron los valores de superficie de cada una de estas áreas.

También se generaron imágenes ráster que visualizan el área quemada acumulada en cada una de las fechas observadas. Para esto se utilizó la calculadora ráster de QGIS realizando las siguientes operaciones (Tabla 3):

**Tabla 3: Cálculo de las áreas quemadas acumuladas.**

---

(1) “Área quemada acumulada el 1 febrero”	->	<i>Primera estimación</i>
(2) “Área quemada acumulada el 26 de mayo”	=	(1) + “Área quemada adicional al 26 de mayo”
(3) “Área quemada acumulada el 8 de septiembre”	=	(2) + “Área quemada adicional al 8 de septiembre”
(4) “Área quemada acumulada el 22 de noviembre”	=	(3) + “Área quemada adicional al 22 de noviembre”

---

Finalmente, se obtuvo el valor de superficie acumulado para cada una de las fechas, aplicando el proceso “Informe de valores únicos” de la caja de herramienta de QGIS.

El área quemada total durante el año 2020 se estimó teniendo en cuenta aquellas áreas detectadas entre el 1 de febrero y el 22 de noviembre. El área quemada acumulada hasta el 22 de noviembre es equivalente al área quemada total estimada del año 2020. Esto implica que pudo haber incendios ocurridos entre el 1 de enero y el 1 de febrero cuyas áreas no fueron incluidas en el análisis debido a que se recuperaron antes del 1 de febrero. Tampoco se consideraron las áreas que fueron quemadas entre el 22 de noviembre y el 31 de diciembre.

#### **8.6.4 Requema**

Con el fin de estudiar el fenómeno de requema en el área de estudio, se realizó una comparación de la superficie quemada parcial del 1 de febrero con la superficie quemada parcial del 22 de noviembre. Se delimitó el área de requema entre ambas fechas realizando una superposición de las respectivas imágenes ráster de área quemada parcial y a partir de esto se extrajeron los sectores superpuestos. Ambos procesos se realizaron mediante el uso de la Calculadora Ráster de QGIS. Finalmente, se calculó su valor de superficie mediante la función "report". Se repitió este procedimiento comparando la superficie quemada adicional del 26 de mayo con la superficie quemada parcial detectada del 22 de noviembre.

#### **8.6.5 Validación del área quemada**

La validación del área quemada se realizó de manera directa mediante puntos de control en donde se tomó la verdad de campo en el área de estudio analizada. Se seleccionaron dos áreas de muestreo, la primera, en la Isla de los Mástiles (32° 50' 14" S, 60° 40' 34" O), frente a la localidad de Granadero Baigorria (Santa Fe), y la segunda, en un sector ubicado frente a la localidad de Arroyo Seco. Esto último fue realizado en colaboración con investigadores de la Universidad Católica Argentina, sede Rosario. Posteriormente, se comprobó la concordancia entre lo registrado a campo y las áreas clasificadas como quemadas a partir del procesamiento de las imágenes satelitales.

Además, se verificó la correspondencia entre las áreas quemadas obtenidas y la ubicación de los focos de calor registrados por los productos MODIS Collection 6.1, VIIRS S-NPP y VIIRS NOAA-20 entre los 30 días previos y el día de captura de cada una de las imágenes Sentinel-2. Por cada producto, se elaboró un archivo vectorial conteniendo los focos de calor registrados en los siguientes periodos: desde el 2 de enero al 31 de enero; desde el 26 de abril al 25 de mayo; desde el 9 de agosto al 7 de septiembre; y desde el 23 de octubre al 21 de noviembre. Luego, con el fin de representar la extensión de los incendios se convirtieron los focos de calor desde formato de puntos a formato de polígonos. Para ello, se generó el área de cada uno de ellos utilizando la función "Buffer" de QGIS. Para los productos VIIRS S-NPP y VIIRS NOAA-20; cuya resolución espacial es 375 m, se seleccionó un radio de buffer de 187,5 m; mientras que para el producto MODIS Collection 6.1 que posee una

resolución espacial de 1 km, el radio elegido fue de 500 m. Posteriormente, estos vectores de polígonos se interceptaron con las imágenes ráster de las áreas quemadas de cada fecha, elaboradas a partir de datos Sentinel 2 A/B. Para finalizar, se calculó el porcentaje de los focos de calor que coinciden espacialmente con las áreas quemadas obtenidas.

#### **8.6.6 Evaluación del NBR para la determinación de la cobertura quemada**

Las áreas quemadas tienen un comportamiento espectral que permiten diferenciarlas de otras cubiertas. El estudio de estas áreas suele realizarse empleando índices espectrales de diferencia normalizada construidos mediante relaciones algebraicas entre la reflectancia de dos o más bandas espectrales. Para verificar la validez de las áreas de coberturas quemadas obtenidas a partir de la clasificación semiautomática se las comparó con las áreas quemadas obtenidas que resultan de aplicar sobre las cuatro imágenes ráster, el *Índice Normalizado de Área Quemada* -también llamado Normalized Burn Ratio (NBR)- propuesto por Key y Benson (1999), que se calcula con la siguiente ecuación:

$$NBR = \frac{(PIRC - PSWIR)}{(PIRC + PSWIR)}$$

Dónde:  $\rho IRC$  = reflectancia en la banda del infrarrojo cercano;  $\rho SWIR$  = reflectancia en la banda del SWIR (infrarrojo de onda corta o infrarrojo medio).

Ambas bandas responden con mayor contraste al efecto del fuego. La reflectancia en la banda IRC desciende con la desaparición de la vegetación activa y la reflectancia en la banda SWIR aumenta por la pérdida de humedad, mayor exposición del suelo y menores sombras proyectadas por la vegetación (Delegido et al., 2018).

## **8.7 Análisis de la distribución espacial de los focos de calor en relación a sus patrones de agrupamiento según distancias a elementos del paisaje del humedal**

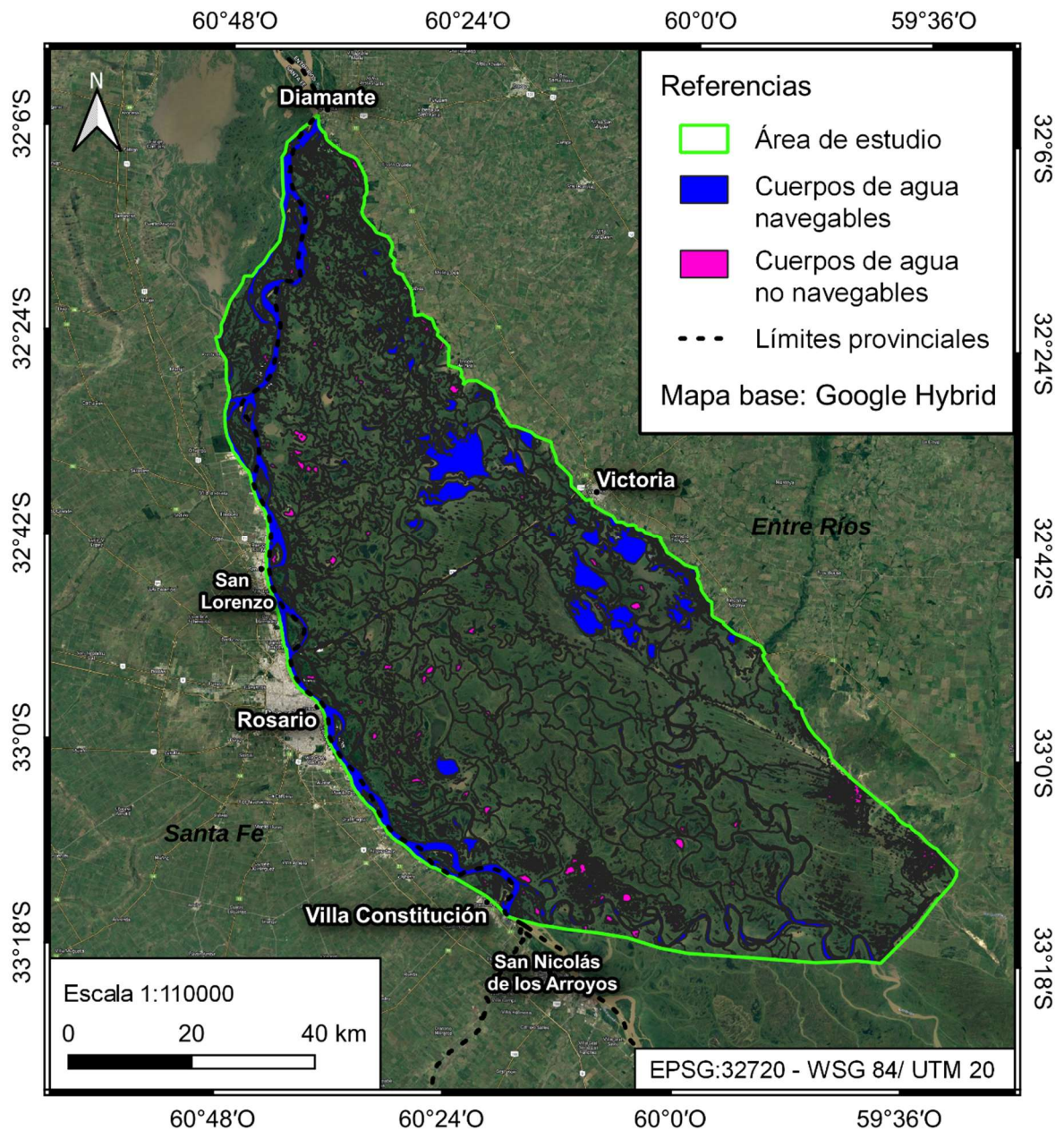
### **8.7.1 Relación espacial entre los focos de calor y los cursos y cuerpos de agua**

Para analizar la existencia de relaciones espaciales entre la localización de los focos de calor y la distancia de estos a los cursos y cuerpos de agua, en primer lugar, se generó un archivo vectorial de estos, correspondientes al área de estudio. Se tomó como referencia la fecha del 8 de septiembre de 2020, momento en que los valores de altura hidrométrica de la Cuenca del Paraná registrados en la estación ubicada en Rosario son mínimos. A partir de la clasificación SCP correspondiente a esta fecha, realizada a partir de imágenes de Sentinel-2, se construyó una imagen en formato ráster representando únicamente los cursos y cuerpos de agua presentes en el área de estudio que luego se convirtió a un formato vectorial. A este conjunto formado por los cursos y cuerpos de agua se los denominó en esta Tesina como “cuerpos de agua”, e incluye todas las masas de agua tanto lenticas como loticas. Las lagunas interiores y otros cursos y cuerpos de agua aislados no fueron consideradas como vías de comunicación –es decir, de circulación de presumibles autores de incendio- por lo que fueron eliminadas del archivo vectorial. Para realizar esto, se construyó una cuadrícula formada por cuadrados numerados de 5 km de alto por 5 km de largo, a partir de la cual se seleccionaron visualmente y separaron los cursos y cuerpos de agua que estaban conectados entre sí de aquellos aislados que no presentaban conectividad con el resto de los elementos. A los primeros se los denominó “cuerpos de agua navegables”<sup>4</sup> y a los últimos se los denominó como “cuerpos de agua no navegables” (Figura 5).

---

<sup>4</sup> La navegabilidad se infiere para embarcaciones de bajo porte.

## Cuerpos de agua



**Figura 5. Cursos y cuerpos de agua.** Delimitación de los cuerpos de agua navegables y no navegables.

Posteriormente, se realizó una zonificación del área contigua a los cursos y cuerpos de agua navegables según la distancia a los mismos, estableciendo como origen la línea de la costa. A partir de ésta, se generaron cuatro áreas buffers: desde los cursos/cuerpos de agua a 400 m, desde 400 a 800 m, desde 800 a 1200 m y áreas ubicadas a distancias superiores a 1200 m. A cada una de estas áreas se les restaron los cuerpos de agua no navegables intersecantes, bajo el supuesto de que en estos no se presentan focos de incendios debido a la presencia de agua. De este modo se

pudo descartar del cálculo de superficie aquella ocupada por agua. Luego, se contabilizó el número de focos de calor VIIRS S-NPP presentes dentro de cada área buffer utilizando la función “Herramientas de Investigación de QGIS – Seleccionar por localización” y para cada área buffer; se calculó la densidad de focos de calor definida como la relación entre el número de focos que contiene y la superficie que abarca.

### ***8.7.2 Relación espacial entre los focos de calor y elementos/estructuras antrópicas***

Se realizó un análisis espacial con el fin de determinar la existencia de relaciones de cercanía entre los focos de calor y los elementos y estructuras antrópicas presentes en el humedal.

En primer lugar, se elaboró un registro de todos los elementos antrópicos presentes en el área de estudio. Esto incluye los asentamientos humanos permanentes o temporarios -edificaciones, viviendas y galpones- e instalaciones ganaderas -corrales, bretes, tanque de agua-. La detección de los elementos se realizó a partir de la observación visual de imágenes de Google Earth en el entorno de QGIS. Para esto, se construyó una grilla de 700 cuadrados de 5 km de lado -de los cuales 335 abarcaban el área de estudio- y luego se realizó de manera secuencial el registro de los elementos (Figura 6).

## Ejemplo de digitalización de los elementos/estructuras antrópicas

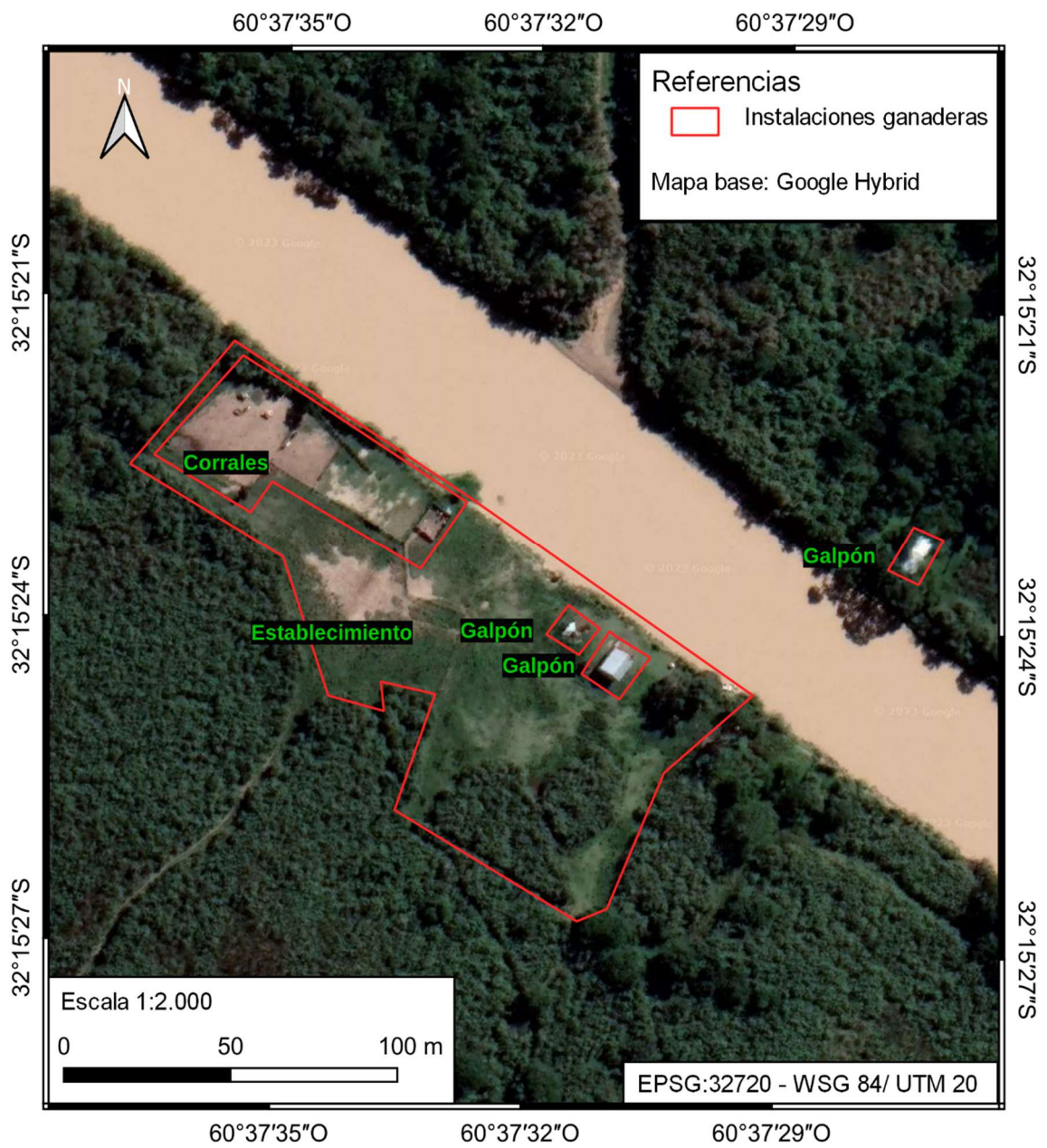


Figura 6: Ejemplo de geolocalización y delimitación digital de los elementos y estructuras antrópicas.

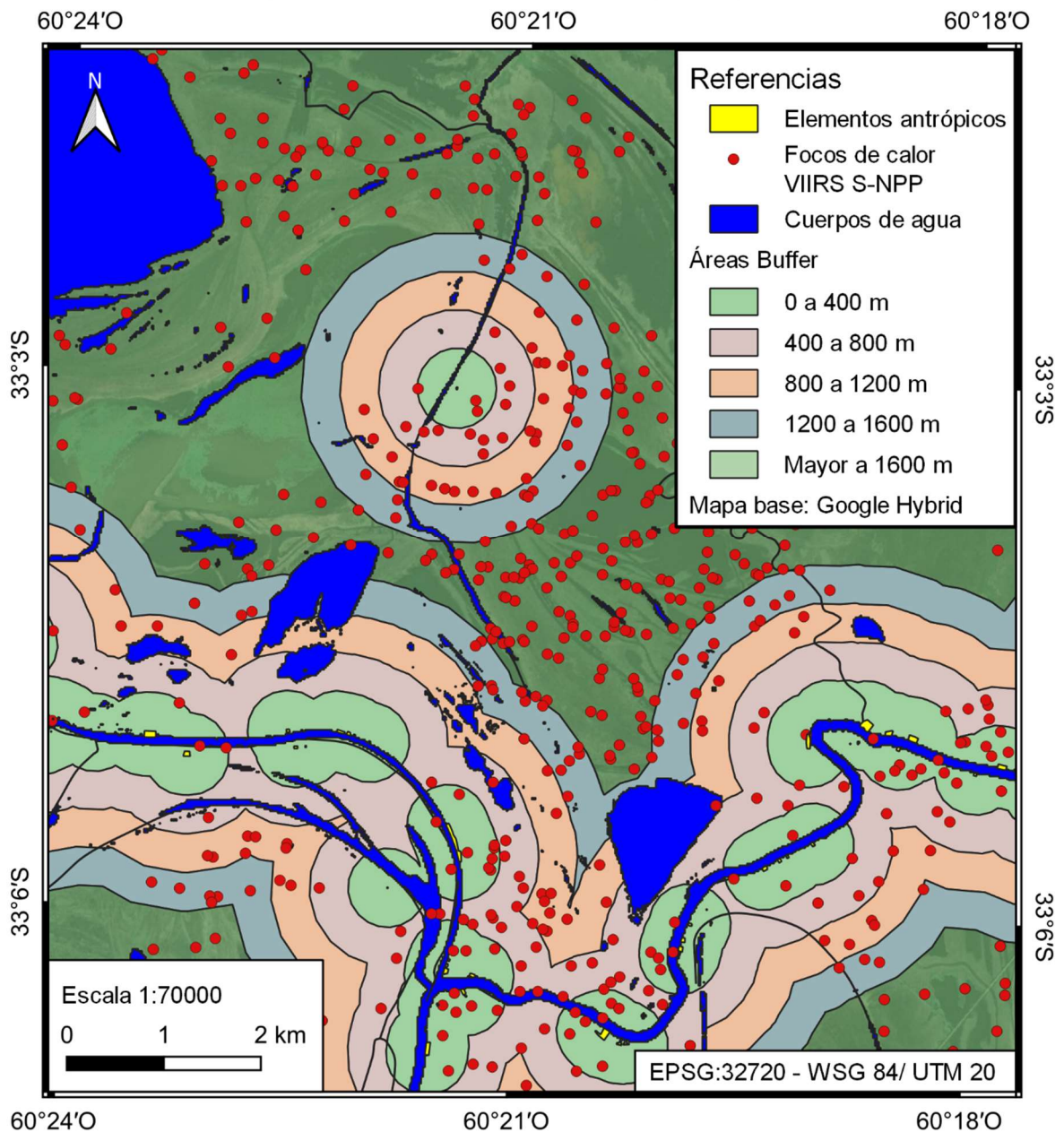
Se generaron tres archivos vectoriales: el primero conteniendo solamente los elementos ganaderos -corrales, bretes, tanques de agua-; el segundo formado únicamente por las estructuras no relacionados con la ganadería -como viviendas, hospedajes, muelles-; y un tercero generado a partir de la ubicación de 728 registros de sitios de vacunación de SENASA ubicados en la zona de estudio<sup>5</sup>.

Para cada uno de los archivos vectoriales se generaron cuatro áreas buffers correspondientes a las áreas que se extienden entre los elementos y 400 m de distancia, entre 400 y 800 m, entre 800 y 1200 m y entre 1200 y 1600 m. Estas áreas buffer se recortaron con el fin de descartar la extensión que quede por fuera del área de análisis; se utilizó la función vectorial de QGIS -Cortar-. Se consideraron los cuerpos de agua que interceptan las áreas buffer generadas. Para esto, a cada una de las áreas se les restó el archivo vectorial del total de los cuerpos de agua utilizando la función vectorial de QGIS -Diferencia- (Figura 7).

---

<sup>5</sup> Los datos de geolocalización de los sitios de vacunación del SENASA poseen una validez parcial debido a los posibles errores en el registro y al habitual traslado del ganado fuera del área de vacunación debido a la ausencia de instalaciones ganaderas.

## Relación espacial entre elementos antrópicos y focos de calor



**Figura 7. Ejemplo de relacionamiento espacial entre elementos/estructuras antrópicas y focos de calor tomando un sector del área estudiada.** Localización de los focos de calor VIIRS S-NPP según las áreas buffer definidas en función de la distancia a los elementos antrópicos.

Además, se calculó el número de focos por unidad de superficie para aquellas áreas externas a los establecimientos ubicadas a una distancia superior a los 1200 m y superior a los 1600 m. Se tuvieron en cuenta los cursos y cuerpos de agua intersecantes -tanto navegables como no navegables-, por lo que ambos fueron restados de cada área exterior.

Se calculó la superficie de cada una de las áreas buffer obtenidas y luego se contabilizó el número de focos de calor VIIRS S-NPP presentes dentro de cada una de ellas utilizando la función de QGIS – Seleccionar por localización. Posteriormente, para cada área se calculó la relación entre el número de focos y la superficie que abarca.

Los valores resultantes también se compararon con los valores de densidad de focos de calor obtenidos para la superficie del área de estudio, de tierra, de tierra más los cuerpos no navegables, de la totalidad cuerpos de agua, de los cuerpos de aguas navegables y de los no navegables.

### **8.7.3 Análisis estadístico**

La proporción de focos por hectárea de cada sector según distancias a cuerpos de agua, estructuras antrópicas o instalaciones ganaderas se analizaron estadísticamente a efectos de corroborar si las diferencias que se presentaron son significativas.

Para esto se recurrió a la prueba Chi-Cuadrado para múltiples proporciones, la cual se realizó en entorno del software estadístico RStudio (función *prop.test*). Las comparaciones se realizaron para un alfa de 0,05 y fueron realizadas tanto de manera múltiples como de a pares.

## **8.8 Relacionamiento causal con otras fuentes de información**

Como consideración final, con el propósito de explicar los resultados cuantitativos obtenidos, se establecieron sus relaciones con las siguientes variables: nivel hidrométrico del río Paraná, precipitaciones y nubosidad. Las variables topografía y viento no fueron tratadas en esta Tesina porque implicarían un análisis de otra escala. Se tuvo en cuenta el proceso de antropización del humedal, para ello se utilizará la información referida al uso ganadero en el Delta del Paraná a partir de los datos de existencias ganaderas de diciembre 2013 provistos por la Dirección Nacional de Sanidad Animal del Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA).

Los resultados serán comparados con los presentados en la primera y segunda parte del Informe de superficies afectadas por incendios en el Delta e Islas del Río Paraná (Territorio PIECAS-DP) del Año 2020 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la Argentina (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la Argentina, 2020, 2021) y con otros estudios existentes. Mientras en el primero se calculó el área quemada, en el trabajo de Zamboni et al. (2013) se analizaron los focos de calor, en esta Tesina se utilizan ambos criterios en un área más acotada, como más adelante se verá, dentro de la que esas investigaciones tomaron.

## 9. RESULTADOS

### 9.1 Distribución temporal de los focos de calor

En el año 2020 en el área de estudio se detectaron: 4663 focos de calor correspondientes al sensor MODIS, 22582 focos correspondientes al sensor VIIRS S-NPP y 21303 focos correspondientes al sensor VIIRS NOAA – 20 (Figuras 8, 9 y 10).

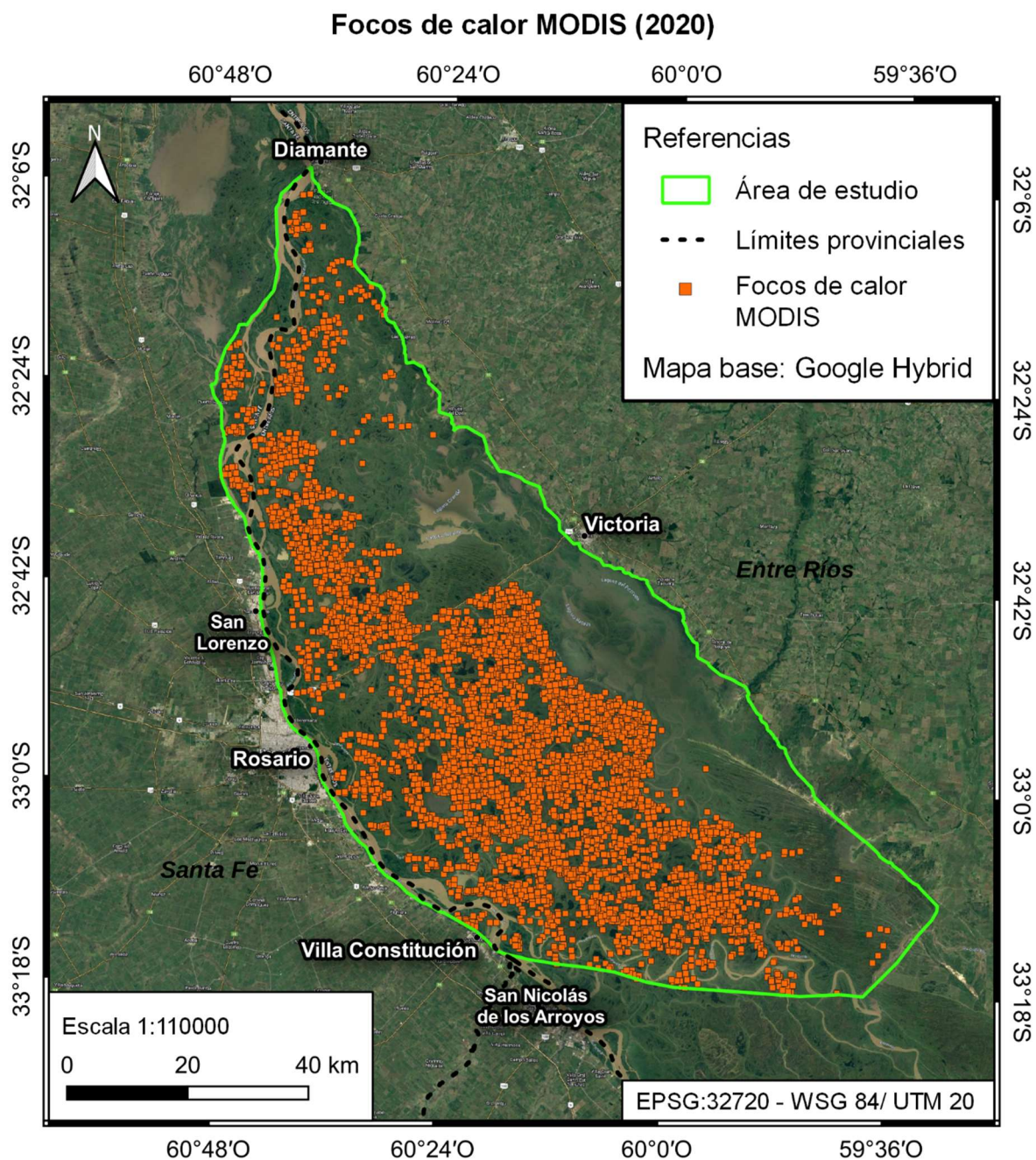


Figura 8. Focos de calor MODIS registrados durante el 2020.

### Focos de calor VIIRS S-NPP (2020)

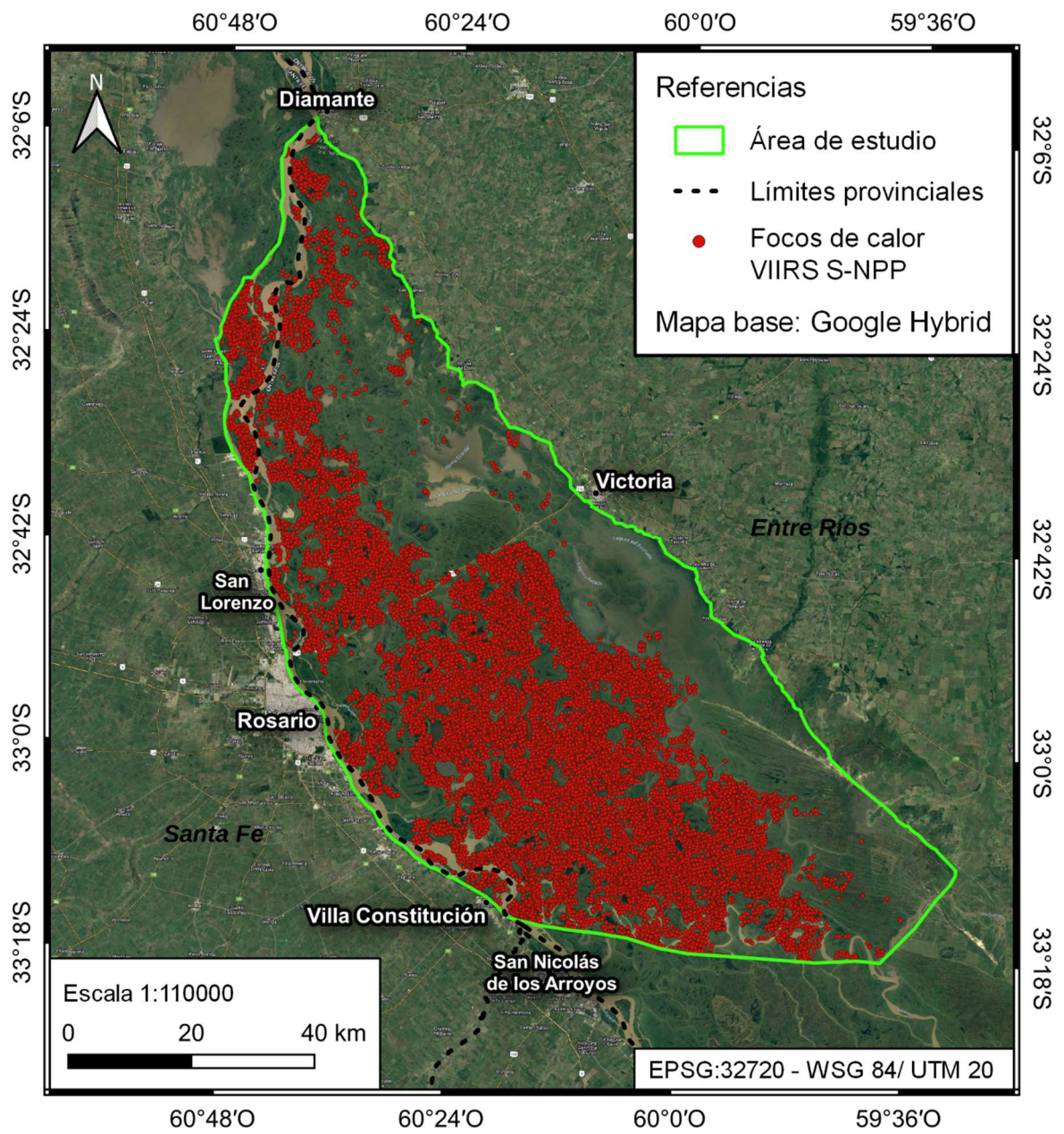


Figura 9. Focos de calor VIIRS S-NPP registrados durante el 2020.

### Focos de calor VIIRS NOAA-20 (2020)

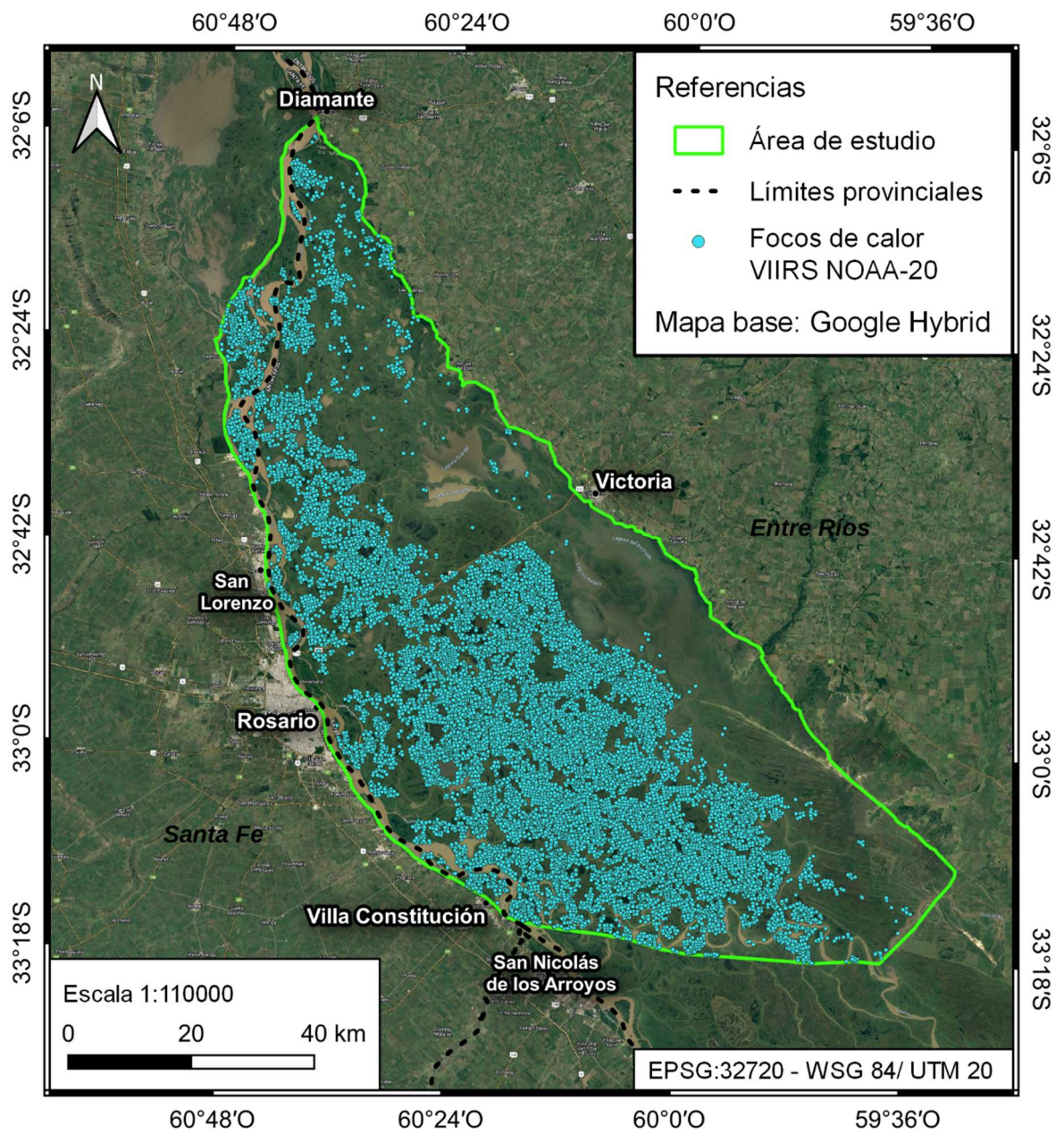


Figura 10. Focos de calor VIIRS NOAA-20 registrados durante el 2020.

La cantidad de focos de calor detectada no fue regular a lo largo del año 2020. Para los tres sensores, el número de focos de calor detectados durante el primer semestre es claramente menor a los detectados durante la segunda mitad del año. El 90,80%; el 88,20% y el 87,71% de los focos MODIS, VIIRS S-NPP y VIIRS NOAA-20 respectivamente, se registraron durante el periodo comprendido entre el 1 de julio y el 31 de diciembre -la segunda mitad del año 2020- (Tabla 4).

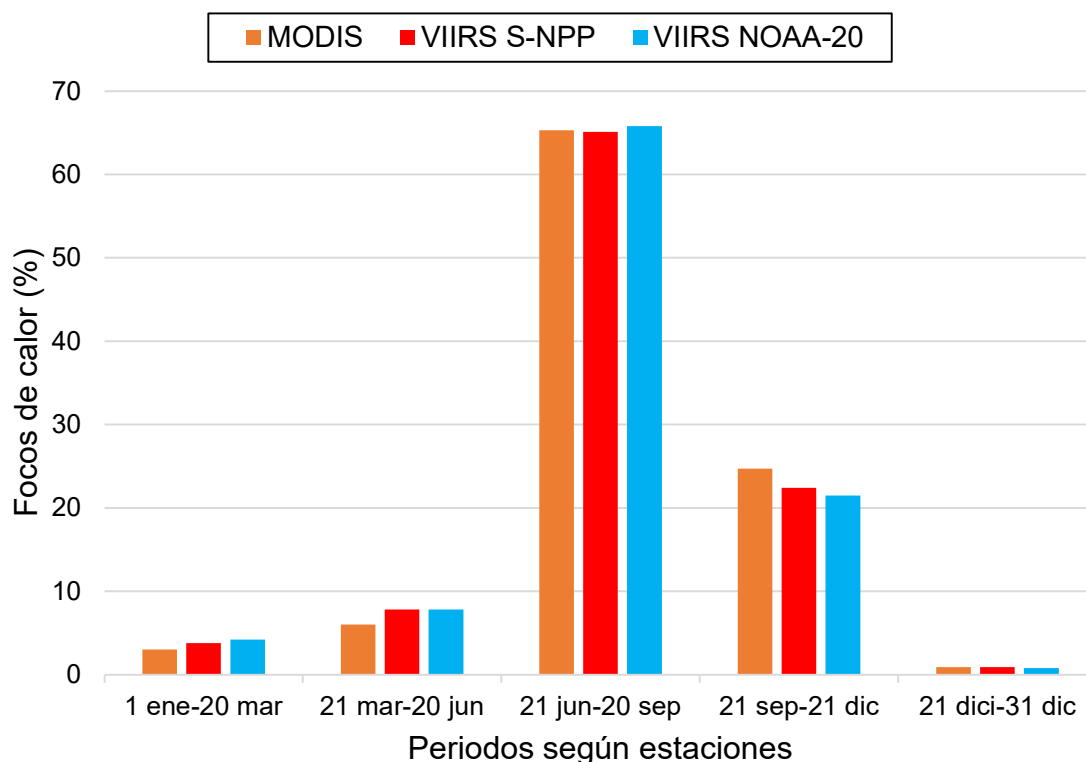
**Tabla 4: Número y porcentaje de focos de calor según producto por semestre.**

Semestre	MODIS		VIIRS S-NPP		VIIRS NOAA-20	
	Número	Porcentaje	Número	Porcentaje	Número	Porcentaje
<b>1 de enero al 30 de junio</b>	429	9,20%	2665	11,80%	2619	12,30%
<b>1 de julio al 31 de diciembre</b>	4234	90,80%	19917	88,20%	18684	87,71%
<b>Total</b>	<b>4663</b>	<b>100%</b>	<b>22582</b>	<b>100%</b>	<b>21303</b>	<b>100%</b>

También se observaron diferencias en el número de registros para las diferentes estaciones del año. La aparición de los focos de calor se concentra principalmente durante el invierno, con el 65,34% de los focos MODIS, el 65,14% de los focos VIIRS S-NPP y el 65,79% de los focos VIIRS NOAA-20. La primavera fue la segunda estación con mayor concentración con el 24,73%, el 22,44% y el 21,47% respectivamente, periodo en el cual el número de detecciones comienza a decrecer gradualmente. El número de focos detectados durante el verano y el otoño es bajo en relación al total (Tabla 5 y Figura 11).

**Tabla 5: Número y porcentaje de focos de calor según producto por estación.**

Estación	Periodo	MODIS		VIIRS S-NPP		VIIRS NOAA-20	
		Número	Porcentaje	Número	Porcentaje	Número	Porcentaje
<b>Verano</b>	(1 de enero al 20 de marzo)	138	2,96%	865	3,83%	891	4,18%
	(21 de diciembre al 31 de diciembre)	44	0,94%	192	0,85%	162	0,76%
<b>Otoño</b>	(21 de marzo al 20 de junio)	281	6,03%	1756	7,78%	1661	7,80%
<b>Invierno</b>	(21 de junio al 20 de septiembre)	3047	65,34%	14711	65,15%	14015	65,79%
<b>Primavera</b>	(21 de septiembre al 21 de diciembre)	1153	24,73%	5067	22,44%	4574	21,47%
<b>Total</b>		<b>4663</b>	<b>100%</b>	<b>22582</b>	<b>100%</b>	<b>21303</b>	<b>100%</b>

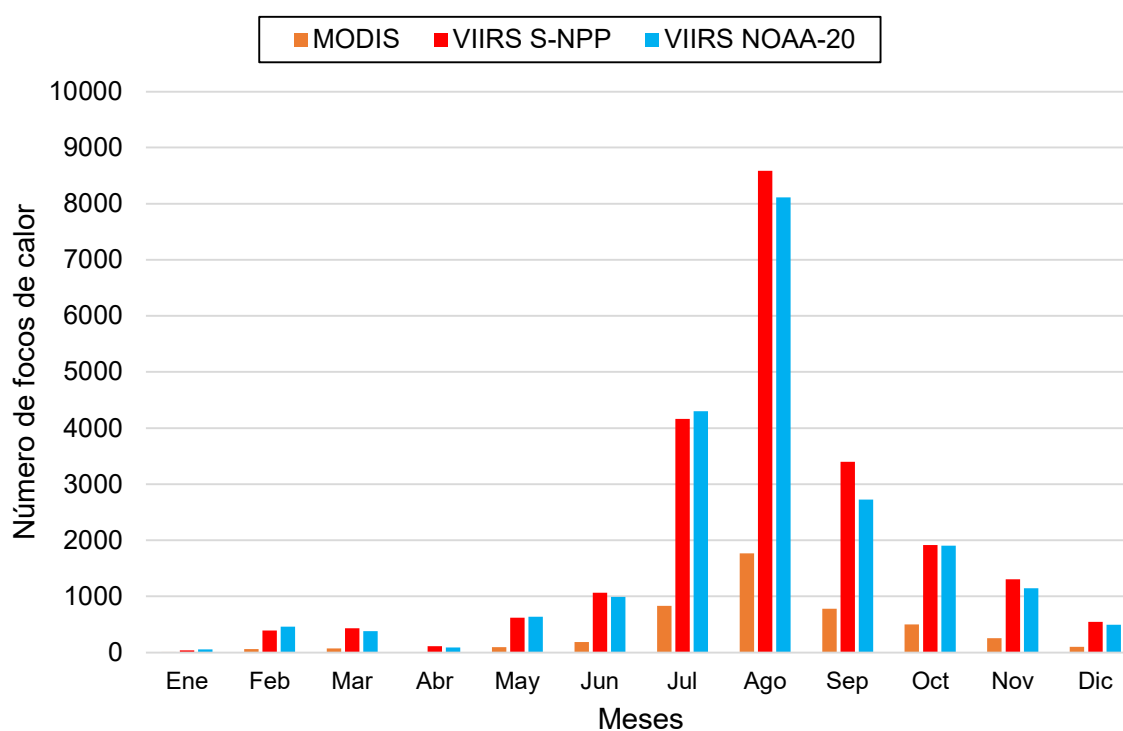


**Figura 11. Porcentaje de focos de calor por periodo estacional.**

En el desagregado mensual, los meses que presentaron mayor cantidad de focos de calor fueron julio, agosto y septiembre. Agosto fue el mes en el que los tres sensores detectaron mayor número de focos; 1768 para MODIS, 8587 para el sensor VIIRS S-NPP y 8111 para VIIRS NOAA-20, superando ampliamente los valores registrados en los otros meses. El segundo mes con mayor registro de focos fue julio con 831 para MODIS, 4164 para VIIRS S-NPP y 4299 para VIIRS NOAA-20. En septiembre comenzó a disminuir la cantidad de focos de calor detectados, siendo 778 para MODIS, 3402 para VIIRS S-NPP y 2728 para VIIRS NOAA-20 (Tabla 6 y Figura 12).

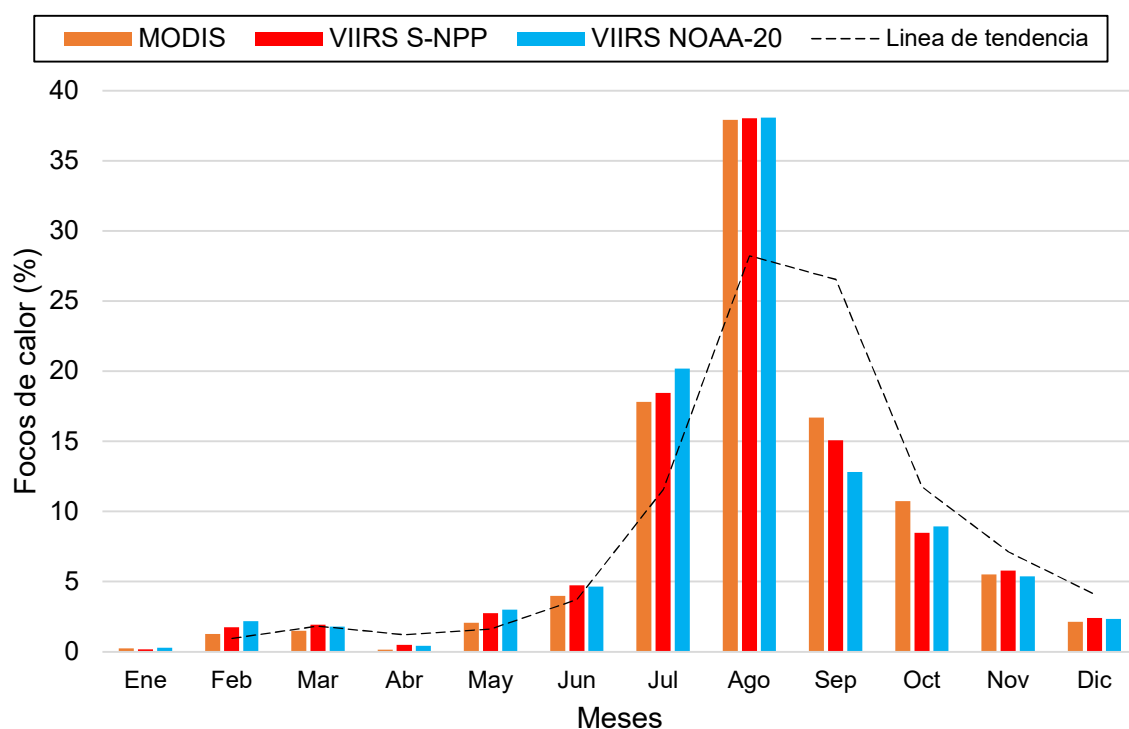
**Tabla 6: Número y porcentaje de focos de calor según producto por mes.**

Mes	MODIS		VIIRS S-NPP		VIIRS NOAA-20	
	Número	Porcentaje	Número	Porcentaje	Número	Porcentaje
<b>Enero</b>	11	0,24%	40	0,18%	58	0,27%
<b>Febrero</b>	59	1,27%	391	1,73%	462	2,17%
<b>Marzo</b>	70	1,50%	435	1,93%	381	1,79%
<b>Abril</b>	7	0,15%	112	0,50%	89	0,42%
<b>Mayo</b>	96	2,06%	621	2,75%	639	3,00%
<b>Junio</b>	186	3,99%	1066	4,72%	990	4,65%
<b>Julio</b>	831	17,82%	4164	18,44%	4299	20,18%
<b>Agosto</b>	1768	37,92%	8587	38,03%	8111	38,07%
<b>Septiembre</b>	778	16,69%	3402	15,07%	2728	12,81%
<b>Octubre</b>	501	10,74%	1913	8,47%	1904	8,94%
<b>Noviembre</b>	257	5,51%	1307	5,79%	1146	5,38%
<b>Diciembre</b>	99	2,12%	544	2,41%	496	2,33%
<b>Total</b>	<b>4663</b>	<b>100%</b>	<b>22582</b>	<b>100%</b>	<b>21303</b>	<b>100%</b>



**Figura 12. Focos de calor por mes por producto satelital.**

Desde el mes de enero al mes de mayo los focos se mantuvieron bajos en relación al total. A partir de junio, el número de registros comenzó a aumentar llegando a su pico máximo durante el mes de agosto, decreciendo abruptamente durante septiembre, y luego paulatinamente hasta el mes de diciembre. El mes de agosto concentró el 37,92%; el 38,03% y el 38,07% de los focos según cada uno de los tres sensores, mientras que en el mes de enero presenta la menor proporción de detecciones con el 0,24%, 0,18% y 0,27% de los focos, respectivamente (Tabla 6 y Figura 13).



**Figura 13. Porcentaje de focos de calor por mes en relación al total de los focos detectados según cada producto satelital.**

Se destaca que durante la primera quincena de septiembre (desde 1 de septiembre al 16 de septiembre) se observa una caída drástica en la cantidad de focos de calor detectados con relación a los valores que se presentaron en agosto. No obstante, a partir de la segunda quincena de septiembre el número de focos se incrementa y vuelve a presentar valores que coinciden con la tendencia decreciente inicial. Durante la última semana de febrero y la primera de marzo también se produce un breve aumento en el registro de los focos en relación al número detectado en los dos meses previos y posteriores. Una disminución de los registros fuera de la tendencia también se observa en la quincena iniciada el 16 de junio y en la semana del 19 de julio (Tabla 7 y Figura 14). Como se verá posteriormente en la discusión, la disminución podría deberse a la nubosidad, precipitaciones o factores antrópicos.

**Tabla 7: Número y porcentaje de focos de calor según producto por quincena.**

Quincena	MODIS		VIIRS S-NPP		VIIRS NOAA-20	
	Número	Porcentaje	Número	Porcentaje	Número	Porcentaje
<b>1/1/2020</b>	5	0,11%	25	0,11%	33	0,16%
<b>16/1/2020</b>	6	0,13%	15	0,07%	25	0,12%
<b>1/2/2020</b>	17	0,37%	96	0,43%	146	0,69%
<b>16/2/2020</b>	42	0,90%	295	1,31%	316	1,48%
<b>1/3/2020</b>	68	1,46%	421	1,86%	371	1,74%
<b>16/3/2020</b>	2	0,04%	14	0,06%	10	0,05%
<b>1/4/2020</b>	1	0,02%	26	0,12%	31	0,15%
<b>16/4/2020</b>	6	0,13%	86	0,38%	58	0,27%
<b>1/5/2020</b>	25	0,54%	164	0,73%	183	0,86%
<b>16/5/2020</b>	71	1,52%	457	2,02%	456	2,14%
<b>1/6/2020</b>	131	2,81%	761	3,37%	654	3,07%
<b>16/6/2020</b>	55	1,18%	305	1,35%	336	1,58%
<b>1/7/2020</b>	257	5,51%	1164	5,16%	1232	5,78%
<b>16/7/2020</b>	574	12,31%	3000	13,29%	3067	14,40%
<b>1/8/2020</b>	790	16,94%	3501	15,50%	3694	17,34%
<b>16/8/2020</b>	978	20,97%	5086	22,52%	4417	20,73%
<b>1/9/2020</b>	122	2,62%	558	2,47%	500	2,35%
<b>16/9/2020</b>	656	14,07%	2844	12,59%	2228	10,46%
<b>1/10/2020</b>	332	7,12%	1284	5,69%	1188	5,58%
<b>16/10/2020</b>	169	3,62%	629	2,79%	716	3,36%
<b>1/11/2020</b>	120	2,57%	651	2,88%	624	2,93%
<b>16/11/2020</b>	137	2,94%	656	2,91%	522	2,45%
<b>1/12/2020</b>	45	0,97%	269	1,19%	251	1,19%
<b>16/12/2020</b>	54	0,11%	275	1,22%	245	1,15%
<b>Total</b>	<b>4663</b>	<b>100%</b>	<b>22582</b>	<b>100%</b>	<b>21303</b>	<b>100%</b>

Observación: ver en el Anexo la Tabla 17 y la Figura 49, correspondientes a periodos semanales.

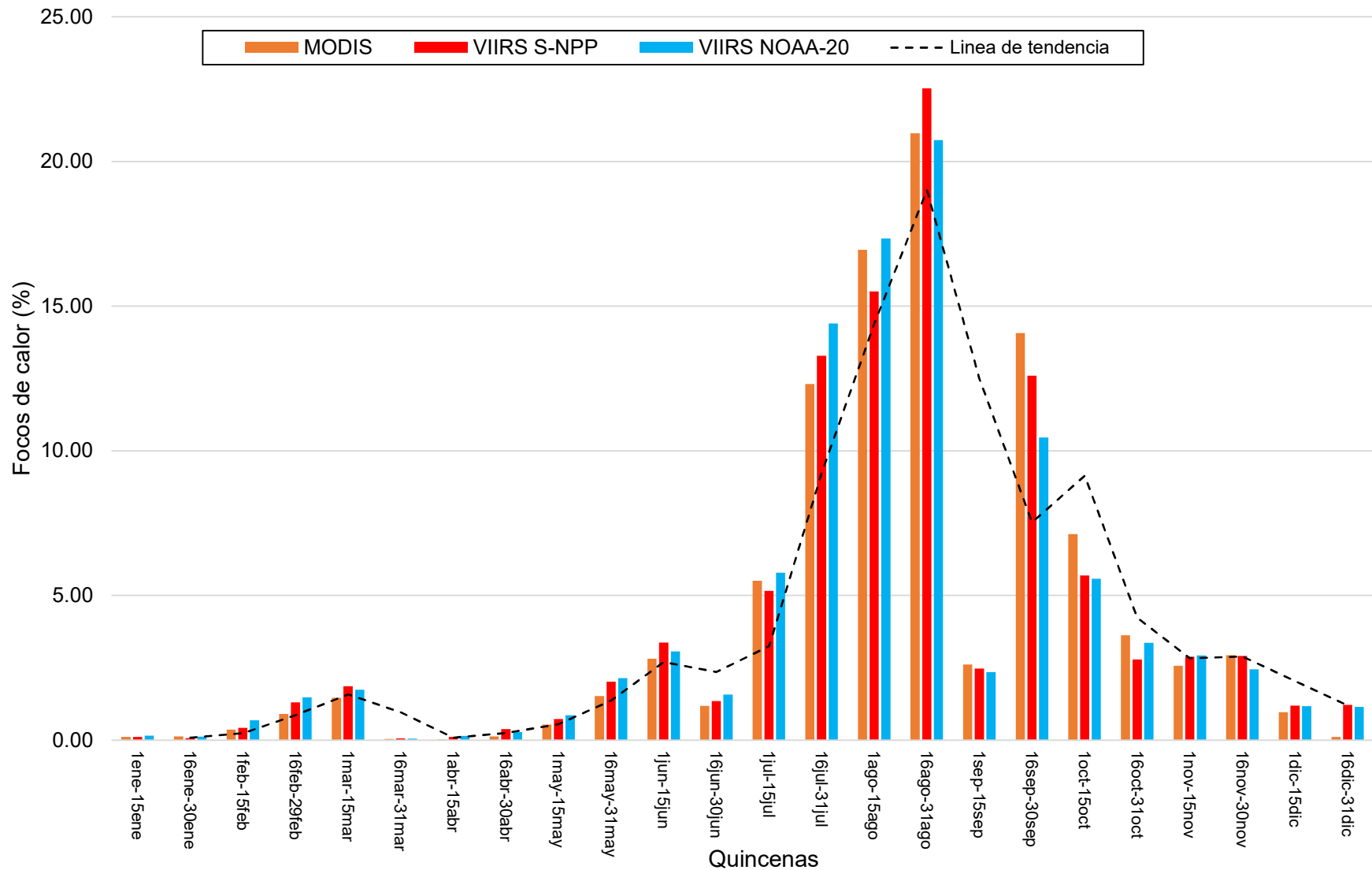


Figura 14. Porcentaje de focos de calor por quincenas según producto.

## 9.2 Distribución espacial y patrones de agrupamiento de los focos de calor

El análisis de vecinos más próximos dio como resultado que la distancia media observada entre los focos de calor analizados es de 204,067 m frente a una distancia media esperada de 405,973 m en situación de aleatoriedad plena. El Índice de vecino más cercano resultante fue de 0,5027, indicando agrupamiento en el patrón de distribución. El valor de Z-Score fue de -142,9921. Un Z-Score bajo significa una probabilidad baja de que los datos sean el resultado de un proceso espacialmente aleatorio.

En coincidencia, el análisis en SAGA obtuvo una distancia media observada de 204,148 m, con una distancia mínima de 0,373 m, una distancia máxima de 5655,745 m y una desviación estándar de 149,740 m.

En cuanto a los patrones de agrupamiento, se observaron diferencias en el número de focos de calor VIIRS S-NPP detectados en los correspondientes periodos bimestrales de: enero-febrero, marzo-abril, mayo-junio, julio-agosto, septiembre-octubre y noviembre-diciembre, siendo el bimestre julio-agosto el que presenta la mayor cantidad, seguido por el de septiembre-octubre (Tabla 8).

**Tabla 8: Número de focos de calor VIIRS S-NPP por bimestre.**

Bimestre	Focos de calor VIIRS S-NPP
Enero-febrero	431
Marzo-abril	547
Mayo-junio	1678
Julio-agosto	12751
Septiembre-octubre	5315
Noviembre-diciembre	1856

Los mapas de densidad de focos de calor realizados para el total del año 2020 indican que los focos de calor no se distribuyen de manera homogénea en el área de análisis. La mayor concentración de los focos se observa en el sector central y en los sectores oeste y suroeste del Delta Superior, mientras que la densidad es baja en las regiones este y norte (Figuras 15 y 16).

Además, los mapas bimestrales muestran que las zonas donde se detectaron los focos de calor varían considerablemente a lo largo del año. Los bimestres julio-agosto y septiembre-octubre fueron aquellos en donde la densidad de focos de calor fue mayor (Figuras 17, 18, y en Anexo Figuras, 50, 51, 52, 53, 54 y 55).

### Mapa de densidad de focos de calor: Total año 2020

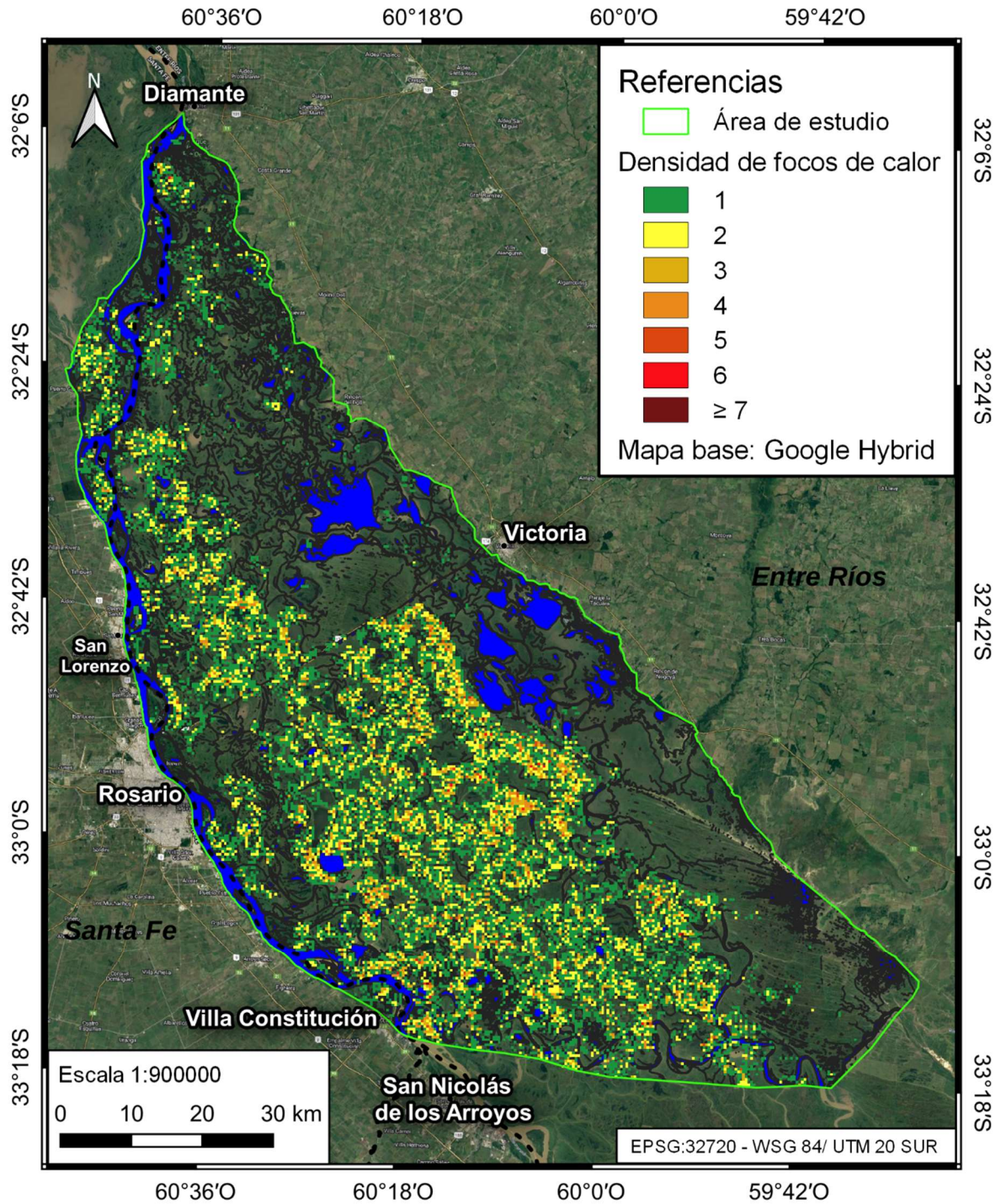


Figura 15. Mapa de densidad de focos de calor (uniforme) para el total del año 2020.

## Mapa de densidad de focos de calor (cuartico) - Total año 2020

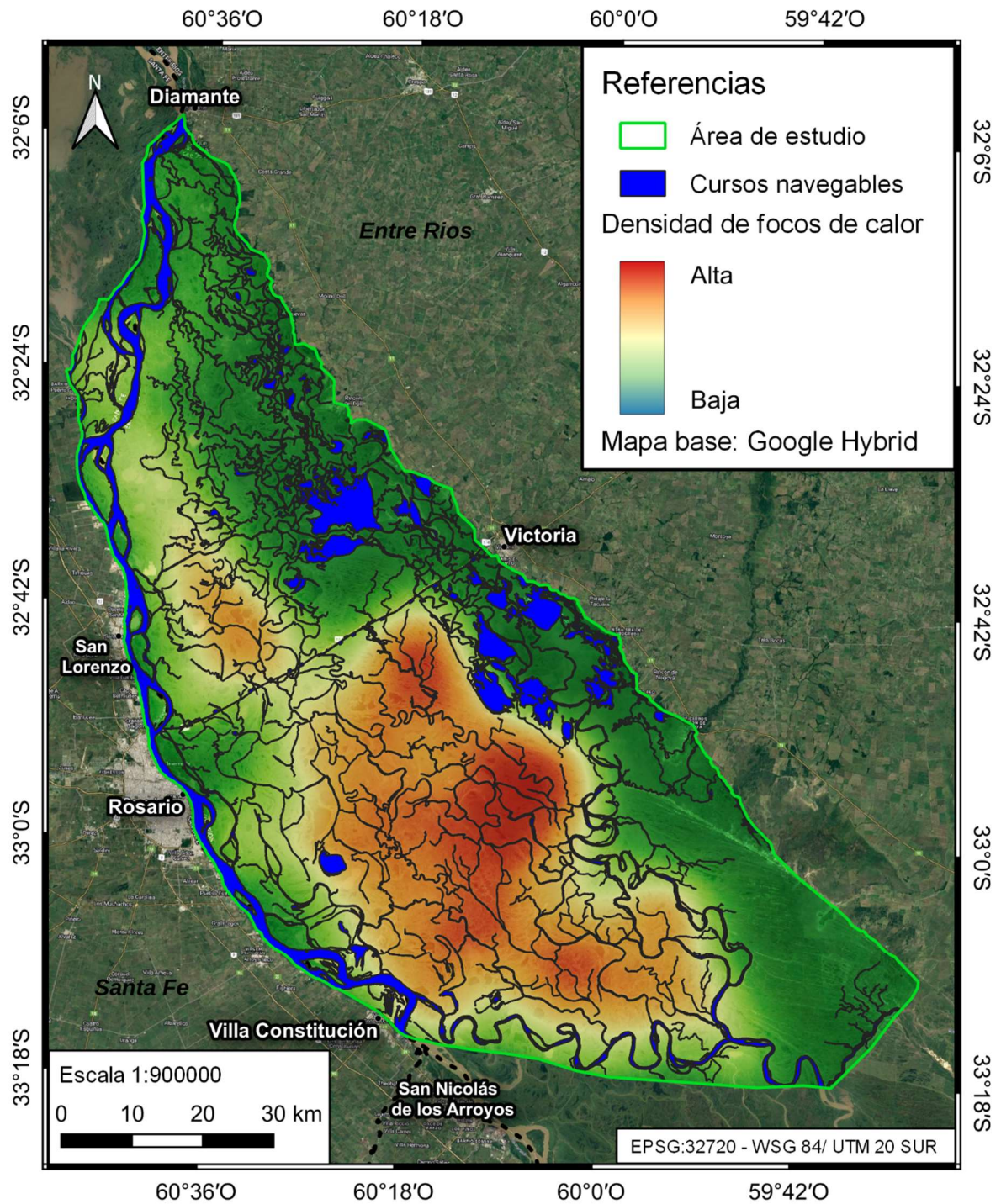


Figura 16. Mapa de densidad de focos de calor (cuartico) para el total del año 2020.

## Mapa de densidad de focos de calor: julio-agosto de 2020

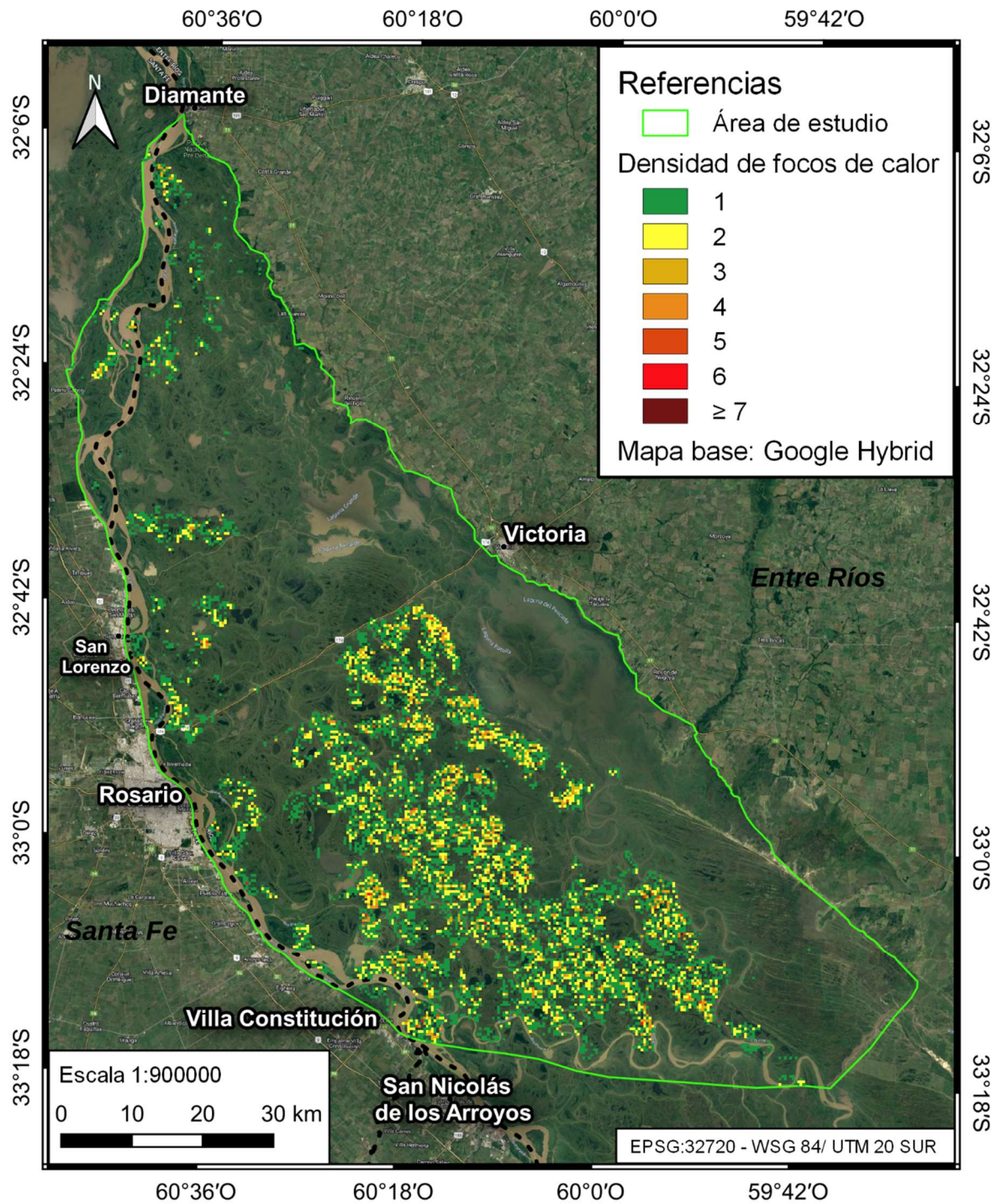


Figura 17. Mapa de densidad de focos de calor (uniforme) para el bimestre julio-agosto del año 2020.

## Mapa de densidad de focos de calor: septiembre-octubre de 2020

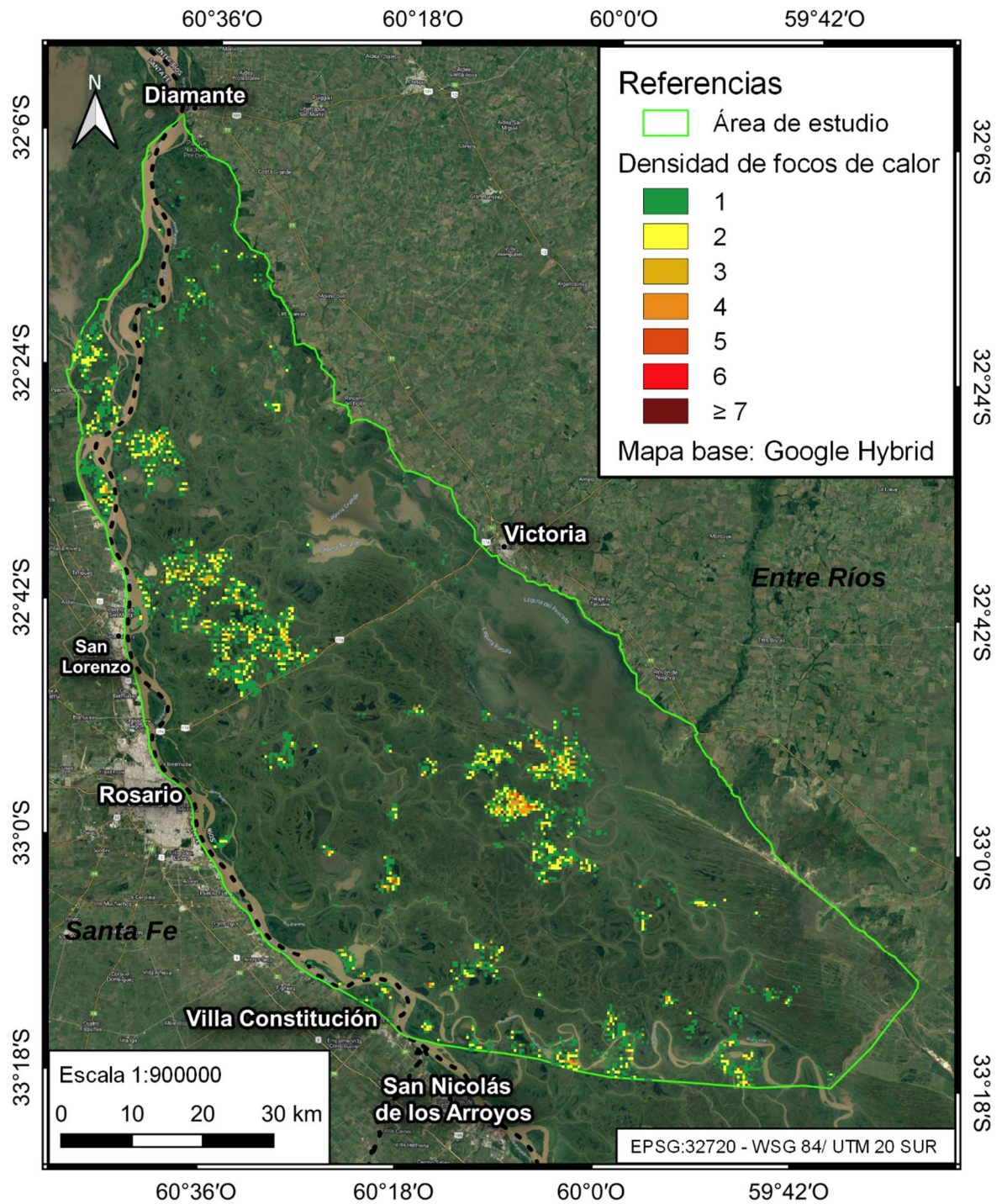


Figura 18. Mapa de densidad de focos de calor (uniforme) para el bimestre septiembre-octubre del año 2020.

### 9.3 Detección y cuantificación de las superficies quemadas.

#### 9.3.1 Clasificaciones de cobertura

Se generaron 25 subclases, agrupadas en 8 clases, a las cuales se les asignaron colores para su representación (Tabla 9).

**Tabla 9: Clases y subclases**

Clases	Subclases	Color
Área quemada	Área quemada	[Color rojo]
	Área quemada	[Color rojo]
Cuerpos de agua	Cuerpo de agua 1	[Color azul]
	Cuerpo de agua 2	[Color verde azulado]
	Cuerpo de agua 3	[Color cian]
	Cuerpo de agua 4	[Color azul claro]
	Cuerpo de agua 5	[Color azul medio]
	Cuerpo de agua 6	[Color azul oscuro]
	Cuerpo de agua 7	[Color azul grisáceo]
	Cuerpo de agua 8	[Color verde oscuro]
	Cuerpo de agua 9	[Color negro]
	Cuerpo de agua 10	[Color azul]
	Cuerpo de agua/ acuáticas	[Color verde]
Herbáceas	Agricultura	[Color verde claro]
	Herbáceas	[Color verde medio]
	Herbáceas	[Color verde muy claro]
	Herbáceas/arbustivo	[Color verde grisáceo]
Árboles/Arbustos	Árboles	[Color verde oscuro]
	Árboles/arbustos	[Color verde muy oscuro]
	Árboles/arbustos 2	[Color verde claro]
Vegetación seca	Vegetación seca	[Color marrón]
	Vegetación seca	[Color marrón]
Suelo	Arena	[Color beige]
	Suelo seco	[Color beige]
	Suelo desnudo 2	[Color naranja]
	Anegado/laguna seca	[Color azul grisáceo]
	Suelo desnudo/Laguna seca/Vegetación seca	[Color rojo claro]
Indefinido (no quemado)	Suelo desnudo/Laguna seca/Vegetación seca	[Color rojo claro]
	Suelo desnudo/Laguna seca/Vegetación seca	[Color rojo claro]

Se obtuvieron las cuatro clasificaciones semiautomáticas de cobertura para cada una de las fechas mediante el uso del complemento SCP (Figuras 19, 20, 21 y 22).

### Clasificación de coberturas - 1 de febrero de 2020

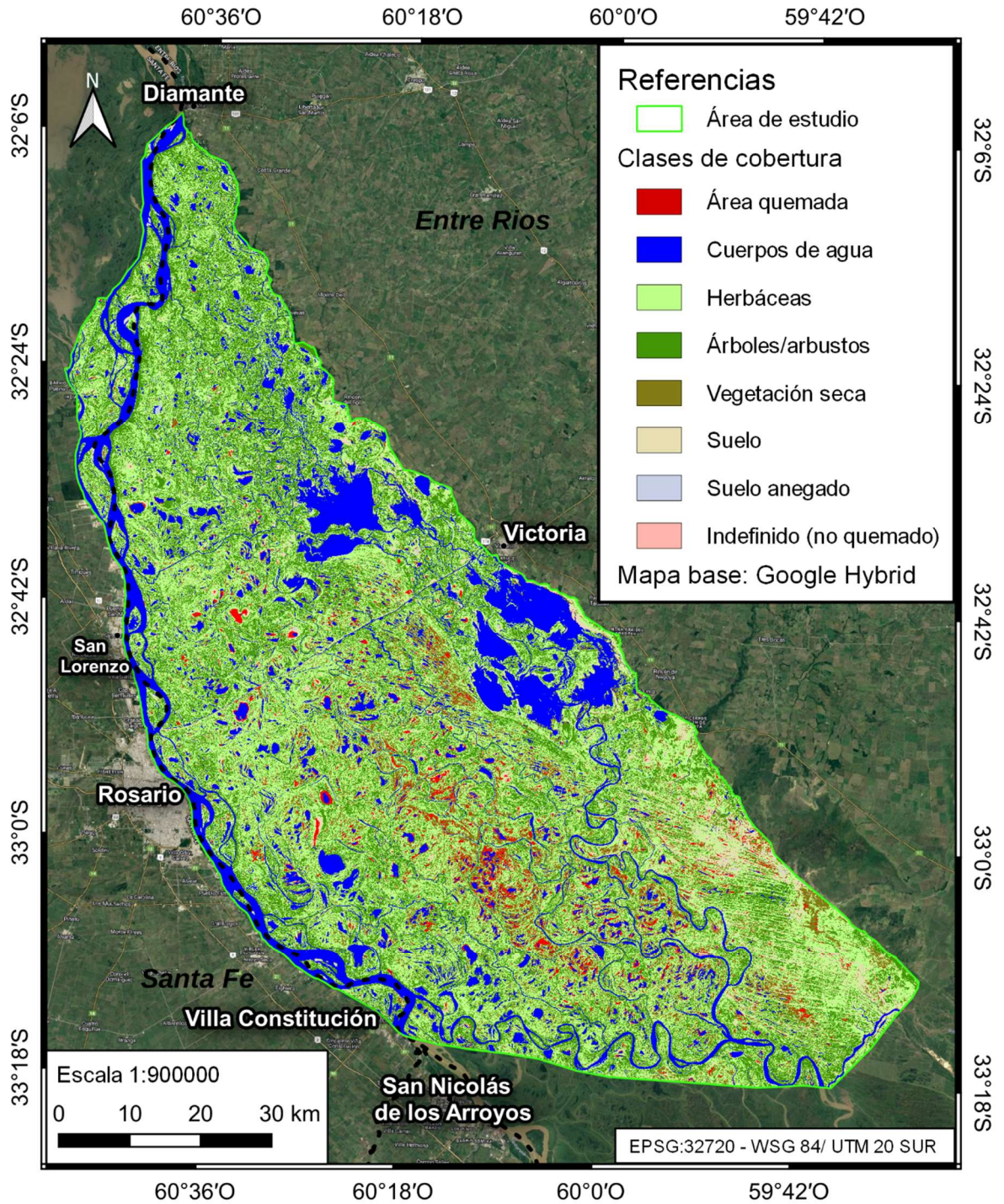


Figura 19. Clasificación de coberturas, fecha 1 de febrero de 2020.

## Clasificación de coberturas - 26 de mayo de 2020

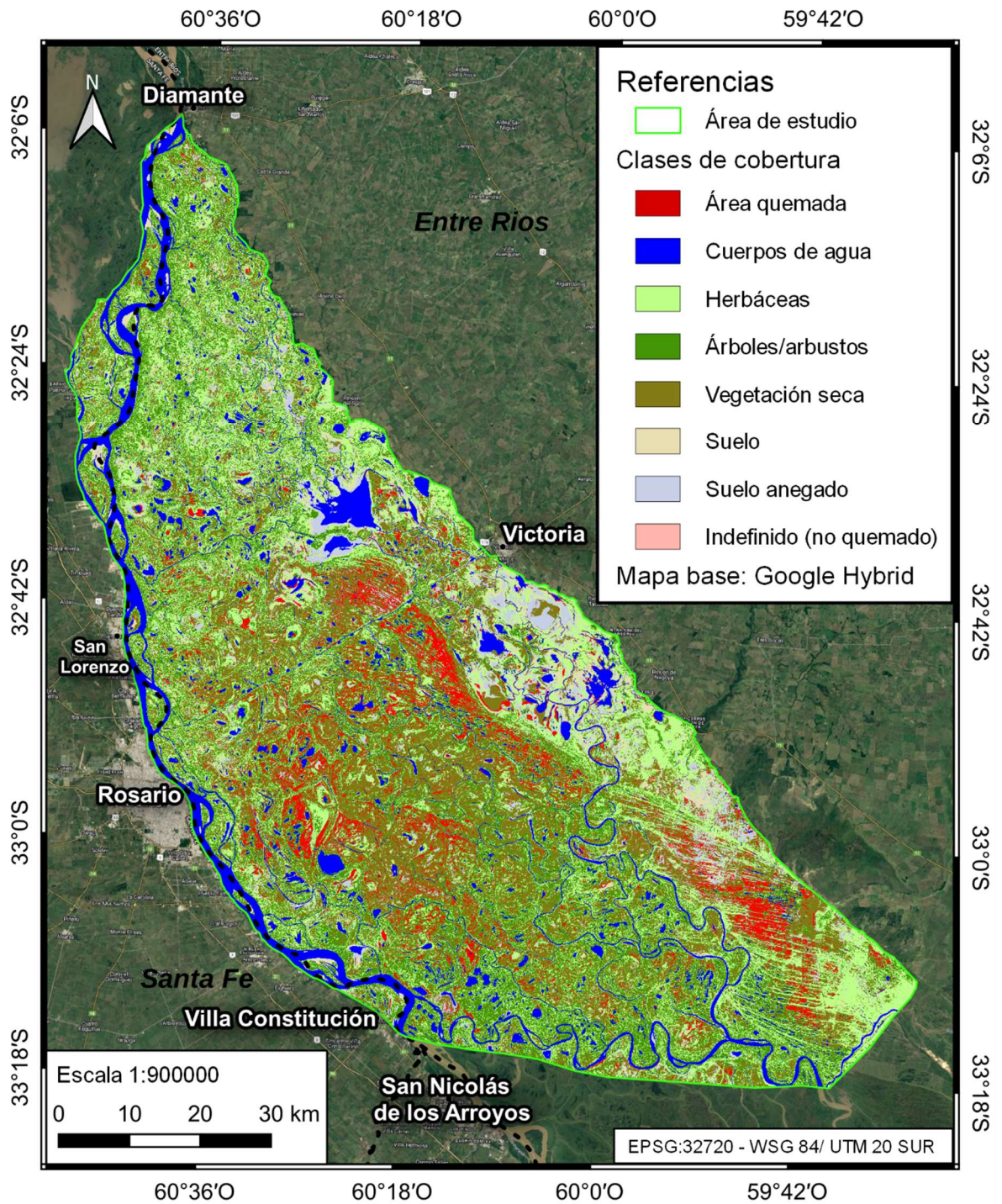
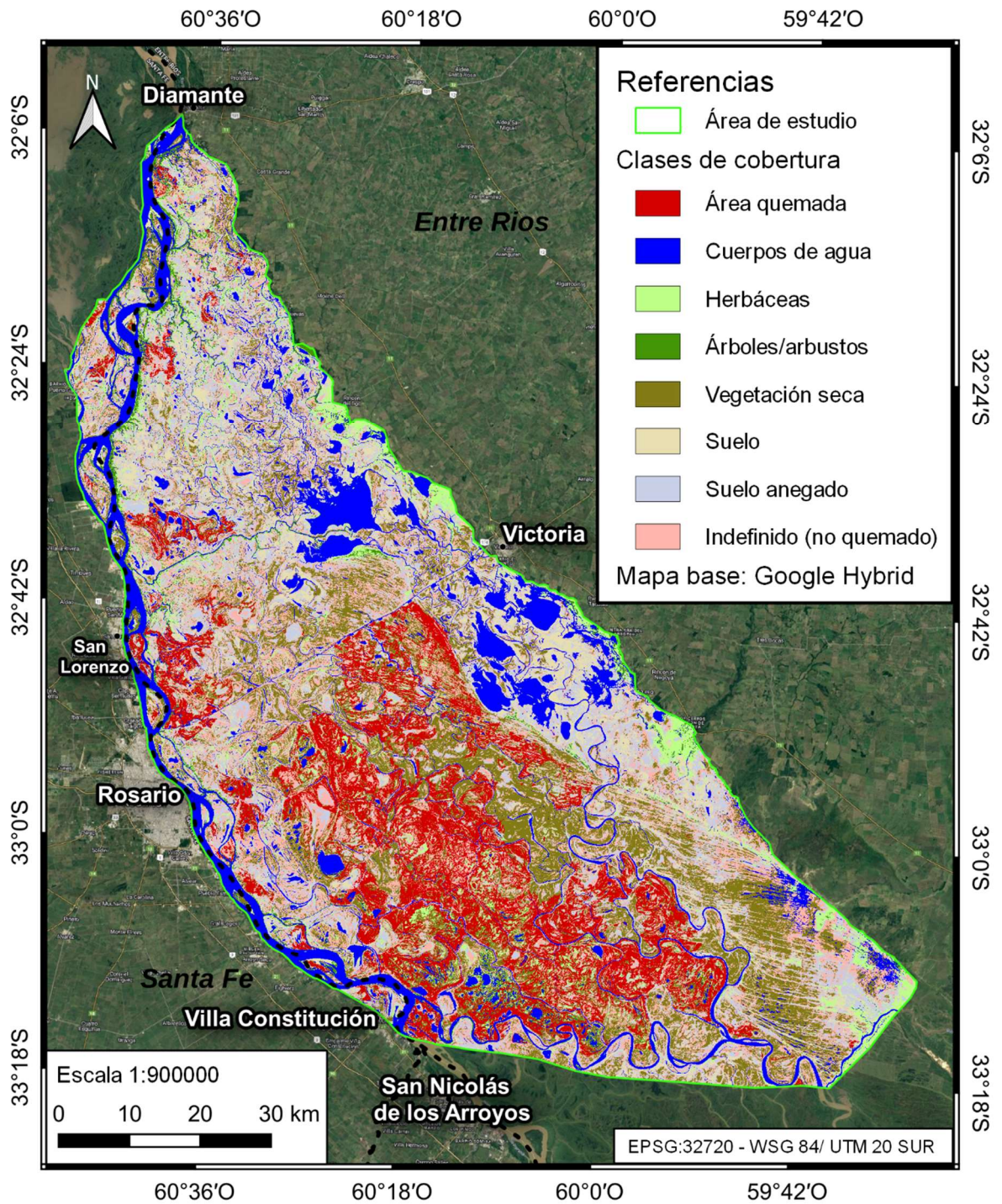


Figura 20. Clasificación de coberturas, fecha 26 de mayo de 2020.

## Clasificación de coberturas - 8 de septiembre de 2020



**Figura 21. Clasificación de coberturas, fecha 8 de septiembre de 2020.**

## Clasificación de coberturas - 22 de noviembre de 2020

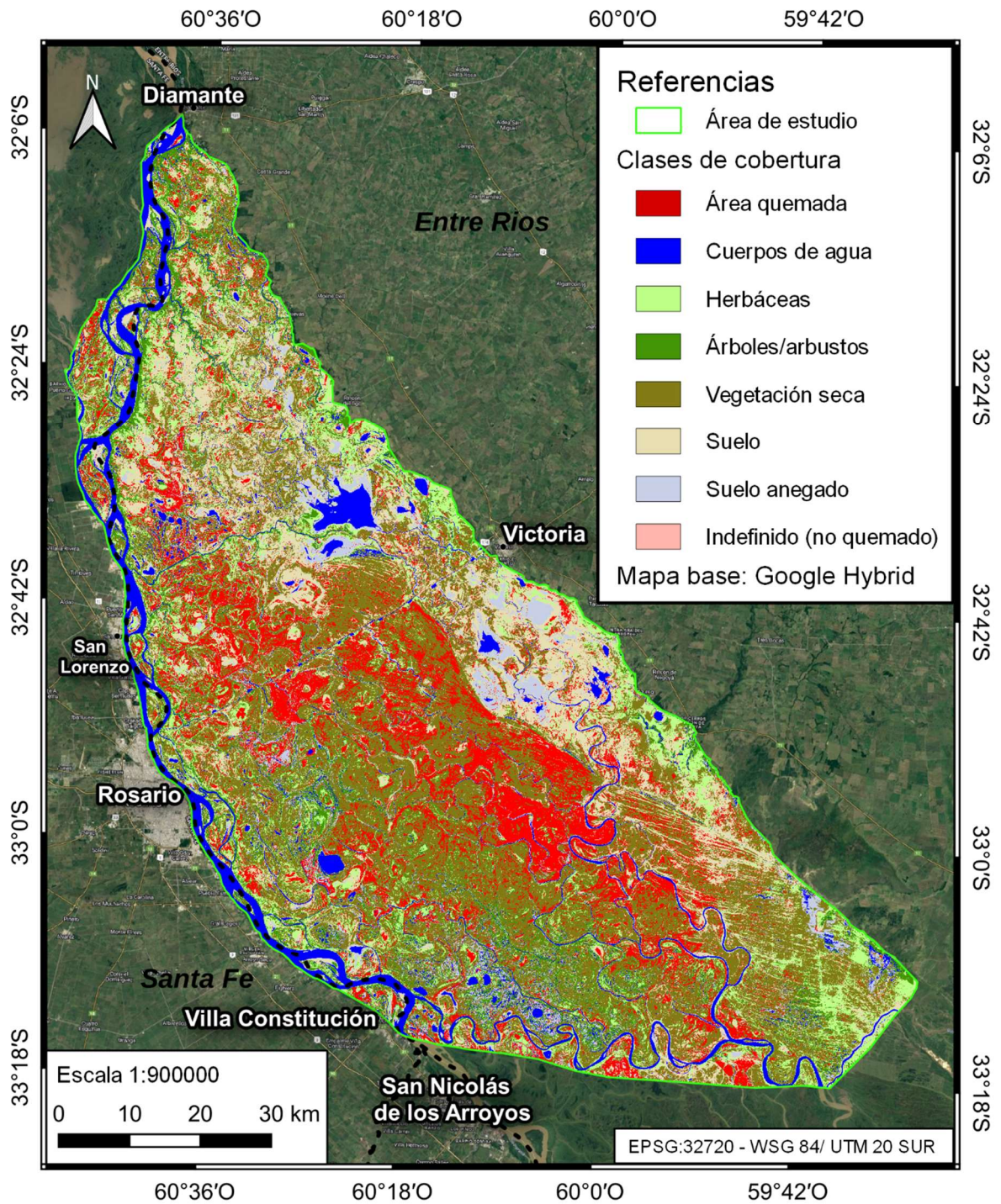


Figura 22. Clasificación de coberturas, fecha 22 de noviembre de 2020.

### 9.3.2 Representación y cuantificación de las superficies quemadas

El área estimada afectada por las quemas durante el año 2020 en el Delta Superior del Paraná fue de 203207,61 hectáreas, equivalente al 27,87% de las 729041,87 hectáreas que conforman el área de estudio (Tabla 10 y Figura 23).

#### Área quemada total en el año 2020

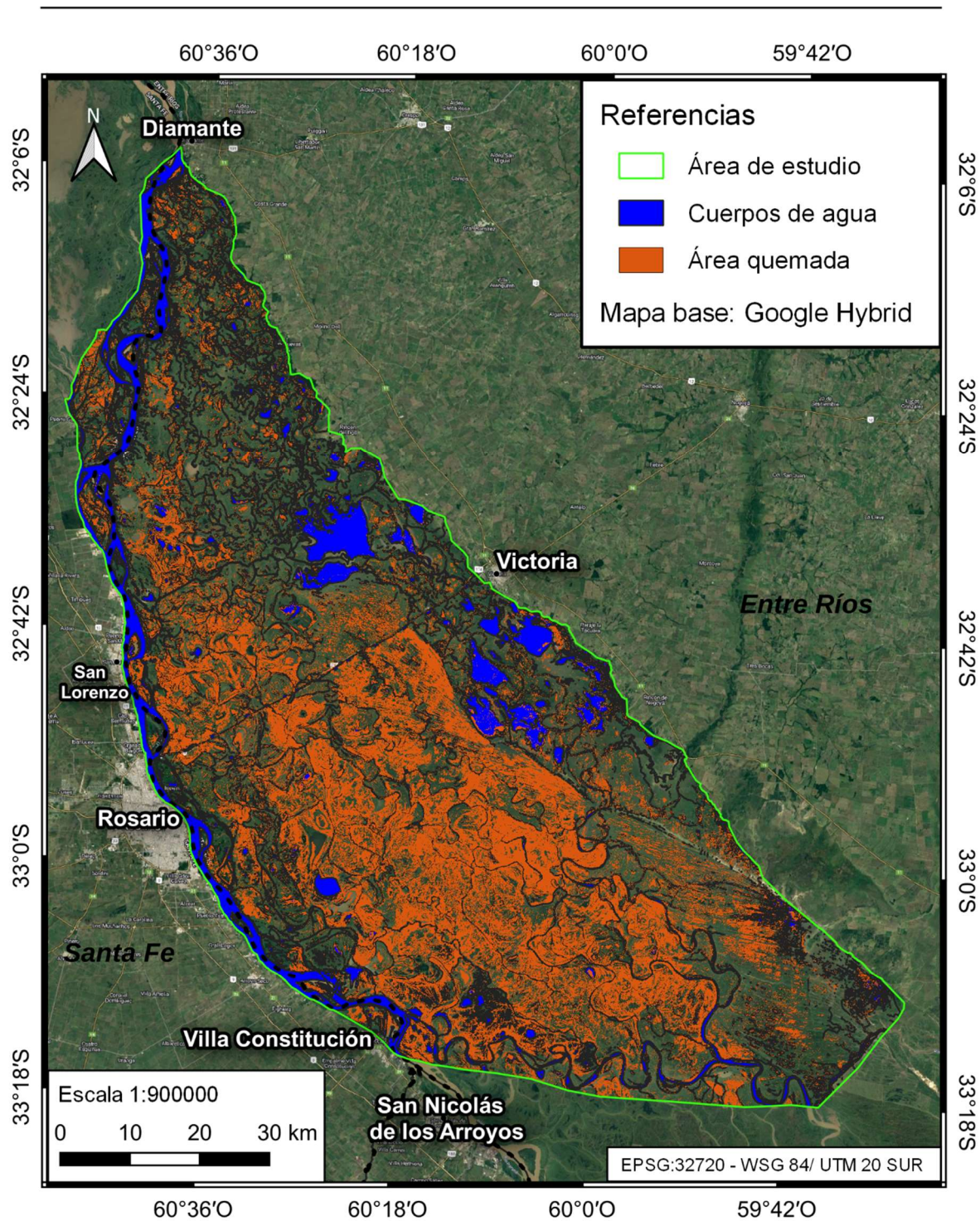


Figura 23. Área quemada total en el Delta Superior del Paraná en el año 2020.

Área parcial

Los valores de área quemada parcial detectados fueron: 16046,91 hectáreas equivalente al 2,20% del área de estudio observada para el 1 de febrero; 35880,25 hectáreas -correspondiente al 4,92% del área de estudio- para el 26 de mayo; 92354,10 hectáreas -equivalente al 12,67% de área de estudio- para el 8 de septiembre; y 110190,99 hectáreas -equivalente al 15,11 % del área de estudio- para el 22 de noviembre (Tabla 10 y Figuras 24, 25, 26, 27 y 28).

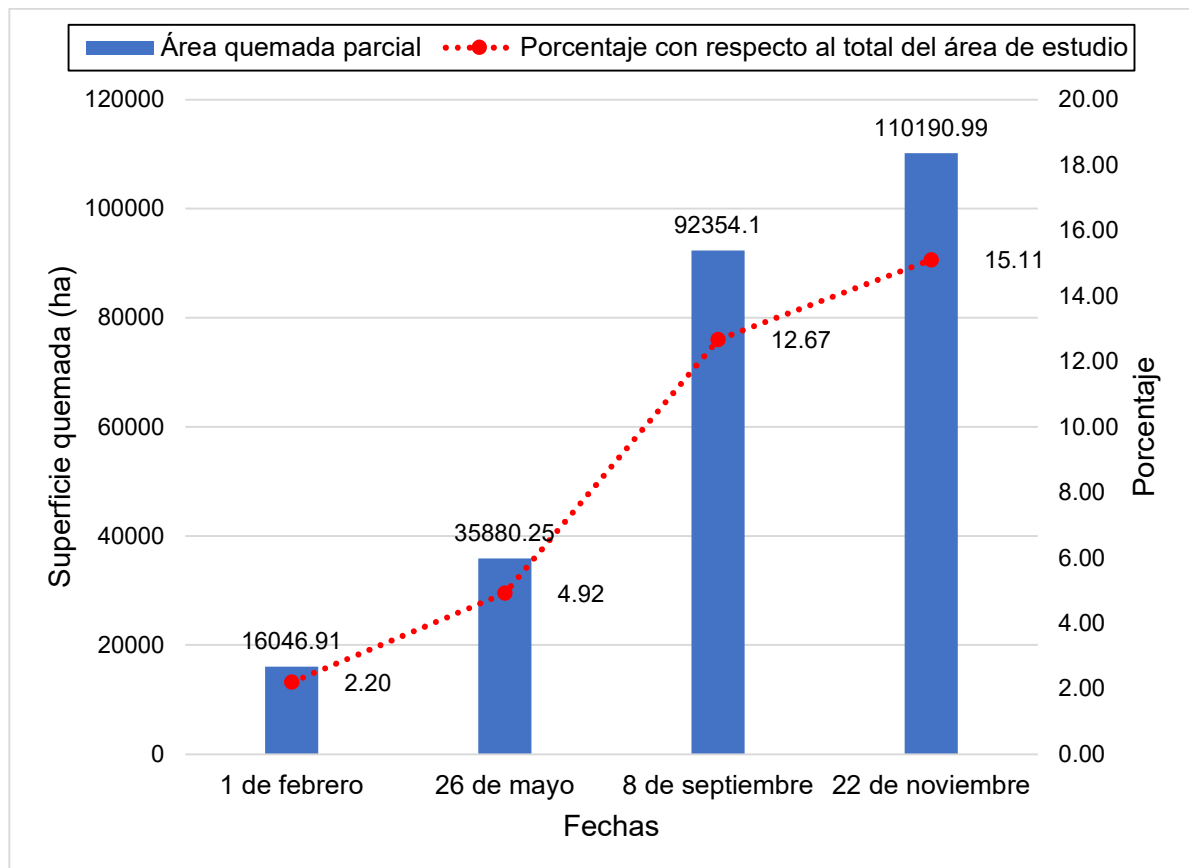


Figura 24. Área quemada parcial por fecha.

## Área quemada parcial - 1 de febrero de 2020

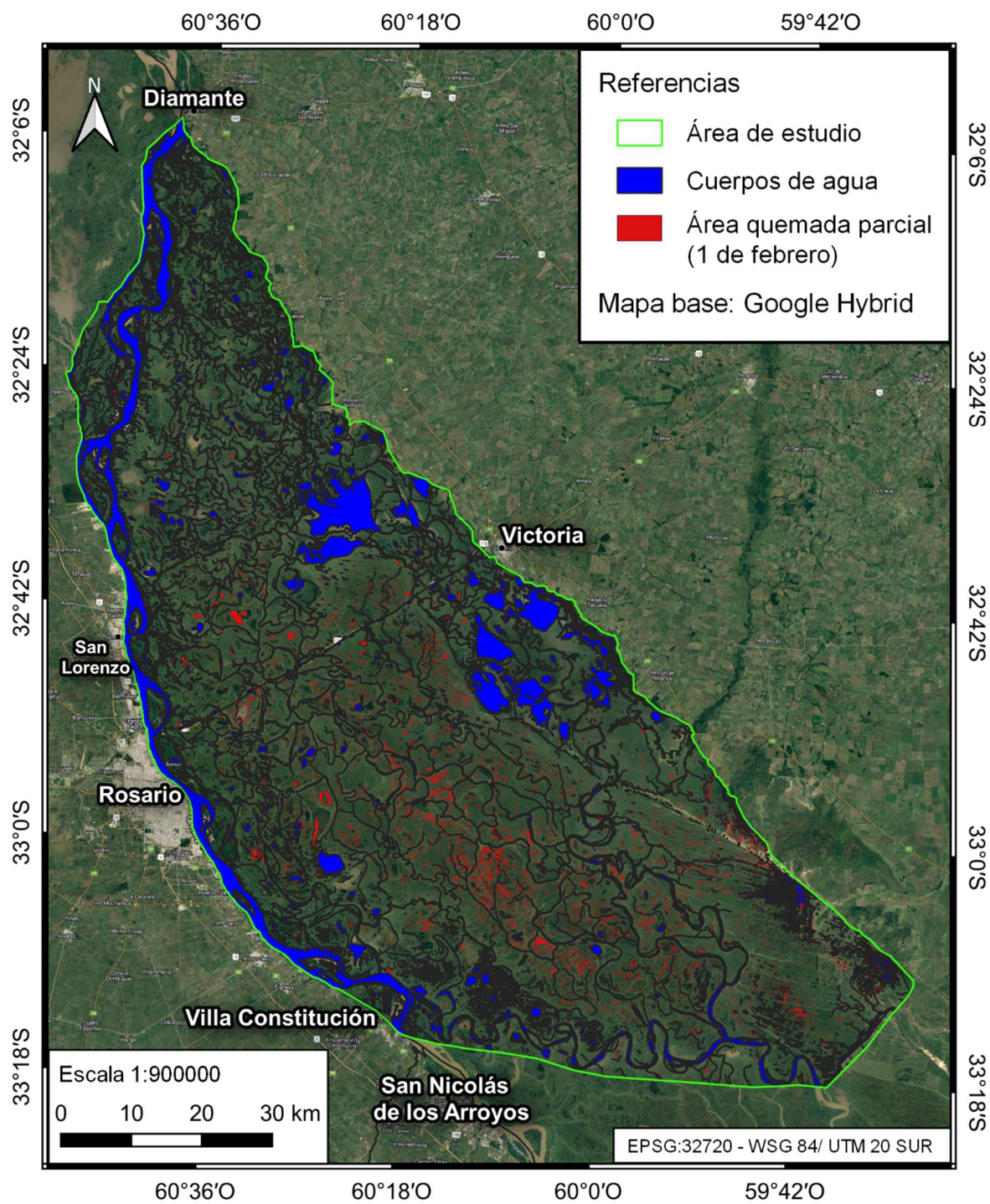


Figura 25. Área quemada parcial del 1 de febrero de 2020.

## Área quemada parcial - 26 de mayo de 2020

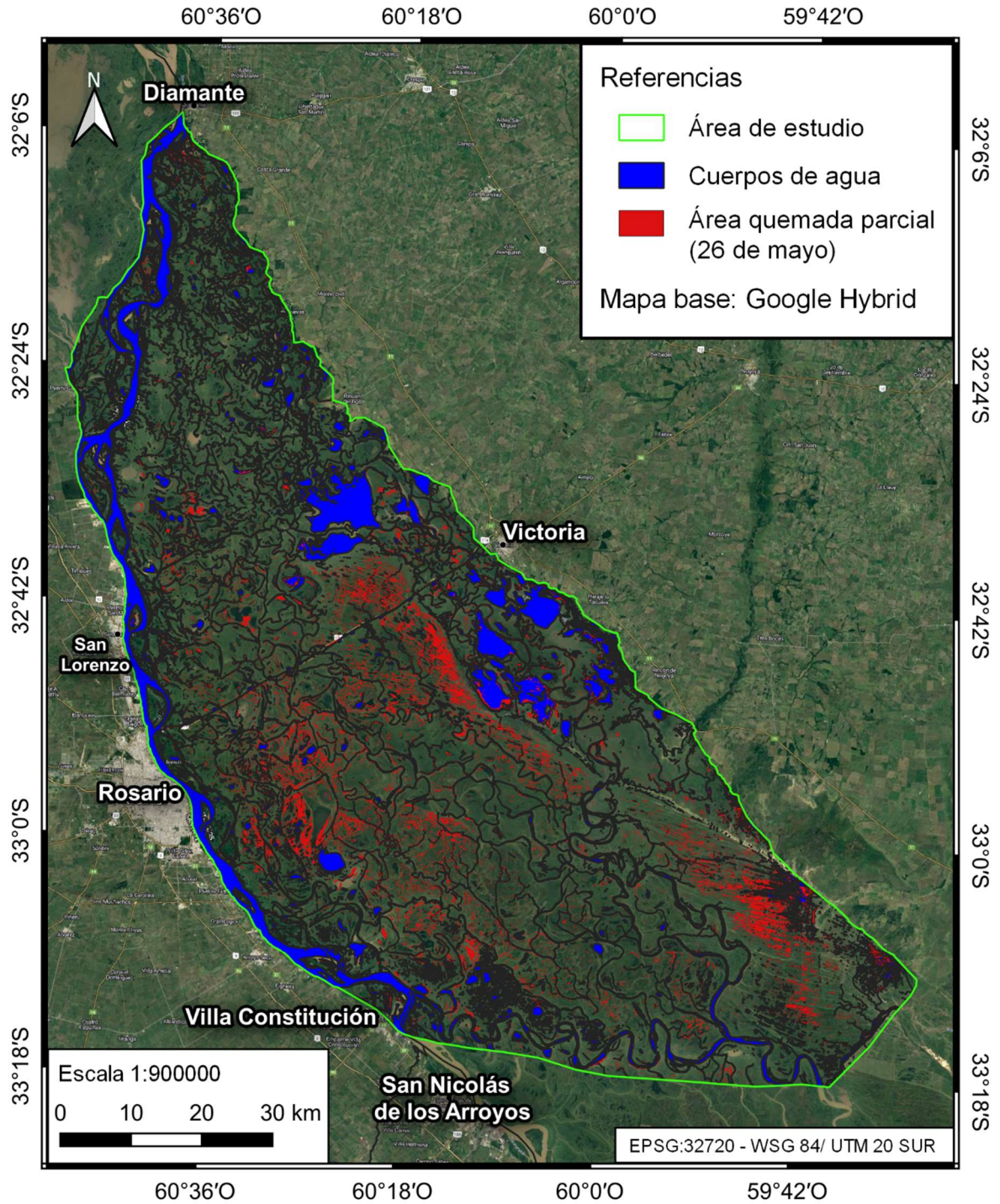


Figura 26. Área quemada parcial del 26 de mayo de 2020.

## Área quemada parcial - 8 de septiembre de 2020

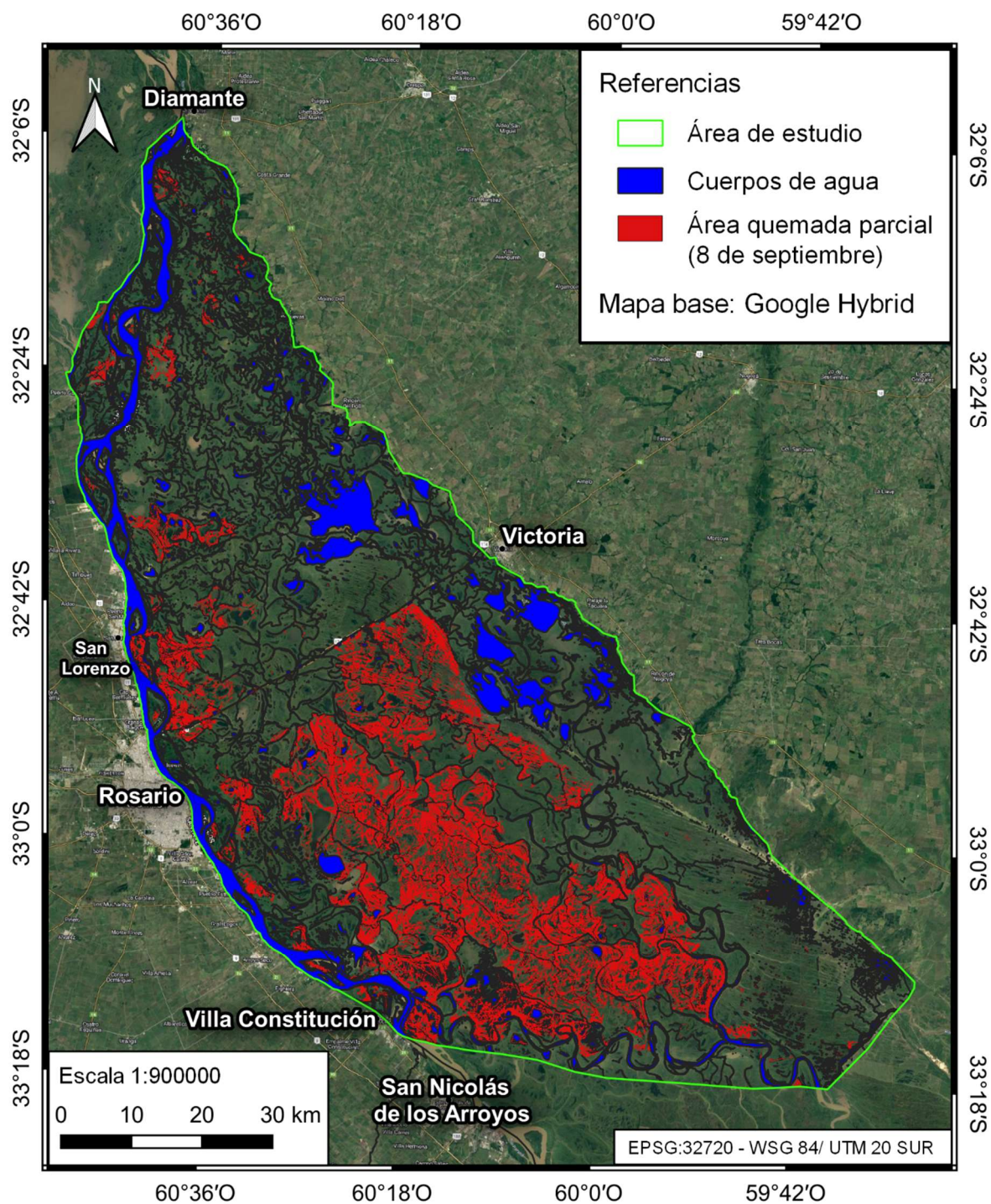


Figura 27. Área quemada parcial del 8 de septiembre de 2020.

## Área quemada parcial - 22 de noviembre de 2020

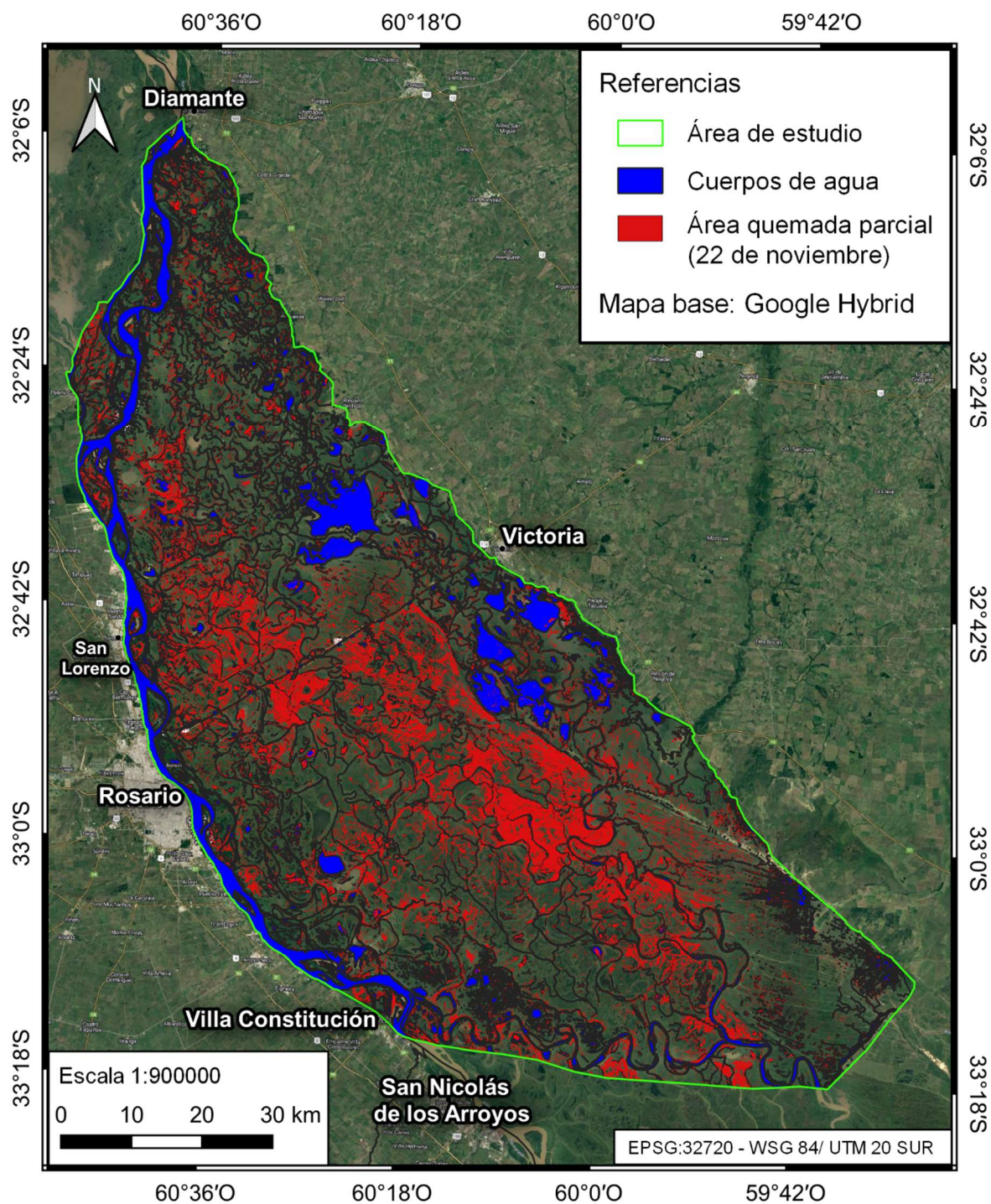


Figura 28. Área quemada parcial del 22 de noviembre de 2020.

### Área adicional

Durante el periodo comprendido entre el 1 de febrero y el 26 de mayo, se quemaron unas 34333,99 hectáreas que no habían sido afectadas con anterioridad. Este valor equivale al 4,71% del área de estudio y corresponde al 16,90% del área total quemada durante el 2020. Entre el 26 de mayo y el 8 de septiembre se sumaron 80796,9 hectáreas nuevas, equivalentes al 11,08% del área de estudio y al 39,76% del área total quemada durante el 2020. Entre el 8 de septiembre y el 22 de noviembre se adicionan 72029,81 hectáreas que corresponden al 9,88% del área de estudio y al 35,45% del área total quemada durante el 2020 (Tabla 10 y Figuras 29 y 30).

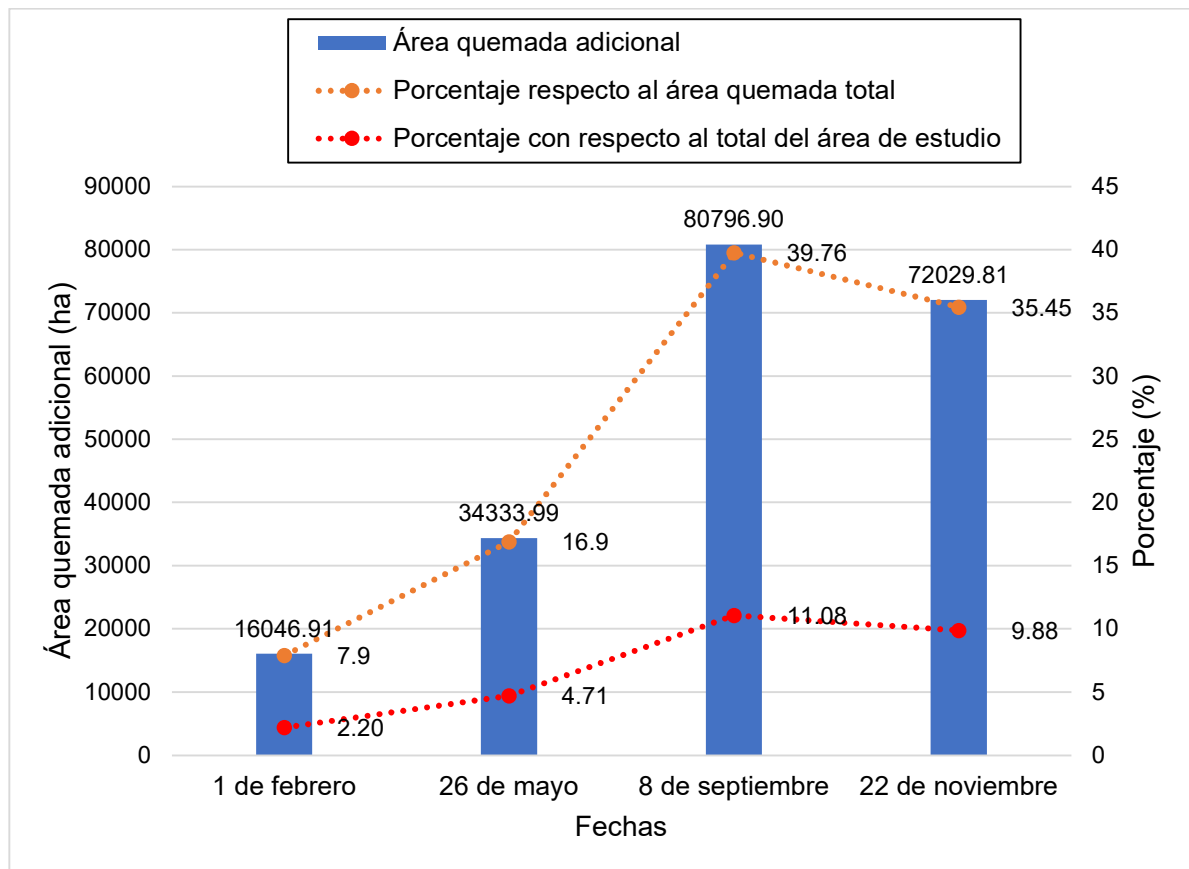


Figura 29. Área quemada parcial por fecha en el año 2020.

## Área quemada adicional por fecha, año 2020

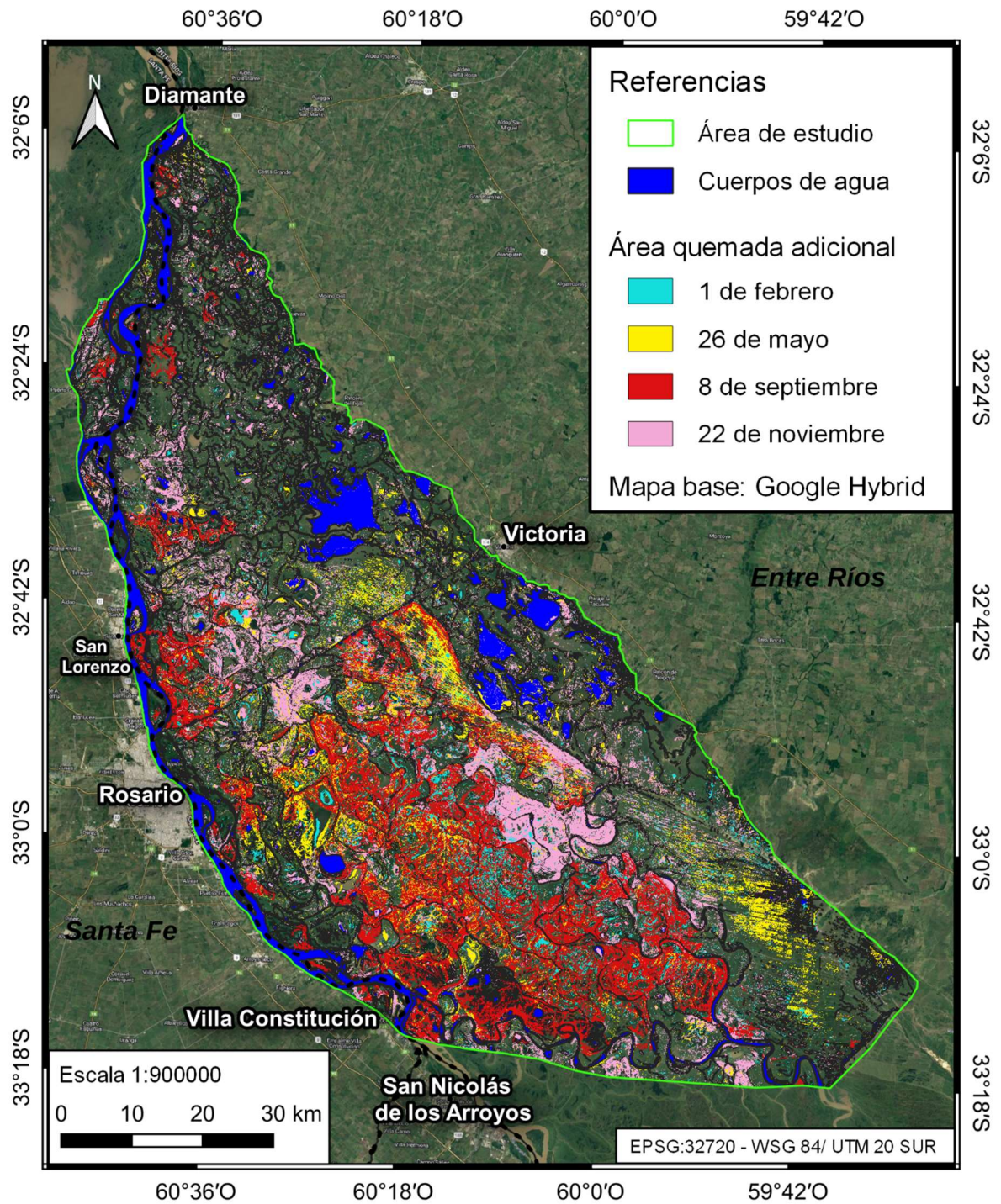


Figura 30. Área quemada adicional detectada en cada fecha durante el año 2020.

### Área acumulada

El 1 de febrero de 2020 se detectó una superficie quemada de 16046,91 hectáreas, equivalente al 2,20% del área total y al 7,90% del área quemada total. Para el 26 de mayo de 2020 se habían quemado 50380,90 hectáreas equivalente al 6,91% del área total y al 24,79% del área quemada total. Para el 8 de septiembre de 2020 se habían quemado 131177,8 hectáreas equivalente al 17,99% del área total y 64,55% del área quemada total. Unas 72029,81 hectáreas más, equivalentes a 9,88% del área total analizada y un 35,45% del área afectada, se quemaron entre el 8 de septiembre y el 22 de noviembre de 2020, acumulando 203207,61 hectáreas (Tabla 10 y Figura 31).

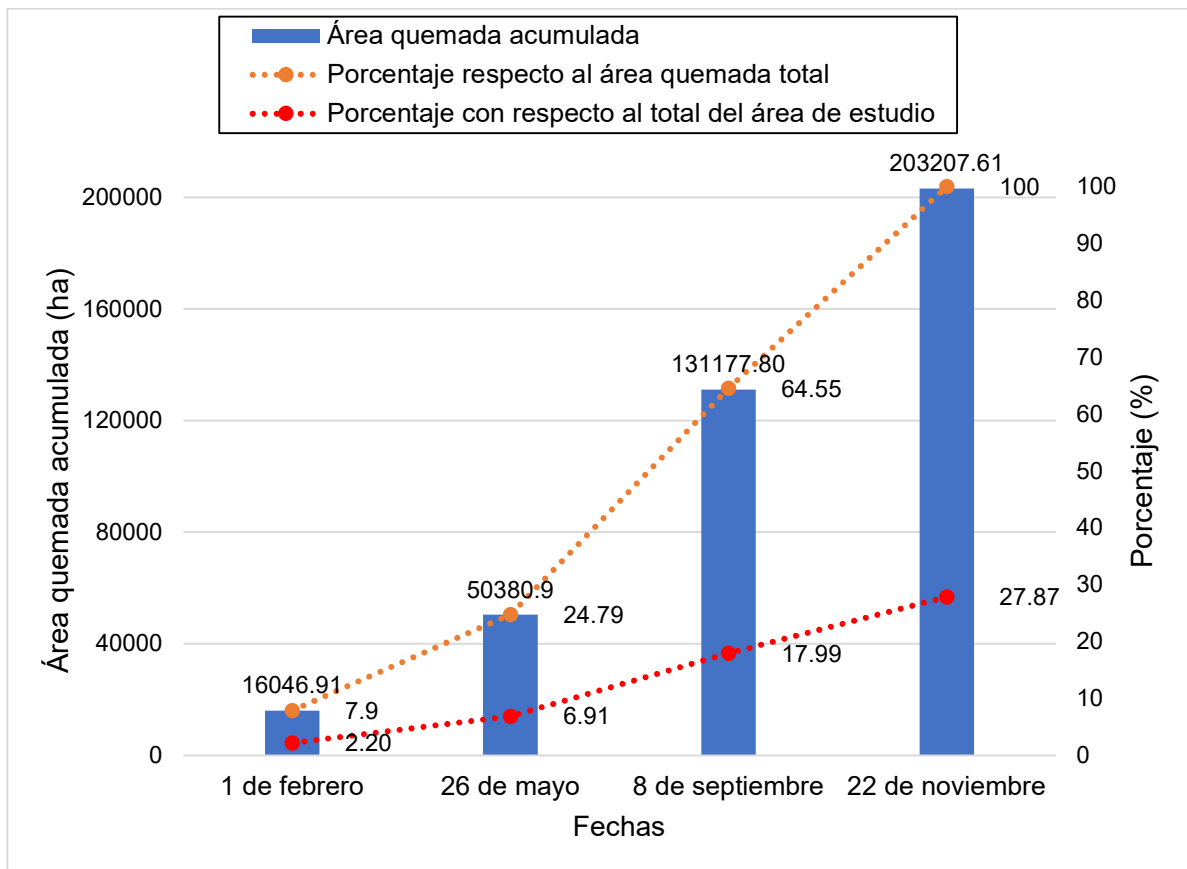


Figura 31. Área quemada acumulada por fecha en el año 2020.

**Tabla 10: Resultados de área quemada**

Área quemada	Fechas			
	1 de febrero	26 de mayo	8 de septiembre	22 de noviembre
<b>Parcial (ha)</b>	16046,91	35880,25	92354,10	110190,99
<b>Parcial expresada en porcentaje con respecto al total del área estudio</b>	2,20%	4,92%	12,67%	15,11%
<b>Adicional (ha)</b>	(16046,91)	34333,99	80796,90	72029,81
<b>Adicional expresada en porcentaje con respecto al área quemada total en el año 2020</b>	(7,90%)	16,90%	39,76%	35,45%
<b>Adicional en porcentaje con respecto al total del área de estudio</b>	(2,20%)	4,71%	11,08%	9,88%
<b>Acumulada (ha)</b>	16046,91	50380,90	131177,80	203207,61
<b>Área quemada acumulada expresada en porcentaje con respecto al área quemada total</b>	7,90%	24,79%	64,55%	100%
<b>Acumulada expresada en porcentaje con respecto al total del área de estudio</b>	2,20%	6,91%	17,99%	27,87%

Nota: Entre paréntesis se indican los valores iniciales observados a partir de la clasificación correspondiente a la primera fecha analizada.

### 9.3.3 Requema

El área en la que se habían detectados quemas el 1 de febrero de 2020 y que nuevamente volvió a detectarse como área quemada durante el 22 de noviembre de 2020 fue de 4130,85 ha equivalente al 2,033% del área quemada total (Figura 32).

Área de requema - 1 de febrero y 22 de noviembre de 2020

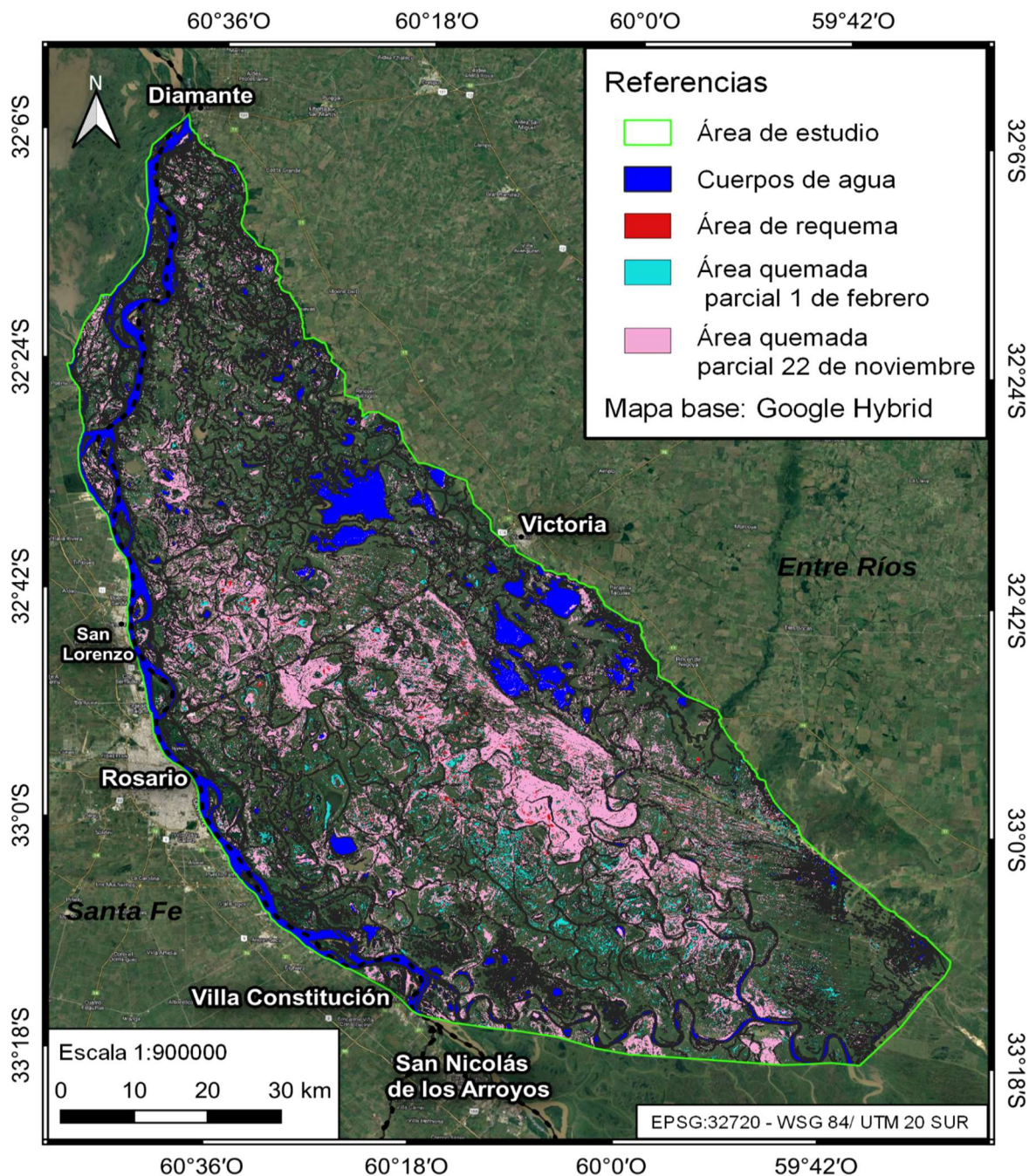


Figura 32. Área de requema entre el 1 de febrero y el 22 de noviembre de 2020.

El área quemada para el 26 de mayo de 2020 detectada como nueva en esa fecha y que volvió a detectarse quemada durante el 22 de noviembre de 2020 fue de 9968,67 ha correspondiente al 4,906% del área quemada total (Figura 33).

### Área de requema - 26 de mayo y 22 de noviembre de 2020

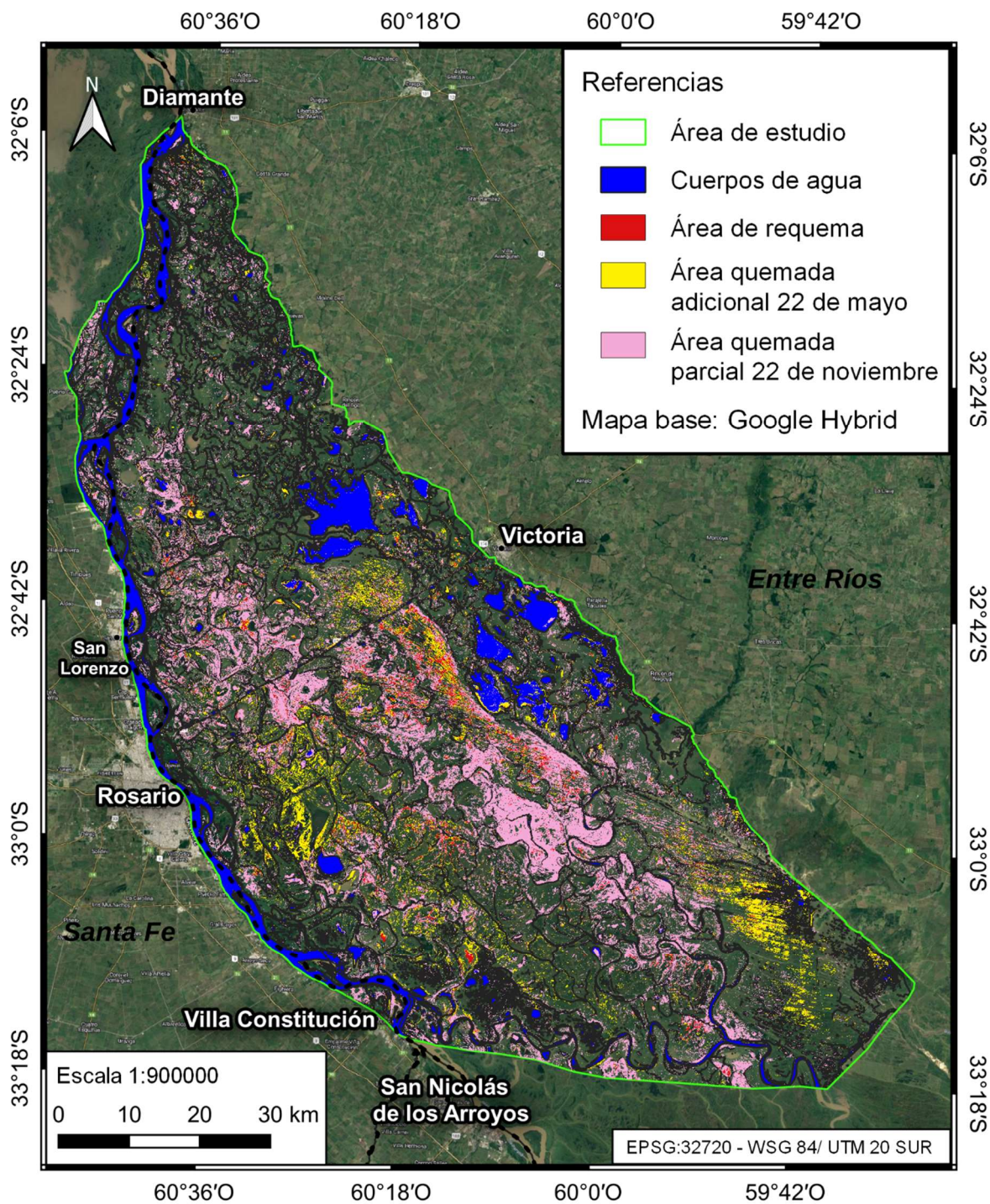


Figura 33. Área de requema entre el 26 de mayo y el 22 de noviembre de 2020.

La gran superficie coincidente entre estas fechas se debería a que parte del área detectada como quemada el 22 de noviembre de 2020 corresponde a superficies que habrían sido previamente afectadas el 26 de mayo de 2020 y que continuaba sin recuperarse para el 22 de noviembre.

### 9.3.4 Validación del área quemada

En cuanto a la validación del área quemada, se dispuso de un total de 24 sitios de verdad de campo situados en la Isla de los Mástiles ( $32^{\circ} 50' 14''$  S,  $60^{\circ} 40' 34''$  O), frente a la localidad de Granadero Baigorria (Santa Fe) (Figura 34).



Figura 34. Puntos de verdad de campo relevados en la Isla de los Mástiles.

Los investigadores de la Universidad Católica Argentina, sede Rosario, registraron 58 puntos de toma de verdad de campo, sobre un recorrido realizado el 14 de octubre de 2020, con posterioridad a la captura de la imagen del 8 de septiembre, que tuvo lugar frente a la localidad de Arroyo Seco, desde el oeste de la boca del canal El Brasileiro hacia el este, luego rodeando la laguna Estévez para tomar rumbo al norte hacia la escuela N° 3 Gral. Savio, siguiendo por el arroyo Dorado en dirección noroeste y luego oeste, hasta alcanzar la desembocadura del arroyo Dorado con el Brasileiro (Figura 35).



**Figura 35. Puntos de verdad de campo relevados frente a la localidad de Arroyo Seco.**

En los más de 80 puntos de verdad de campo totales, no se encontró ninguna discordancia entre lo clasificado por las imágenes y lo registrado a campo (100 por ciento de coincidencia), por lo tanto, no se presenta la matriz de confusión por no tener mayor sentido.

Con respecto a la correspondencia entre las áreas quemadas obtenidas y la ubicación de los focos de calor registrados por los productos MODIS Collection 6.1, VIIRS S-NPP y VIIRS NOAA-20 entre los 30 días previos y el día de captura de cada una de las imágenes Sentinel-2 utilizadas, el porcentaje de focos de calor que coinciden en su ubicación con las áreas quemadas fue superior al 98% para todos los productos seleccionados en todos los periodos analizados, a excepción del producto VIIRS NOAA-20, cuyo porcentaje de correspondencia fue del 91,38%; con 5 focos de calor, sobre 58 focos totales, que no coincidieron con el área quemada obtenida para el 1 de febrero (Tabla 11).

**Tabla 11: Correspondencia entre los focos de calor y el área quemada**

Fecha	Focos de calor coincidentes con respecto al total de focos		
	MODIS	VIIRS S-NPP	VIIRS NOAA-20
<b>1 de febrero</b>	11 de 11 (100%)	40 de 40 (100%)	53 de 58 (91,38%)
<b>26 de mayo</b>	73 de 73 (100%)	430 de 431 (99,77%)	439 de 443 (99,10%)
<b>8 de septiembre</b>	1280 de 1294 (98,92%)	6679 de 6786 (98,42%)	5864 de 5977 (98,11%)
<b>22 de noviembre</b>	292 de 292 (100%)	1355 de 1364 (99,34%)	1152 de 1164 (98,97%)

### **9.3.5 Evaluación del NBR para la determinación de la cobertura quemada**

Los sectores en los que los valores de Índice Normalizado de Área Quemada (NBR) fueron bajos, coincidieron espacialmente con las áreas quemadas obtenidas. El 1 de febrero la mayor parte del área de estudio presentó valores de NBR altos debido a la abundante presencia de vegetación sana, mientras que los lugares con bajos valores de NBR coincidieron con las zonas quemadas. Para la fecha del 26 de mayo, los sectores con bajos valores de NBR aumentaron, en concordancia con la expansión del área quemada. Con relación al 8 de septiembre se observa una disminución general del índice NBR, que coincide con las condiciones climáticas de sequía y la fenología de la vegetación, no obstante, la superficie en los que se detectan los valores más bajos de NBR aumentaron considerablemente coincidiendo con las áreas quemadas, y la mayor frecuencia y severidad de las quemas. El 22 de noviembre las superficies quemadas continuaron presentando valores bajos de NBR; en cambio en las superficies no quemadas, estos valores aumentaron, lo cual responde a la recuperación y rebrote de la vegetación que ocurre en la primavera (Figuras 36, 37, 38, 39).

# Índice Normalizado de Área Quemada (NBR) 1 de febrero de 2020

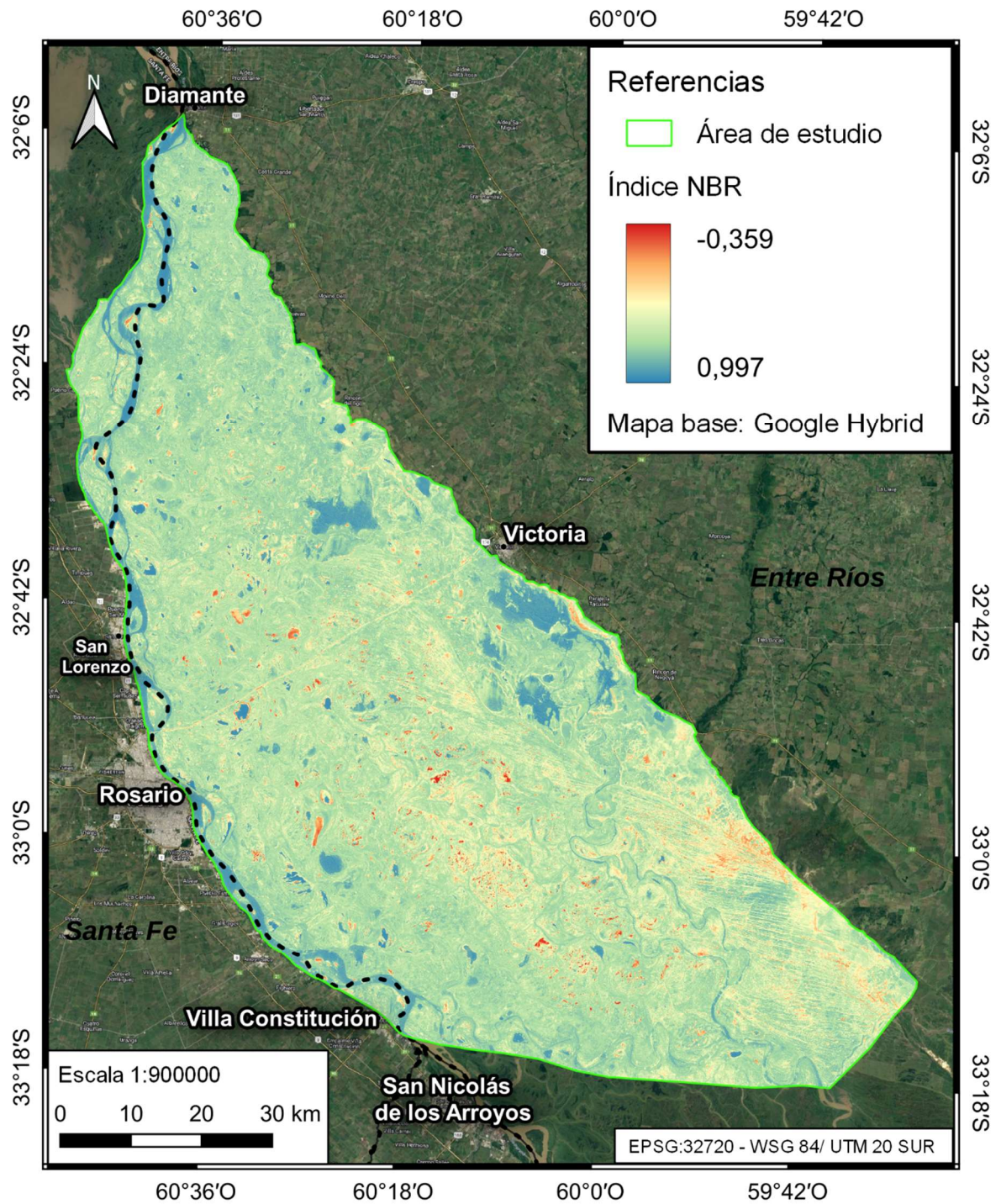


Figura 36. Índice normalizado de área quemada (NBR) del 1 de febrero de 2020.

# Índice Normalizado de Área Quemada (NBR) 26 de mayo de 2020

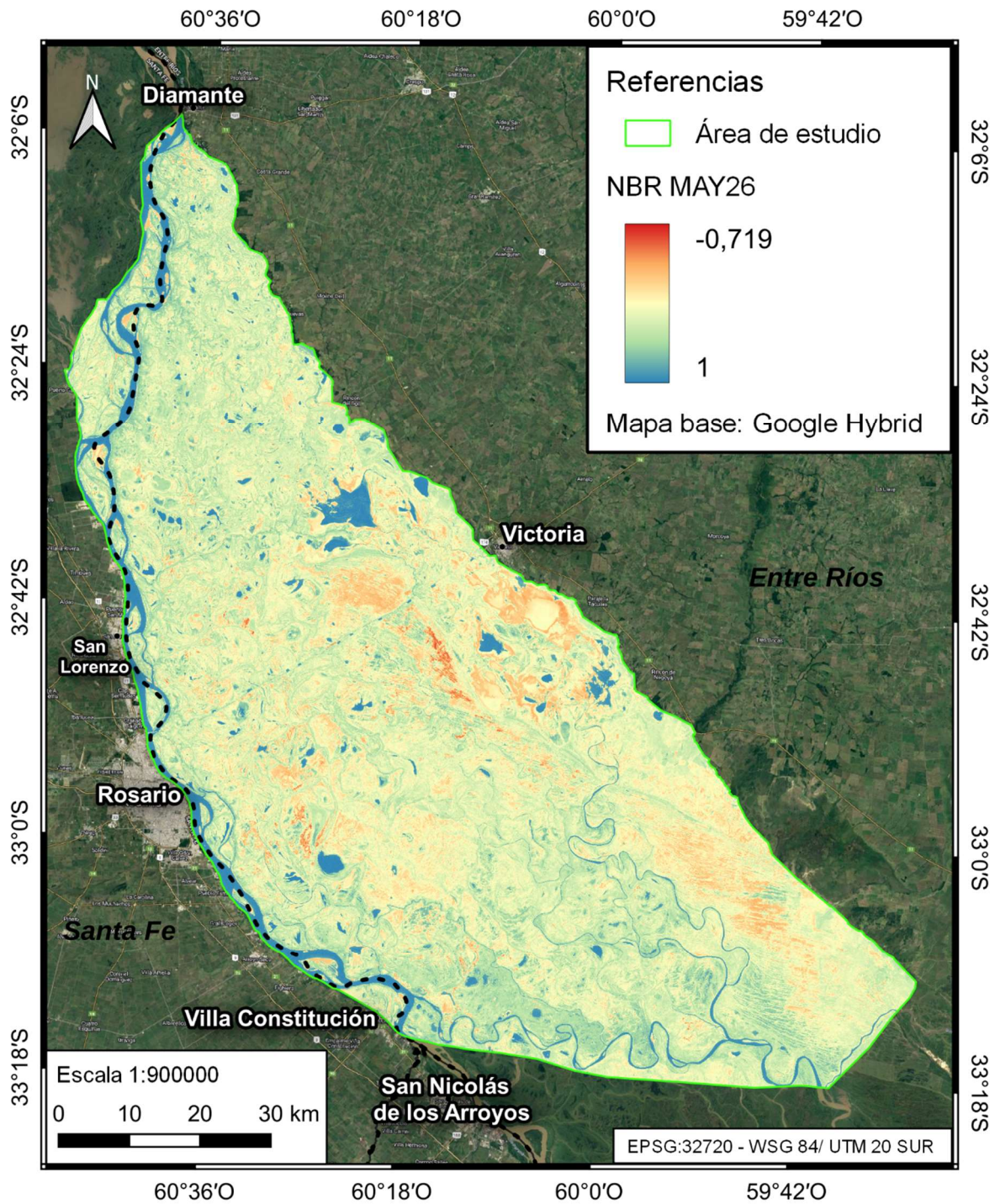


Figura 37. Índice normalizado de área quemada (NBR) del 26 de mayo de 2020.

# Índice Normalizado de Área Quemada (NBR) 8 de septiembre de 2020

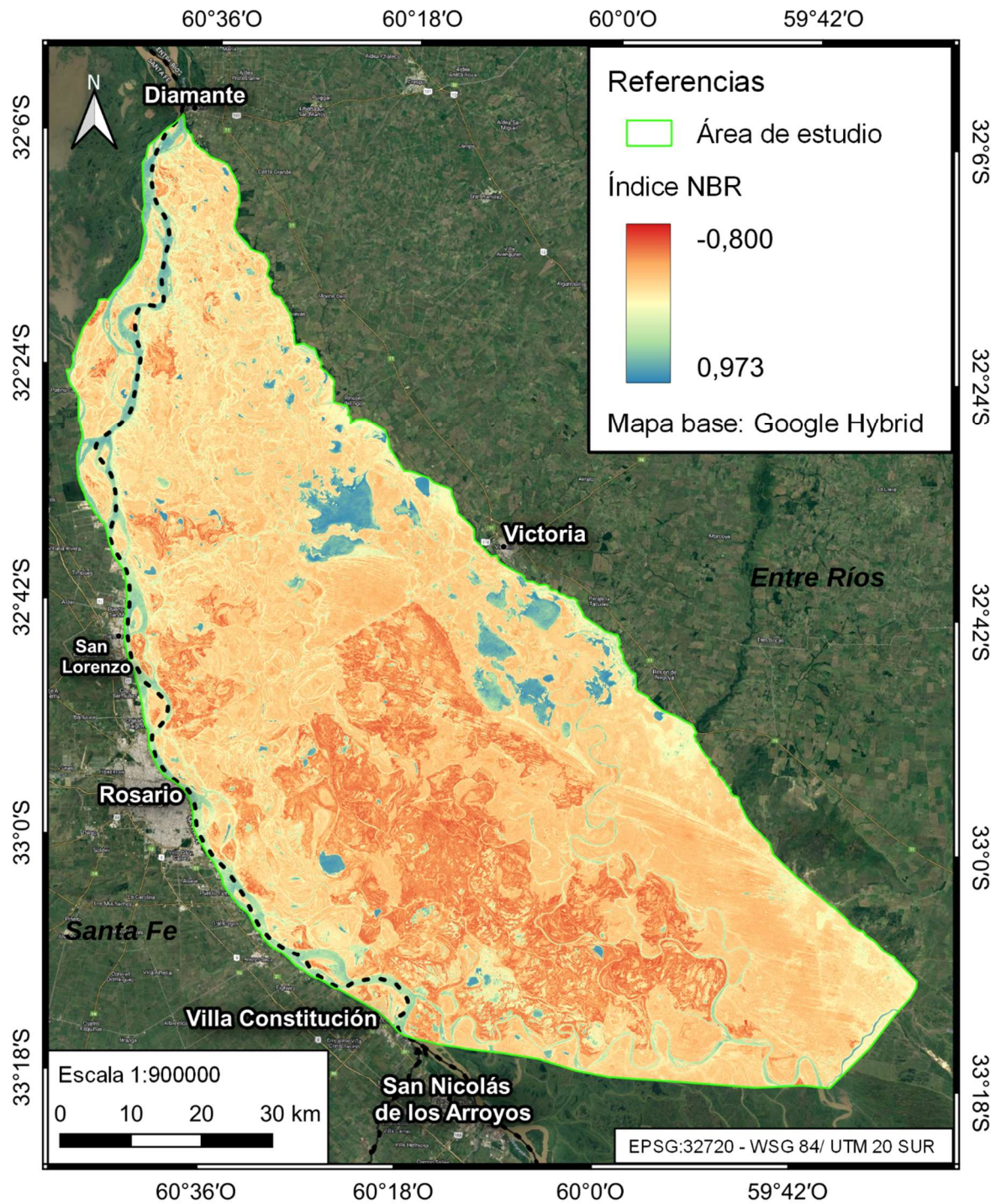


Figura 38. Índice normalizado de área quemada (NBR) del 8 de septiembre de 2020.

Índice Normalizado de Área Quemada (NBR)  
22 de noviembre de 2020

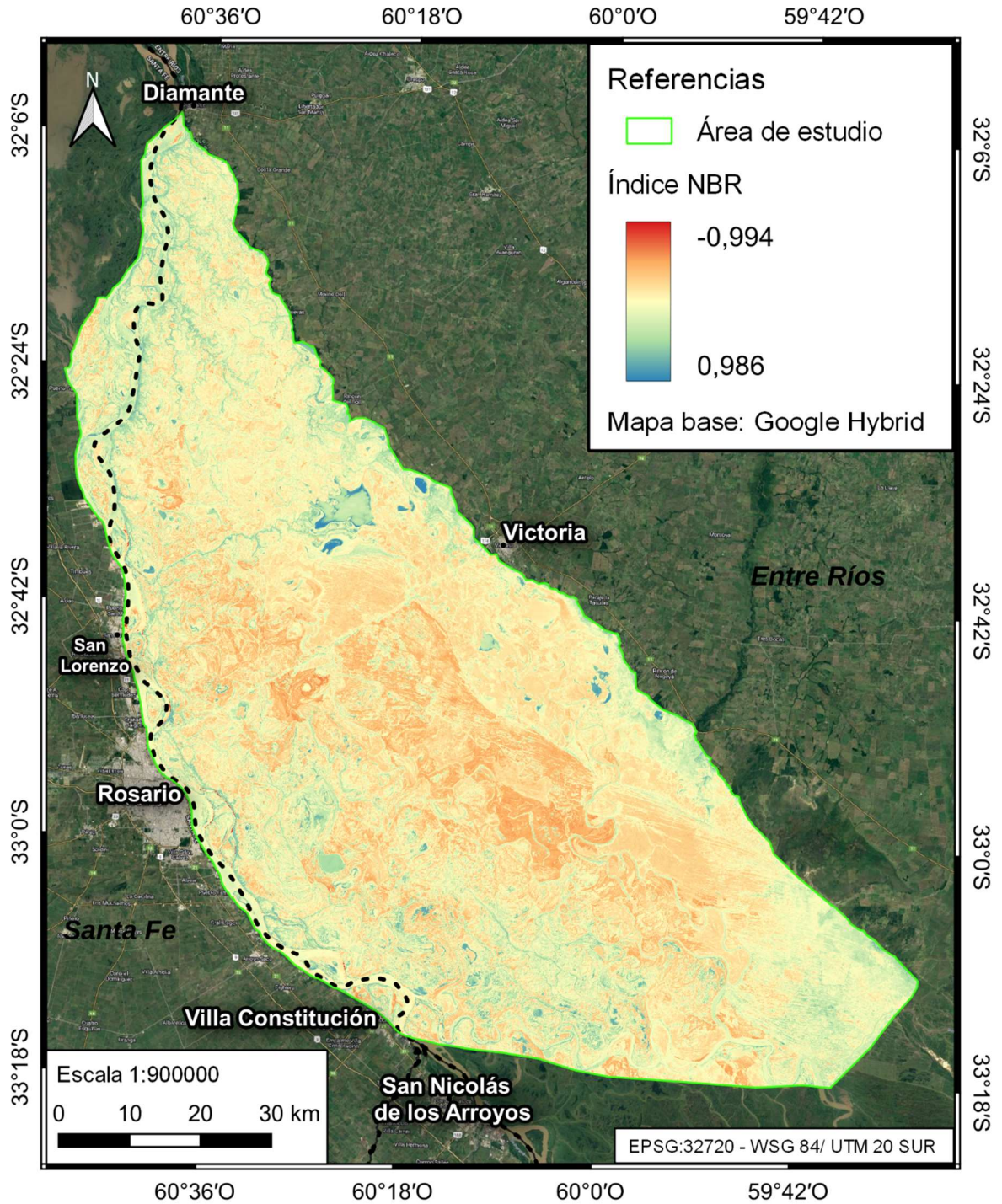


Figura 39. Índice normalizado de área quemada (NBR) del 22 de noviembre de 2020.

#### 9.4 Análisis de la distribución espacial de los focos de calor en relación a sus patrones de agrupamiento según distancias a elementos del paisaje del humedal

Se registró un total de 1785 elementos antrópicos presentes en el área de estudio, de los cuales 1014 correspondieron a estructuras no relacionadas con la ganadería -edificaciones, viviendas y galpones- y 771 a instalaciones ganaderas -corrales, bretes, tanques de agua-. A estos, se sumaron los 728 registros de sitios de vacunación de SENASA (Figura 40).

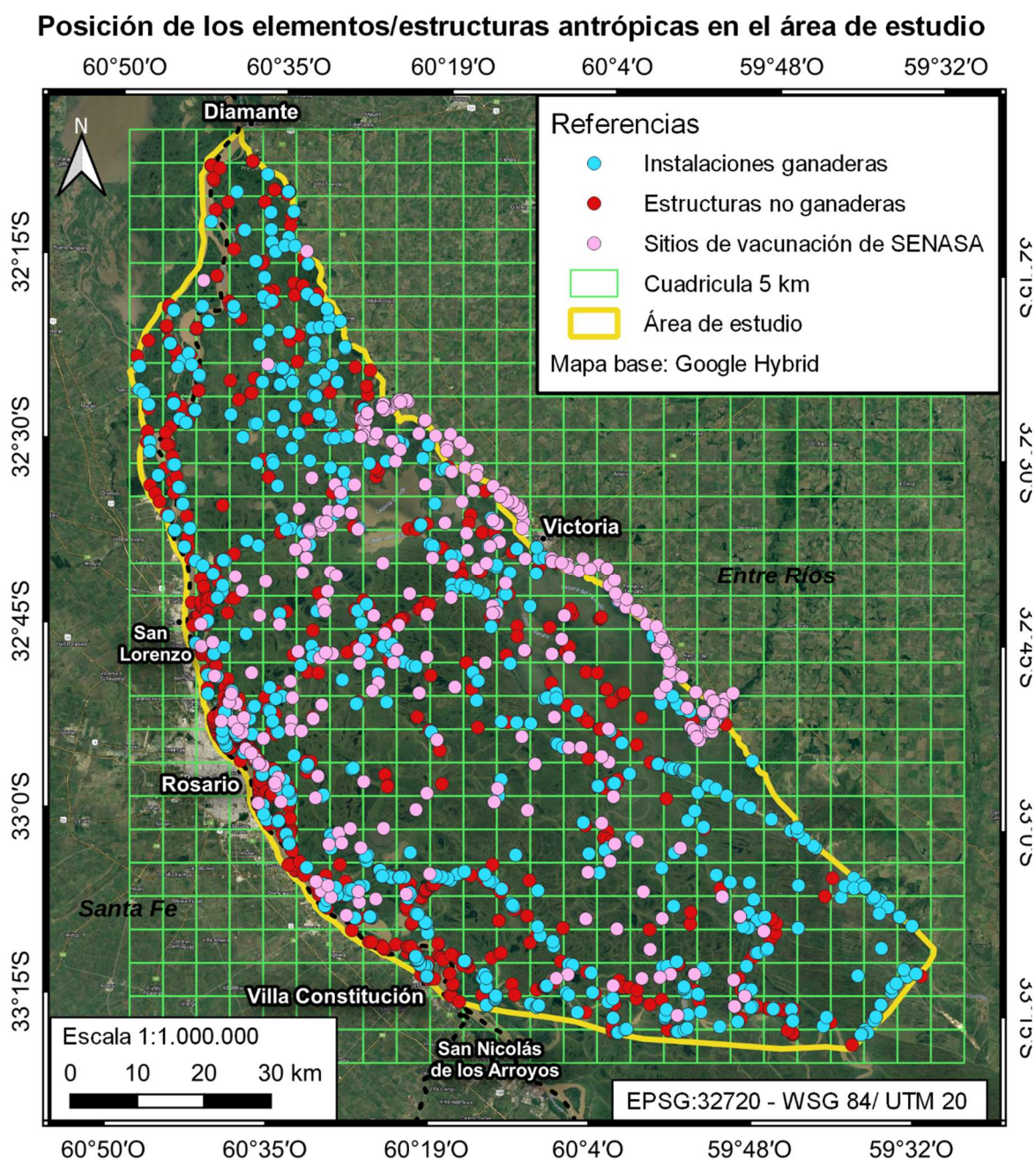


Figura 40. Geolocalización de los elementos/estructuras antrópicas en el área de estudio.

La densidad de focos de calor para la totalidad del área de estudio fue de 0,0310 focos de calor por hectárea. En las superficies de tierra se observaron valores superiores a los de los cursos y cuerpos de agua (Tabla 12).

**Tabla 12: Densidad de focos de calor por tipo de superficie.**

<b>Elementos</b>	<b>Número de focos de calor</b>	<b>Superficie (ha)</b>	<b>Número de focos de calor / Superficie (ha)</b>
<b>Área de estudio</b>	22582	729041,87	0,0310
<b>Tierra</b>	21482	626270,26	0,0343 a
<b>Tierra + Cuerpos no navegables</b>	21828	647545,18	0,0337 a
<b>Cuerpos de agua no navegables</b>	346	21274,93	0,0163 b
<b>Cuerpos de agua navegables</b>	754	81496,69	0,0093 d
<b>Cuerpos de agua</b>	1100	102771,62	0,0107 c

Nota: Las proporciones de focos de calor por hectárea son estadísticamente diferentes entre sí según prueba  $\chi^2$  de Pearson ( $p$ -value =  $2,2e-16$ ; estadístico  $\chi^2 = 3246,7$ ;  $gl = 5$ ). Letras diferentes sucesivas indican diferencias significativas con  $\alpha = 0,05$

Una de las razones que explicaría qué 1100 (4,87%) focos de calor VIIRS S-NPP se ubicaron sobre superficie clasificada como cuerpo de agua es la variación de los niveles de altura del río a lo largo del año, cuyo efecto es que zonas ocupadas por agua puedan secarse y ser sitios donde se produce biomasa vegetal, susceptible de ser material combustible. Como se detalló anteriormente -en el apartado 5.7.1- la superficie ocupada por agua corresponde a la del 8 de septiembre, mientras que los focos de calor corresponden a todo el año 2020, por lo que no contempla la variación en el nivel hidrométrico del río Paraná. Otras razones podrían ser posibles errores en la clasificación de coberturas y la resolución espacial del producto VIIRS que ubica la posición de los focos de calor en el centro de un pixel de 375 m por 375 m (140.625 m<sup>2</sup>). Estos valores se asemejan a los reportados por Tentor (2015).

#### 9.4.1 Relación espacial entre los focos de calor y los cursos y cuerpos de agua

Las densidades mayores se presentaron entre los 400 y los 1200 m mientras que las menores se observaron en el área que incluye los cursos y cuerpos de agua navegables hasta los 400 m y a distancias superiores a 1200 m (Tabla 13).

**Tabla 13: Relación espacial entre los focos de calor y los cuerpos de agua navegables.**

Áreas buffer	Número de focos de calor	Superficie (ha)	Número de focos de calor / Superficie (ha)
Entre 0 y 400 m	9640	293715,54	0,0328 a
Entre 400 y 800 m	5916	149934,36	0,0395 b
Entre 800 y 1200 m	3303	79108,08	0,0417 c
Entre 0 y 1200 m	19613	522756,00	0,0375 d
Mayor a 1200 m	2974	104345,69	0,0285 e

Nota: Las proporciones de focos de calor por hectárea son estadísticamente diferentes entre sí según prueba  $\chi^2$  de Pearson ( $p$ -value =  $2,2e-16$ ; estadístico  $\chi^2 = 415,85$ ;  $gl = 4$ ). Letras diferentes sucesivas indican diferencias significativas con  $\alpha = 0,05$

#### 9.4.2 Relación espacial entre los focos de calor y elementos/estructuras antrópicas

Se detectó una menor densidad de focos de calor cuanto menor es la distancia a las instalaciones ganaderas -descriptas anteriormente en el apartado 5.7.2 como corrales, bretes, tanques de agua-. La densidad fue mayor en las zonas ubicadas a distancias mayores a 1200 y 1600 m (Tabla 14).

**Tabla 14: Relación espacial entre los focos de calor y las instalaciones ganaderas.**

Áreas buffer	Número de focos de calor	Superficie (ha)	Número de focos de calor / Superficie (ha)
Entre 0 y 400 m	461	23699,22	0,0195 a
Entre 400 y 800 m	1157	51048,33	0,0227 b
Entre 800 y 1200 m	1671	66597,23	0,0251 c
Entre 1200 y 1600 m	2097	72502,22	0,0289 d
Mayor a 1600 m	16096	412442,33	0,0390 e

Nota: Las proporciones de focos de calor por hectárea son estadísticamente diferentes entre sí según prueba  $\chi^2$  de Pearson ( $p$ -value =  $2,2e-16$ ; estadístico  $\chi^2 = 878,24$ ;  $gl = 4$ ). Letras diferentes sucesivas indican diferencias significativas con  $\alpha = 0,05$

En cuanto a las estructuras no relacionados con la ganadería -indicadas anteriormente en el apartado 5.7.2 como viviendas, hospedajes, muelles, etc.-, los valores de densidad se aproximan a los obtenidos para las categorías “Tierra” (0,0343) y “Tierra + Cuerpos no navegables” (0,0337). Además, las densidades fueron mayores con respecto a los elementos ganaderos, no obstante, comparte el mismo patrón mencionado con anterioridad (Tabla 15).

**Tabla 15: Relación espacial entre los focos de calor y los elementos y/o infraestructuras no relacionadas con la ganadería.**

Áreas buffer	Número de focos de calor	Superficie (ha)	Número de focos de calor / Superficie (ha)
Entre 0 y 400 m	692	21110,70	0,0328 a
Entre 400 y 800 m	1470	44772,52	0,0328 a
Entre 800 y 1200 m	1887	57838,78	0,0326 a
Entre 1200 y 1600 m	2121	63108,07	0,0336 a
Mayor a 1600 m	16417	439459,29	0,0374 b

Nota: Las proporciones de focos de calor por hectárea son estadísticamente diferentes entre sí según prueba  $\chi^2$  de Pearson (p-value = 9,72e-15; estadístico  $\chi^2 = 71,744$ ; gl = 4). Letras diferentes sucesivas indican diferencias significativas con alfa = 0,05

Se detectó la misma tendencia al efectuar el análisis a partir de las posiciones de los registros del SENASA (Tabla 16).

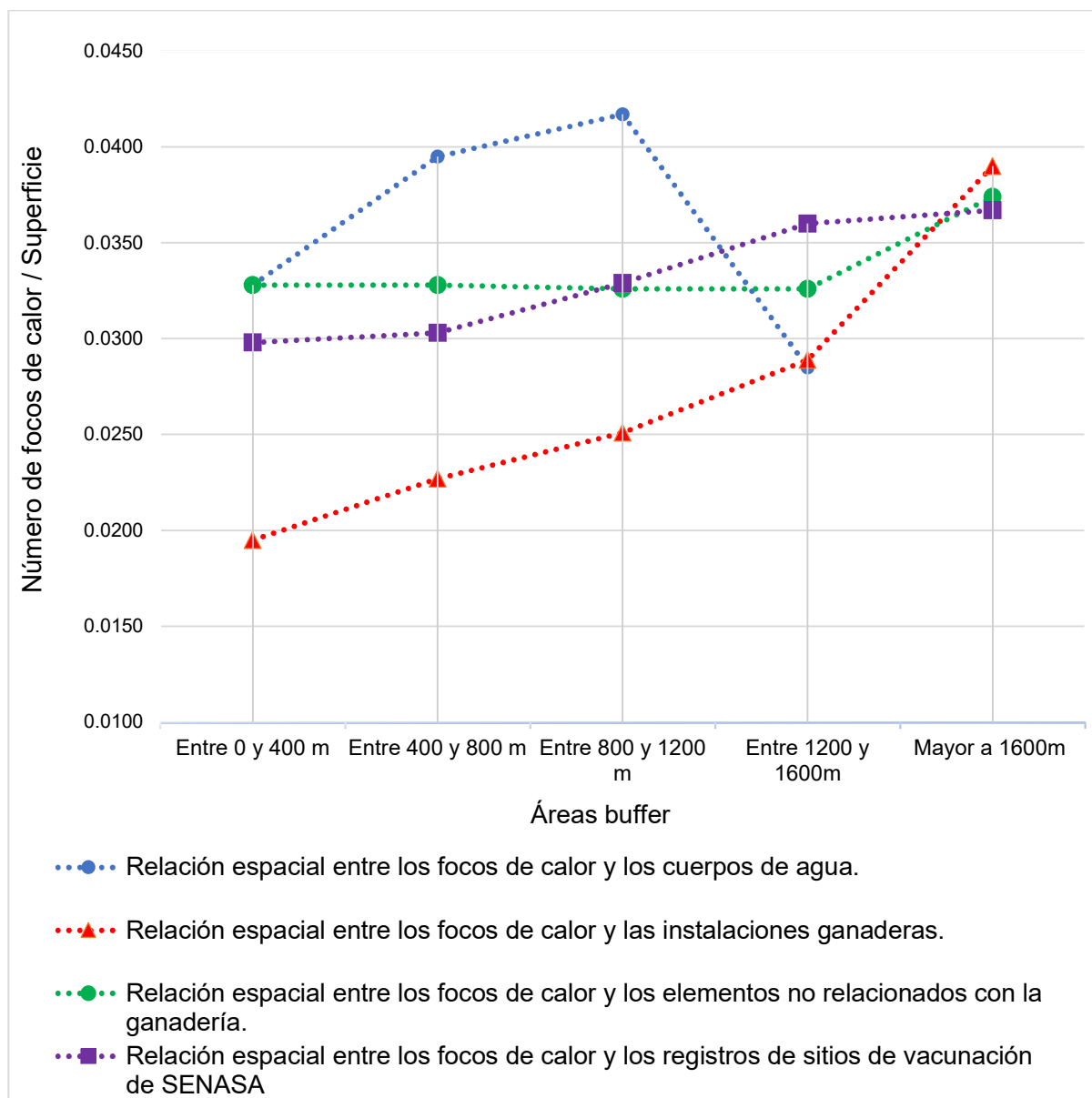
**Tabla 16: Relación espacial entre los focos de calor y los registros de sitios de vacunación de SENASA**

Áreas buffer	Número de focos de calor	Superficie (ha)	Número de focos de calor / Superficie (ha)
Entre 0 y 400 m	283	9485,98	0,0298 a
Entre 400 y 800 m	758	24976,33	0,0303 a
Entre 800 y 1200 m	1177	35779,69	0,0329 a
Entre 1200 y 1600 m	1518	42215,69	0,0360 b
Mayor a 1600 m	18851	513831,73	0,0367 b

Nota: Las proporciones de focos de calor por hectárea son estadísticamente diferentes entre sí según prueba  $\chi^2$  de Pearson (p-value = 3,401e-10; estadístico  $\chi^2 = 50,124$ ; gl = 4). Letras diferentes sucesivas indican diferencias significativas con alfa = 0,05

Se encontró una relación inversa entre la densidad de los focos de calor y la distancia a los elementos antrópicos. Esta relación no se verificó al analizar la distancia a los

cursos y cuerpos de agua, donde las mayores densidades se detectaron en las zonas ubicadas entre los 400 y 1200 m (Figura 41).



**Figura 41: Relación espacial entre los focos de calor y los elementos analizados.** La densidad de los focos de calor se incrementa a medida que aumenta la distancia a los elementos antrópicos; tanto ganaderos como no ganaderos, siendo menor la variación en estos últimos; y también respecto a los registros de SENASA. Esta tendencia no se observa en el caso de los cursos y cuerpos de agua navegables, donde las mayores densidades se observan entre los 400 y los 1200 m.

## 10. DISCUSIÓN

### 10.1 Área quemada

El porcentaje obtenido de área quemada durante todo el año 2020 en la zona de estudio -27,87%- se aproxima al porcentaje de 21% para todo el territorio del PIECAS reportado en el Informe de superficies afectadas por incendios en el Delta e Islas del Río Paraná (Territorio PIECAS-DP) del Año 2020 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la Argentina (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la Argentina, 2021).

El mayor porcentaje obtenido en este estudio, con respecto al total del PIECAS-DP, puede explicarse debido a que esta área fue una de las más afectadas de todo el humedal en el periodo considerado. Según dicho informe, los incendios se concentraron en el sector denominado Delta Medio, ubicado al sur de las ciudades de Diamante y Coronda hasta las ciudades de San Nicolás y Gualeguay. Este sector coincide en gran parte con el Delta Superior definido por Burkart (1957) -designación que se emplea en esta Tesina para el área seleccionada-. Los valores de área quemada acumulada obtenidos fueron de 131.177,80 ha hasta el 8 de septiembre y de 203.207,61 ha hasta el 22 de noviembre, asemejándose a los obtenidos por el informe en el área comprendida por las zonas ganaderas denominadas Delta Superior (ZG-1)<sup>6</sup>, Sector Norte del Delta Medio (ZG-2) y Sector No Insular Desembocaduras de Arroyo Nogoyá y Clé y Río Gualeguay (ZG-3). En estas zonas, desde enero a septiembre de 2020 se quemaron 15.304 ha, 150.879 ha y 1.388 ha, respectivamente, sumando un total de 182.875 ha.

Además, el referido informe reportó que la Unidad de Paisajes de Humedales, Humedales de los lóbulos deltaicos del Holoceno Medio Victoria (UPH 6) definida por Kandus et al. (2019) -también comprendida en el área de estudio de este trabajo -, fue una de las más afectadas con unas 182.300 ha quemadas, es decir, que aproximadamente el 70% de esta UPH se quemó en 2020 -38% del área total quemada del PIECAS-. Si a esta superficie se le suman las 11.733 ha quemadas de

---

<sup>6</sup> El Informe “Superficies afectadas por incendios en el Delta e Islas del Río Paraná (Territorio PIECAS-DP) del Año 2020 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la Argentina” adopta como zonificaciones a las Unidades de Paisajes de Humedales (UPH) propuestas por Kandus et.al. (2019) y a las Zonas Ganaderas del Delta del Paraná propuestas por Quintana et al. (2014b).

las unidades Derrames y Espiras de antiguos cauces del Paraná (UPH 4) y las 44.922 ha quemadas de Cresta de Playa (UPH 12), incluidas en el área de estudio, la superficie abarcaría 238.955 ha, superando incluso el área total quemada obtenida en esta Tesina de 203.207,61 ha. Probablemente esta diferencia se deba a que el informe contempla un periodo de tiempo mayor, al tomar también el mes de diciembre, y a que incluya la unidad Cresta de Playa (UPH 12), que posee un sector que excede el área aquí analizada (Anexo 1, Figura 56).

En cuanto al aumento del área afectada a lo largo del año, el porcentaje quemado en el área de estudio desde el 26 de mayo al 8 de septiembre y desde el 8 de septiembre al 22 de noviembre fue de 39,76% y 35,45%, respectivamente, llegando en conjunto al 75,21%. Estos guarismos difieren de los informados por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible para todo el territorio del PIECAS en cuanto al patrón temporal, en el cual se reporta que 94% de las áreas quemadas se identificaron en invierno (82%) y primavera (12%), con el 46% del total de la superficie quemada durante el mes de agosto.

Los porcentajes obtenidos de focos de calor con respecto al total de focos del año 2020 son de aproximadamente el 65% durante el invierno y del 21% a 24% durante la primavera, de modo que también hay una diferencia con ese informe. No obstante, el porcentaje de área quemada en agosto -según éste-, se asemeja a la proporción de focos de calor detectados ese mes con respecto al total de los focos de calor de 2020, siendo alrededor del 38%. Estos resultados también coinciden con los patrones temporales observados por Zamboni et al. (2013) para el periodo 2004-2008, en el cual cerca de la mitad de los incendios ocurren en invierno, con valores medios de ocurrencia mayores en los meses de agosto y septiembre.

En cuanto a los productos satelitales utilizados, ambos sensores VIIRS detectaron cantidades similares de focos de calor, mientras que el sensor MODIS reportó un número mucho menor<sup>7</sup>, no obstante, los valores porcentuales obtenidos en los diferentes periodos de tiempo son similares para los distintos productos.

---

<sup>7</sup> La diferencia registrada en el número de focos de calor de los productos se debe a que los sensores VIIRS S-NPP y VIIRS NOAA-20 poseen una resolución espacial de 375 m; superior a la de 1000 m del sensor MODIS, que resulta en una mayor precisión en la localización de los focos y en un mayor número de detecciones.

## 10.2 Patrones espaciotemporales

Los factores físicos del ambiente y las características de las comunidades vegetales influyen en el proceso de ignición y en el comportamiento de los incendios en cuanto a su intensidad, frecuencia, extensión y temporalidad, tal como afirma Whelan (1995). Entre los factores físicos se encuentran la topografía, el tipo de suelo y las condiciones climáticas, que a la vez se relacionan con características de la vegetación como la composición florística, la densidad poblacional, la cantidad y la distribución horizontal y vertical de la biomasa existente.

De tal modo, una vez iniciado el fuego, el patrón de distribución espacio-temporal de los focos de calor observados en el Delta Superior podría ser explicado, en parte, por los fenómenos climáticos, como las precipitaciones, el viento, la humedad atmosférica y la altura hidrométrica del río Paraná. Estos factores determinan las condiciones de humedad del suelo y del contenido de agua de la biomasa vegetal, que, a su vez, también depende de los ciclos fenológicos de la vegetación. Otro factor a considerar es el proceso de antropización del humedal, ya que la presencia de asentamientos humanos -sean permanentes o temporales- y las actividades como la ganadería, la caza y pesca, el turismo y la recreación podrían estar asociadas a eventos de incendios intencionales o bien accidentales.

La falta de homogeneidad observada en cuanto a la distribución espacial y temporal de los focos de calor -descrita en los apartados 9.1, 9.2 y 9.4- puede ser interpretada como un indicio de su origen antrópico: si los focos ígneos fuesen originados por causas naturales, su patrón espacial debería ser aleatorio, con lo cual su densidad debería ser similar para las diferentes zonas del área de estudio. No obstante, estas diferencias también podrían explicarse por su heterogeneidad en cuanto a la disponibilidad y distribución de la biomasa, tipo de especies vegetales y condición fenológica, factores edáficos varios, grado de anegamiento, presencia de cuerpos de agua, entre otros. Otros factores estarían vinculados con un origen antrópico, principalmente relacionado con la posibilidad de acceso a las diferentes regiones, derivada de la cercanía a las vías de navegación y de caminos, y la distancia a los conglomerados urbanos.

En los mapas obtenidos se observa que las zonas con menor densidad de focos de calor son aquellas más alejadas de los asentamientos humanos (sectores este y noreste) y aquellas en donde se presentan lagunas de amplia extensión (sector centro-este). Mayores densidades se observan en el sector central y en los sectores oeste y suroeste, posiblemente vinculado a la facilidad de acceso, la mayor presencia de cursos y cuerpos de agua navegables, la cercanía a los centros urbanos y a las vías de transporte terrestres como es el caso del Puente Rosario-Victoria.

Como es sabido, la densidad de los focos de calor es mayor en los sectores de tierra que en los sectores clasificados como agua. Como se mencionó anteriormente en el apartado 9.4, la presencia de focos de calor en las masas de agua se debería a los siguientes motivos: las variaciones en la altura hidrométrica del río Paraná que provoca que se sequen sitios de alta producción de biomasa vegetal susceptible de ser quemada; a errores en la clasificación de las coberturas; y a la resolución espacial de los productos de focos de calor. El primer factor mencionado también podría explicar la mayor densidad detectada en los cuerpos de agua no navegables con respecto a los cuerpos de agua navegables.

Dado que las mayores densidades se presentaron entre los 400 y los 1200 m de distancia con respecto a los cursos y cuerpos de agua, y no en sus inmediaciones, esto probablemente sea un indicio de que no serían los visitantes ocasionales los posibles responsables de los incendios, como se desarrollará en el apartado 10.4.

Las escasas diferencias entre los valores de densidad de focos de calor obtenidos entre las categorías “Tierra” y “Tierra + Cuerpos no navegables” con respecto a las de los elementos y/o infraestructuras no relacionadas con la ganadería y con los registros de sitios de vacunación de SENASA, se deberían a la amplia extensión y al gran número de eventos de incendios que afectan toda el área de estudio. Si se dan las condiciones de abundante disponibilidad de biomasa, alta conectividad y vientos, existe la posibilidad de que el fuego se propague abarcando un amplio territorio, de forma tal que un mismo evento de incendio quedará representado por un gran número de focos de calor y por lo tanto la densidad de los mismos en el área afectada sería mayor. Además, por esta misma razón, la ubicación de focos de calor resultantes puede diferir con respecto a las de los sitios de origen de los incendios, debido a que el fuego puede desplazarse considerablemente.

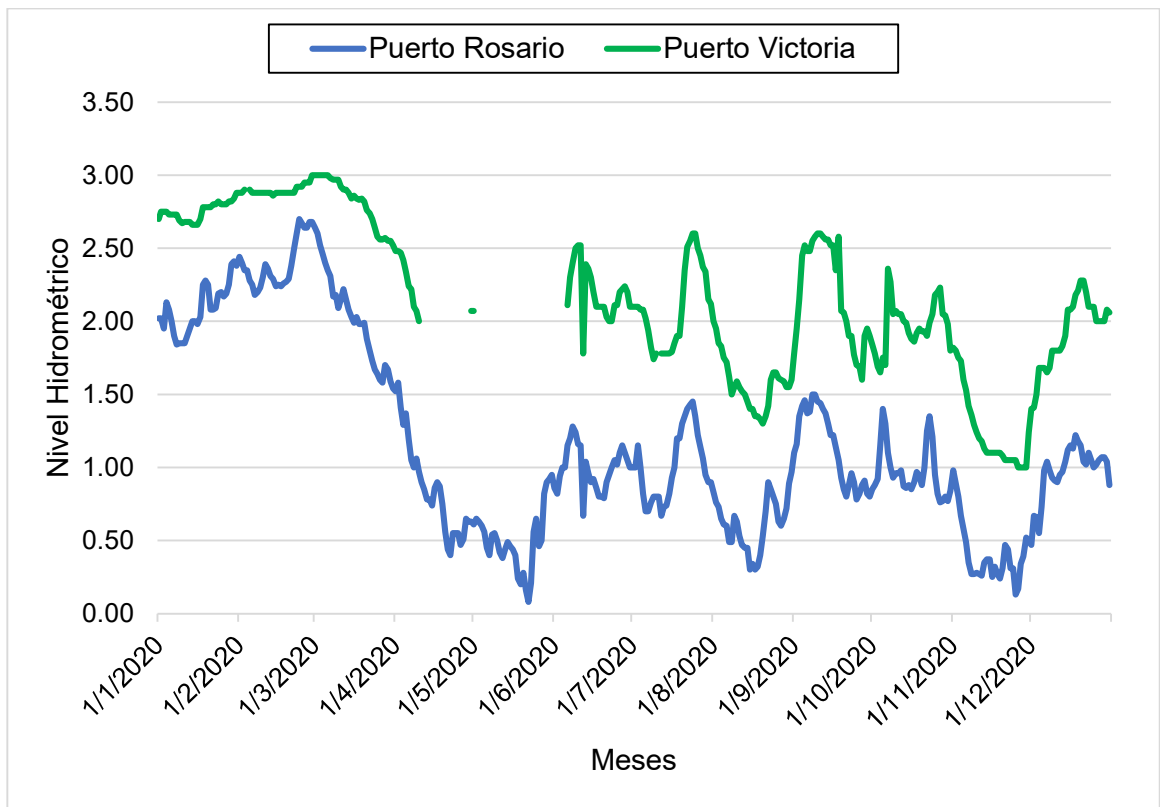
En cuanto a la tendencia observada sobre la relación inversa entre la densidad de los focos de calor y la distancia a estructuras y elementos antrópicos, especialmente en el caso de las instalaciones ganaderas, se explicaría porque no se realizarían quemas de manera deliberada en sus inmediaciones para evitar daños en la infraestructura, el ganado e incluso en los seres humanos. A la vez, la cercanía de estos lugares llevaría a un más rápido control y extinción de los incendios.

Una limitación técnica para confirmar esta tendencia es la resolución espacial del sensor VIIRS S-NPP cuyo tamaño de pixel es de 375 m de lado, que no permite detectar diferencias más sutiles entre los 0 y los 400 m de distancia a los elementos considerados.

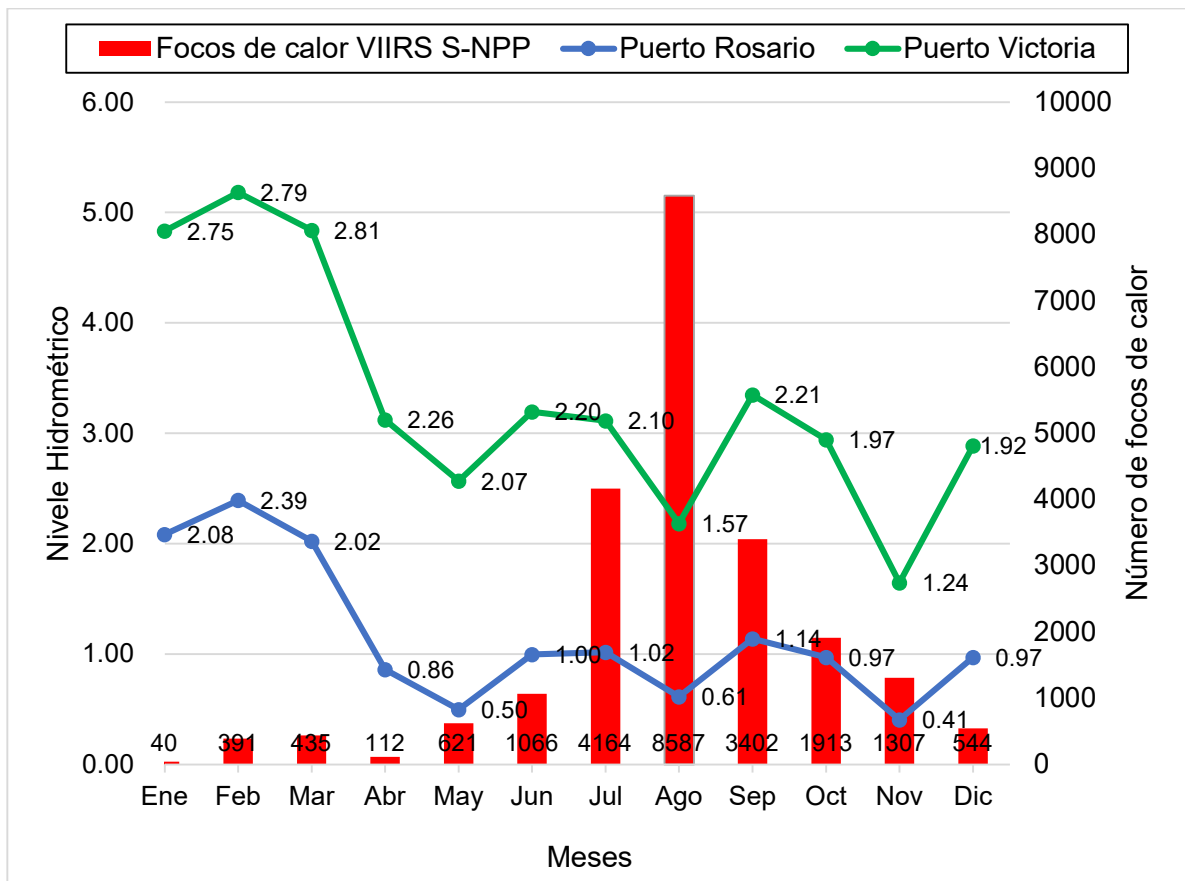
### **10.3 Variables ambientales**

Desde mediados de 2019, la sequía ha sido extrema. Según los datos provistos por el Centro de Informaciones Meteorológicas de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas de la Universidad del Litoral (FICH-UNL), en 2020, la altura hidrométrica media del río Paraná registrada en la estación Puerto Rosario fue de 1,18 m, con un máximo de 2,70 m y un mínimo de 0,08 m, mientras que en la estación Puerto Victoria fue de 2,16 m con un máximo de 3,00 m y un mínimo de 0 m. Estos valores se ubican por debajo del valor promedio de 3,35 m del periodo comprendido entre los años 1996 y 2020, reportado por el INA (Figura 42).

Nuestros resultados mostraron que durante la segunda mitad del año se observa una mayor presencia de focos de calor que tiene gran correspondencia con el periodo del año en el que la altura del río Paraná es más baja (Figura 43). Esto concuerda con el análisis de correlación de Spearman realizado por Zamboni et al. (2013) que sugiere que existe una correlación negativa entre la altura media mensual del río y el número de incendios ocurridos en el período 2004-2008.

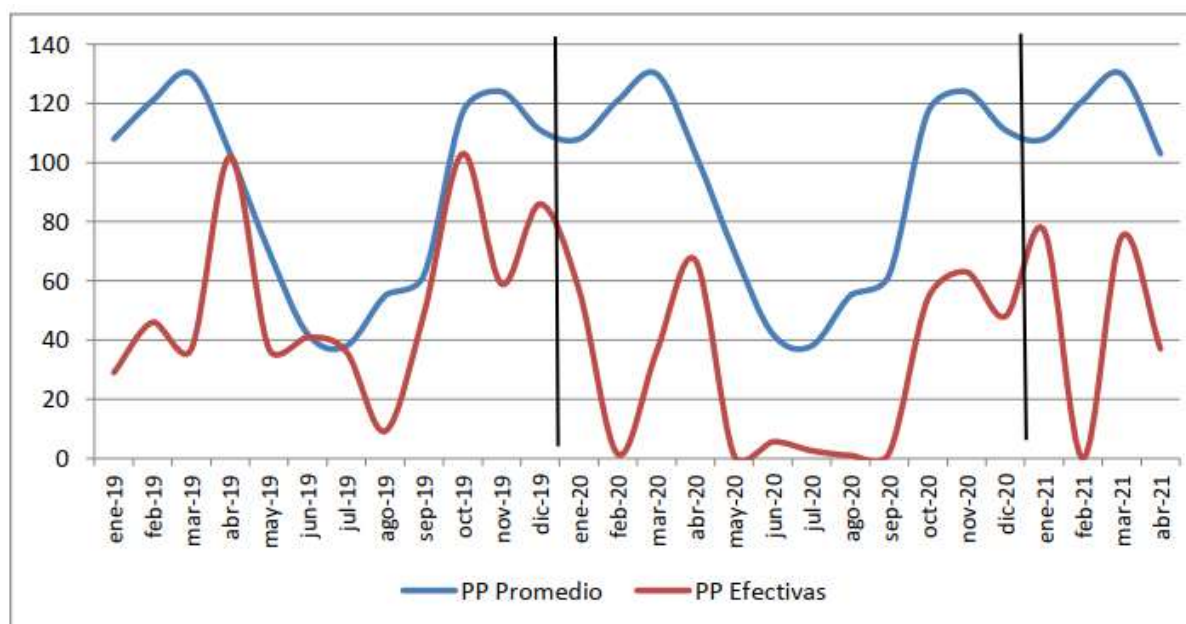


**Figura 42. Nivel hidrométrico del río Paraná en Rosario y Victoria.** Fuente: Elaboración a partir de datos provistos por el Centro de Informaciones Meteorológicas de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas de la Universidad del Litoral (FICH-UNL). \*La Guardia Costera argentina no pudo medir los niveles del río Paraná en Victoria entre abril y junio de 2020” (Télam, 2021).



**Figura 43. Patrón de ocurrencia de los focos de calor en relación a la altura del río Paraná.** Elaborada a partir de datos provistos por el Centro de Informaciones Meteorológicas de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas de la Universidad del Litoral (FICH-UNL).

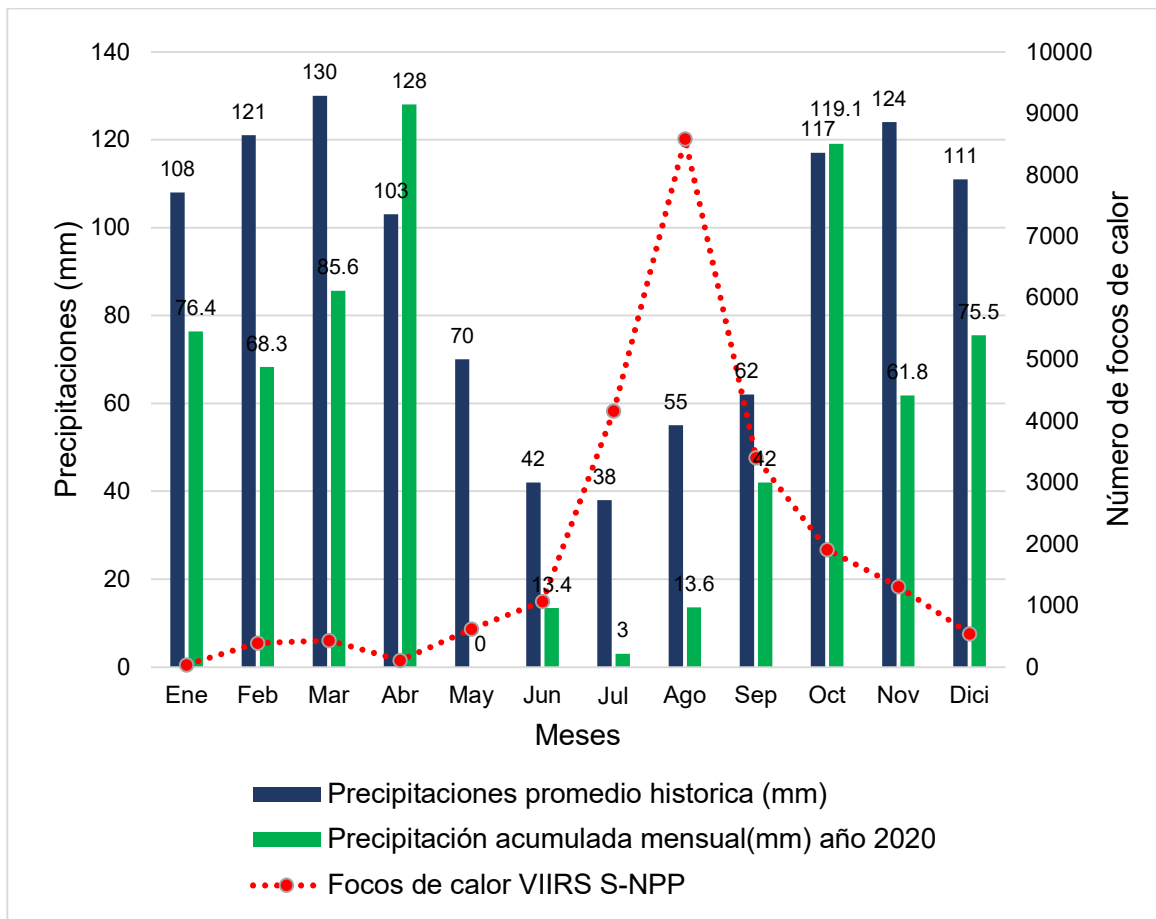
Por otro lado, según el Servicio Meteorológico Nacional, las precipitaciones registradas en el año 2020 fueron de 686,7 mm, resultando menores al promedio histórico. Este descenso no fue excepcional, dado que desde el año 2019 hubo una disminución con respecto a los valores promedios históricos (Observatorio Ambiental UNR, 2021) (Figura 44).



**Figura 44. Precipitaciones promedio y efectivas en el período de enero 2019 a abril de 2021.**  
Fuente: Observatorio Ambiental UNR (2021).

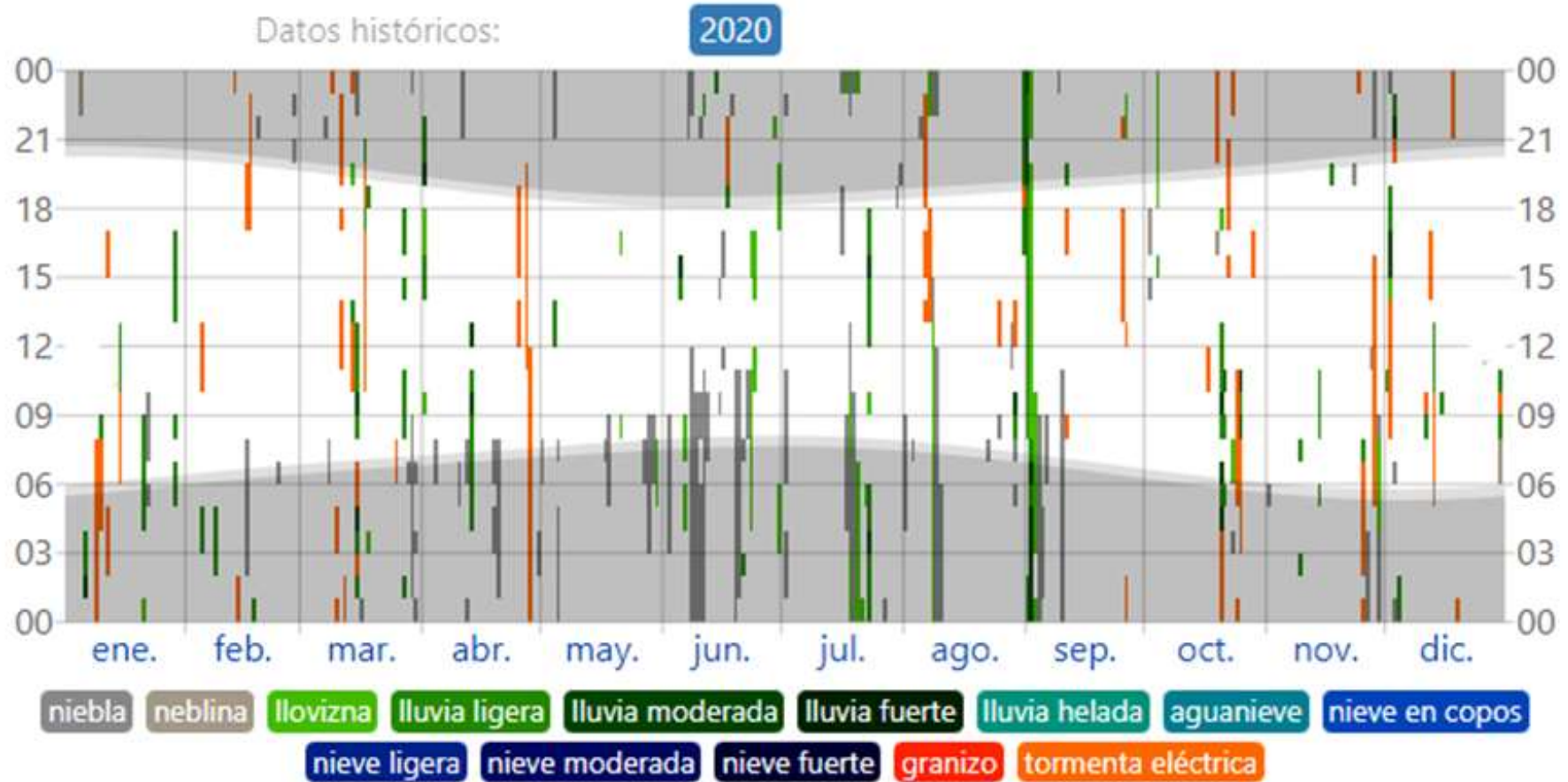
En los meses de julio, agosto y septiembre, los niveles de precipitaciones registrados fueron de 3 mm, 13,6 mm y 42 mm, respectivamente (según el Servicio Meteorológico Nacional). Es decir, muy por debajo de los valores promedio de 38 mm, 52 mm y 62 mm del periodo 1991-2021 (Climate Data, s.f.); como se vio, en estos meses se detectó una mayor cantidad de focos de calor (Figuras 45 y 46)<sup>8</sup>.

<sup>8</sup> Durante el 2020, se registraron precipitaciones -lloviznas o lluvias- los días 9, 10, 12, 15, 21, 28 de enero; 5, 8, 14, 16, 17 y 18 de febrero; 10, 12, 14, 15, 17 y 28 de marzo; 1, 14, 25, 27, y 28 de abril; 4, 21 y 30 de mayo; 5, 6, 11, 14, 17, 21, 23, 24 y 30 de junio; 17, 18, 20, 21, 22, 23 de julio; 6, 7, 8, 25 y de 29 agosto; 1, 2, 3, 11, 25 y 26 de septiembre; 4, 17, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25 y 28 de octubre; 9, 15, 17, 24, 25, 28 y 29 de noviembre y 1, 2, 3, 4, 11, 12, 13, 15, 18, 19 y 30 de diciembre. Fueron de mayor intensidad las del 17 y 18 de febrero; 14, 15, 17 y 28 de marzo; 14, 25, 27, y 28 de abril; 17, 21, 23, 24 y 30 de junio; 17, 18, 20, 21, 22, 23 de julio, 17, 21, 23, 24 y 30; 25 y de 29 agosto; 20, 21, 22, 23, 24, 25 y 28 de octubre, 1, 2, 3 y 11 de septiembre; 28 y 29 de noviembre (Weather Spark, s.f.).



**Figura 45. Precipitaciones en la ciudad de Rosario. Promedios históricos: 1991-2021, precipitación acumulada mensual (mm) año 2020 y cantidades mensuales de focos de calor VIIRS S-NPP del año 2020.** Fuente: Climate-data.org y Servicio Meteorológico Nacional - Estación Meteorológica Rosario Aero.

## Tiempo observado en 2020 en Rosario



*El tiempo observado por hora, codificado por color por categoría (en orden de gravedad).*

Figura 46. Precipitaciones por hora y día, año 2020. Fuente: Weather Spark (s.f.).

Las fechas de ocurrencia de las precipitaciones coinciden con periodos de disminución en los registros de focos de calor, como se observa, por ejemplo, durante la semana del 23 de febrero, del 21 y 29 de marzo, del 21 y 28 de junio, del 30 de agosto, del 18 de agosto y del 29 de noviembre (Figura 48). Estos resultados indicarían que la fuente de ignición de los incendios no serían las descargas eléctricas dado que no se detecta una mayor cantidad de focos de calor luego de los eventos de tormentas, sino que sucede lo contrario.

La nubosidad es otro fenómeno climático que tiene relación con las precipitaciones y que podría influir en los patrones temporales de los focos de calor observados. La cobertura nubosa impide o dificulta el proceso de detección satelital de los focos de calor de la superficie terrestre conduciendo a errores de omisión. Existe correspondencia entre los periodos en que hay una disminución en la cantidad registrada de focos de calor y en los periodos de ocurrencia de nubes, no obstante; este fenómeno no es suficiente para explicar las tendencias observadas en periodos de tiempo más amplios<sup>9</sup>.

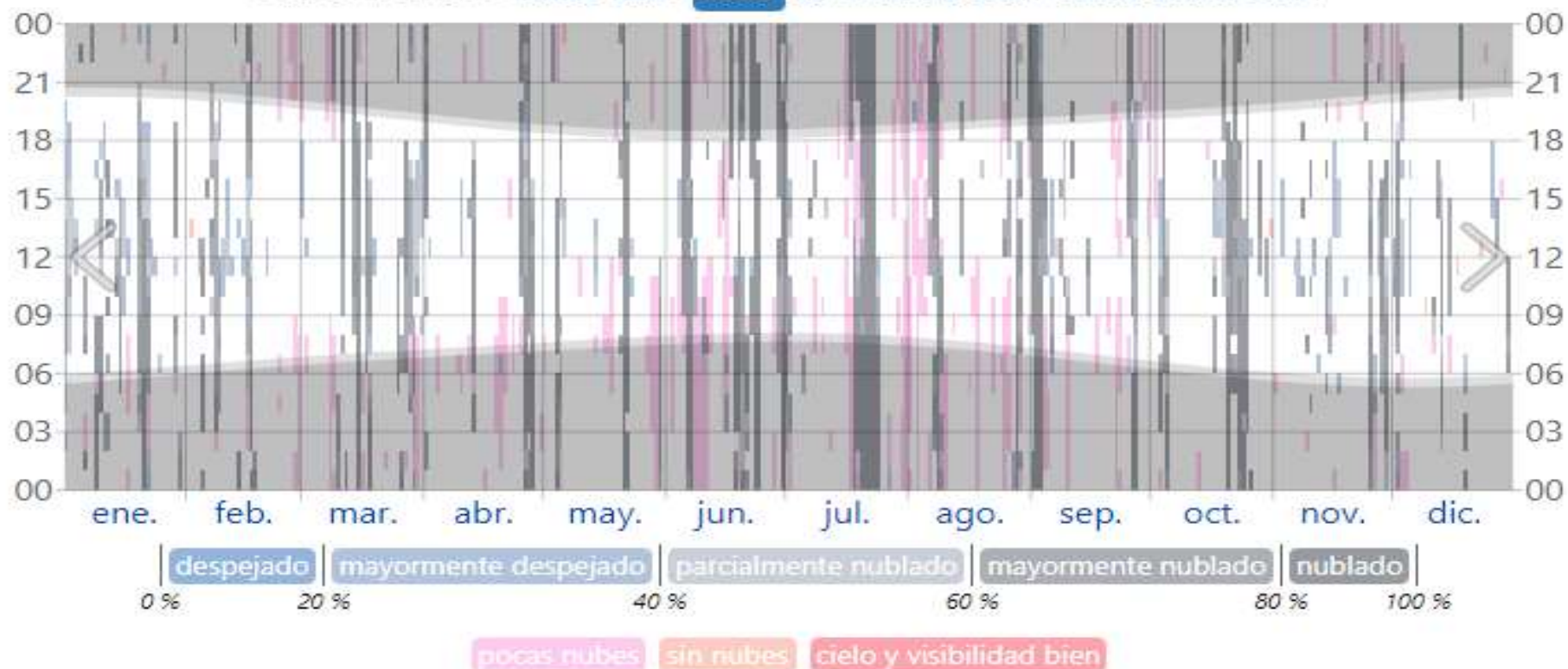
---

<sup>9</sup> Hubo presencia de nubosidad los días 1, 2, 3, 4, 6, 9, 10, 11, 12, 14, 15, 20, 21, 22, 29, 30 de enero; 6, 7, 8, 9, 16 y 17 de febrero; 9, 10, 11, 14, 15, 17, 18, 25, 26, 27, 28, y 29 de marzo; 1, 13, 25, 26, 27 y 28 de abril, 4, 5, 21, 22, 30 de mayo; 5, 6, 7, 8, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 29 y 30 de junio; 1, 2, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24 de julio; 7, 8, 9, 14, 25, 26, 28, 29, y 31 de agosto; 1, 2, 3, 4, 8,9,10,11, 15, 25, 26, y 27 de septiembre; 3, 4, 5, 17, 18 ,19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 28 y 30 de octubre; 8, 10, 14, 15, 17, 24, 25, 28 y 29 de noviembre; y 1, 2, 12, 13, 15, 27 y 30 de diciembre (Figura 47).

## Nubosidad en 2020 en Rosario

[Vínculo](#) [Descargar](#) [Comparar](#) [Promedios](#)

Datos históricos: 2022 2021 **2020** 2019 2018 2017 2016 2015 2014

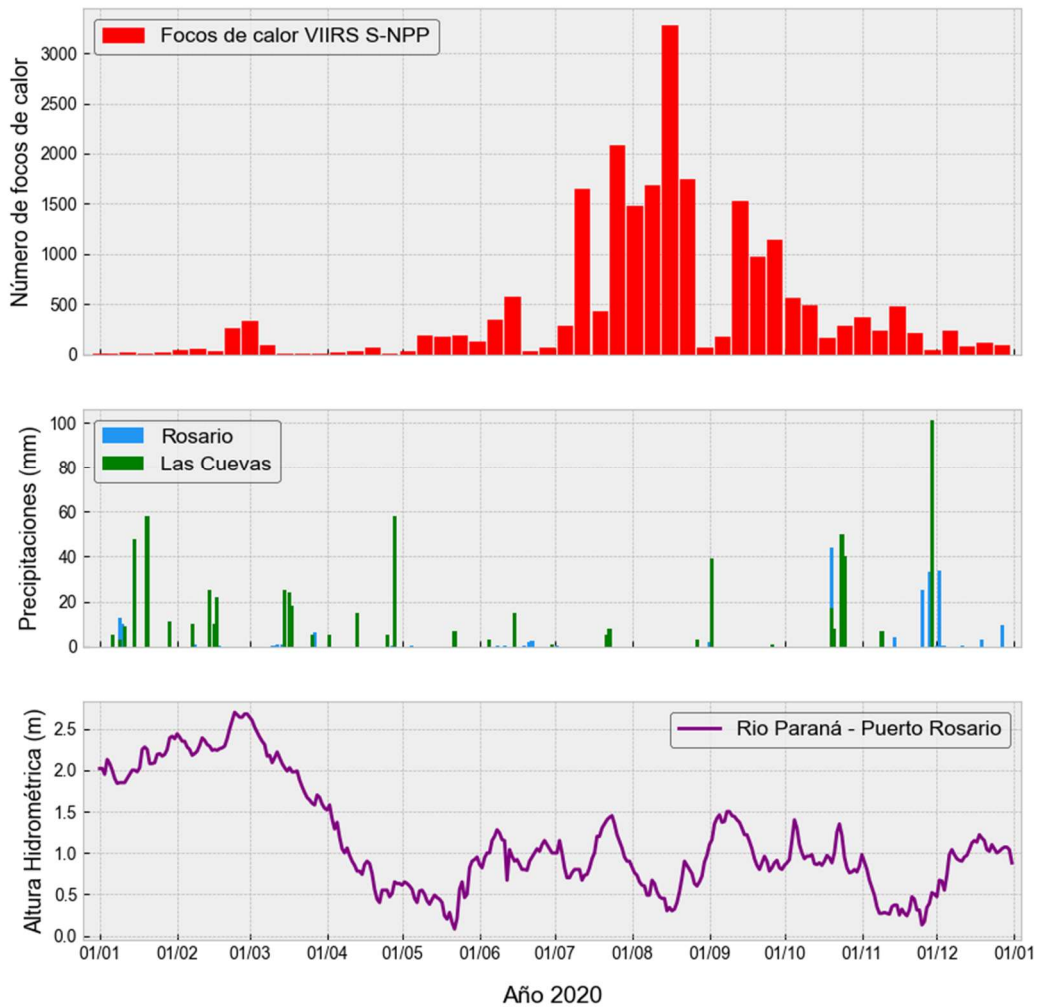


*La cobertura de nubes reportada por hora, categorizada según el porcentaje del cielo cubierto de nubes.*

**Figura 47. Cobertura nubosa por hora y día, año 2020.** Fuente: Weather Spark (s.f.).

Las condiciones de sequía asociadas a los bajos niveles de altura hidrométrica del río Paraná y al déficit de precipitaciones reducen la disponibilidad de agua en los humedales. Esto provoca que los corredores húmedos que conectan tramos de aguas abiertas se sequen o disminuyan su superficie, causando un aumento de la conectividad entre los diferentes sectores del humedal y la disminución de barreras que detengan el avance del fuego. Además, el déficit hídrico también favorece el secado de la biomasa. Las zonas de lagunas, arroyos y riachos son lugares donde la producción de biomasa vegetal tiene niveles que van desde medios a altos, siendo una fuente considerable de material combustible al secarse. En consecuencia, las condiciones de alta conectividad y de alta disponibilidad de biomasa seca favorecen el proceso de dispersión y propagación de los incendios y la duración de los mismos, explicándose de este modo su aumento, con una mayor extensión, intensidad y duración en los meses de mayor sequía. La ausencia de lluvias contribuye a que los incendios permanezcan activos y puedan extenderse tanto espacial como temporalmente. Generalmente, las precipitaciones provocan su extinción y, por consiguiente, la desaparición de los focos de calor, en tanto estas no sean muy leves.

### Distribución temporal de los focos de calor y variables climáticas



**Figura 48. Distribución temporal de los focos de calor y variables climáticas.** Fuentes: Elaborado a partir de datos de precipitaciones provistos por Servicio Meteorológico Nacional y por la Dirección de Hidráulica de Entre Ríos, y datos de altura hidrométrica del río Paraná otorgados por el Centro de Informaciones Meteorológicas de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas de la Universidad del Litoral (FICH-UNL).

La situación de sequía favorece las condiciones para que ocurra el alto número de focos registrados durante los meses de julio, agosto y septiembre. En tanto que los descensos abruptos en el número de registros producidos en determinados momentos se deberían a las precipitaciones o la presencia de nubosidad. Los factores mencionados explicarían los patrones de distribución de los incendios, aunque no sus causas.

Desde el 30 de agosto al 12 de septiembre se destaca una caída drástica en el número de focos de calor registrados, que altera la tendencia general observada en ese periodo, al pasar de un promedio semanal de 2021,3 focos de calor VIIRS desde el 26 de julio hasta el 29 de agosto, a 80,5 y 194,5 en las semanas del 30 de agosto y del 6 de septiembre (Anexo 1, Tabla 17 y Figura 49). Este descenso podría deberse a las condiciones climáticas de precipitación. Según el Servicio Meteorológico Nacional, en Rosario desde el 29 de agosto al 2 de septiembre se registraron 33 mm de lluvia, mientras que el día 2 de septiembre, en la localidad de Las Cuevas del Departamento Victoria, se registraron 39 mm según la Dirección de Hidráulica de Entre Ríos. No obstante, también podría tener otras causas relacionadas con acciones humanas. Durante el mes de agosto, Prefectura Naval Argentina y la Dirección de Delitos Rurales y de Seguridad Vial de la Policía de Entre Ríos realizaron operativos de control en las zonas del humedal del Departamento Victoria, cuyo resultado fue la detención de individuos e imputación como presuntos autores de quemas intencionales. El día 3 de agosto cuatro personas, dos de ellas menores de edad, fueron detenidas por iniciar un incendio en la zona de islas frente a la ciudad de Puerto General San Martín (Rosario Plus, 2020). El día 6 de agosto fueron demoradas siete personas por quemas en la zona de islas de Rosario (El Litoral, 2020), mientras que el 18 de agosto detuvieron a cinco personas por provocar incendios en el islote La Paloma Grande y notificaron a otras 116 (Télam, 2020).

#### **10.4 Actividades socio productivas**

La quema es considerada por algunos sectores como una práctica “tradicional” de manejo que, aunque esté prohibida sin autorización previa<sup>10</sup>, sigue siendo muy extendida. En el Delta Superior, el porcentaje de productores que la realizan es alto o muy alto. Según Quintana et al. (2014b) estas quemas se llevan a cabo a fines de invierno con el fin de promover el rebrote de especies forrajeras y obtener pastos tiernos en primavera, garantizando de este modo una continua disponibilidad de alimento para el ganado. Bó y Quintana (2013b) sostienen que hay quemas que no

---

<sup>10</sup> Las quemas prescriptas están autorizadas en Entre Ríos mediante la Ley provincial N° 9868 de 2008 y en Buenos Aires por la Ley provincial N° 14892 de 2017 y su decreto reglamentario 1109/2022. Las autoridades de aplicación son la Secretaría de Ambiente de la Provincia de Entre Ríos y los Ministerios de Seguridad, de Ambiente y de Desarrollo Agrario de la Provincia de Buenos Aires, organismos que definen los lineamientos y mecanismo de registro, inscripción y permiso de solicitudes de quemas prescriptas para productores agropecuarios y forestales.

se realizan con fines ganaderos sino para limpiar ciertos sectores de vegetación rústica y densa a fin de acceder a ellos para cazar especies como coipos y carpinchos o para pescar. Quintana et al. (2014b) consideran que algunos pobladores también las hacen para despejar parcelas pequeñas, favorecer el rebrote en períodos secos y así alimentar a sus escasos animales domésticos, sembrar maíz o cultivar algunas hortalizas con fines de subsistencia.

La presencia de ganado y personas en el humedal da lugar a una menor cantidad de incendios. De tal modo, coincidiendo con estos autores, la dinámica de la producción ganadera podría explicar bastante bien la distribución temporal y espacial de los focos de incendios. Desde principios de enero hasta finales de junio el número de focos detectados por semana se mantiene bajo en relación a los meses de julio, agosto, septiembre y la primera mitad de octubre. Algo similar sucede desde la segunda mitad de octubre hasta diciembre. Estos meses con menor cantidad de focos coinciden en gran parte con el periodo de permanencia del ganado en las islas para su engorde, es decir desde septiembre hasta abril-mayo, cuando hay mayor producción vegetal. Durante el invierno la biomasa vegetal es más escasa, de menor calidad, y se encuentra seca debido a cuestiones asociadas a la fenología de las comunidades dominantes de la vegetación y a las condiciones climáticas que conducen a una menor disponibilidad de agua -como se ha mencionado con anterioridad-. Estas situaciones desfavorecen la alimentación del ganado en las islas, de modo que es trasladado a su lugar de origen o alimentado con otras fuentes. Durante este periodo -julio, agosto y septiembre- se concentra la mayor cantidad de registros de focos de calor, con lo cual podría inducirse la realización de quemas con fines productivos.

Si los incendios tuviesen un origen humano relacionados con actividades de turismo, recreación, caza y pesca; -sean accidentales o intencionales-, su localización y propagación estarían sujetas a algunas variables. Las personas que acceden al humedal a través de embarcaciones, con frecuencia acampan y desarrollan sus actividades en las cercanías de los cursos y cuerpos de agua y difícilmente se internan en el humedal, de modo que los focos de calor deberían originarse y concentrarse en esos sitios, no obstante, su densidad es menor en comparación con las zonas más alejadas. Además, dado que los meses de verano son el momento de mayor actividad turística podría presumirse que los incendios se concentraran en estos meses, sin embargo, esto no es lo observado. Por otra parte, en el contexto de la pandemia de

COVID-19, el Poder Ejecutivo Nacional declaró mediante el decreto 297/2020, y sus sucesivas modificaciones, el aislamiento social preventivo y obligatorio, estableciendo restricciones a la circulación de la población. Esta situación se prolongó desde el mes de marzo de 2020 hasta junio de 2021, por lo que durante la mayor parte del año 2020 la actividad turística en el Delta del Paraná estuvo restringida sin que ello redundara en una reducción de los incendios.

### **10.5 Validación del área quemada**

Las áreas quemadas obtenidas a partir de la clasificación de imágenes satelitales, en las dos áreas de análisis -la Isla de los Mástiles ubicada frente a la localidad de Granadero Baigorria y el sector ubicado frente a la localidad de Arroyo Seco- fueron validadas con un 100 por ciento de coincidencia para todos los puntos de verdad de campo. De tal forma, esto estaría indicando que el proceso de clasificación fue adecuado, por lo menos para estas dos áreas. No obstante, se considera que esta validación directa puede ser insuficiente, sobre todo porque el área evaluada es muy grande y los puntos de verdad de campo son acotados a estos dos sectores solamente. Hay que tener en cuenta las dificultades y alto costo de acceso en los paisajes del humedal, incluso en la época de realización existían limitaciones a la navegación por parte de la Prefectura Naval Argentina sobre la jurisdicción Entre Ríos, por lo cual el segundo recorrido se hizo con embarcaciones livianas y a pie en otros pasajes.

Con respecto a la correspondencia entre las áreas quemadas obtenidas y la ubicación de los focos de calor registrados por los productos satelitales, cabe destacar que en la zona del humedal la ocurrencia de falsos positivos en las detecciones de focos de calor es altamente improbable debido a la escasa presencia de estructuras antrópicas que pudieran propiciar este tipo de error. Por lo tanto, la ausencia de concordancia entre el área quemada obtenida y los focos de calor detectados puede deberse a que los focos ígneos tuvieron una corta duración -tanto porque fueron controlados rápidamente o porque la cantidad y/o la extensión de la biomasa combustible eran bajas- de modo tal que estos resultarían en incendios de extensión acotada y de bajo grado de afectación. Por esto, las áreas afectadas pudieron no haber sido detectadas como quemadas en el proceso de estimación.

## 11. CONCLUSIONES

El área quemada durante el año 2020 fue de 203.207,61 hectáreas, equivalente al 27,87% del Delta Superior del Paraná. Las quemas se produjeron de manera sucesiva representando el 2,20% del área total antes del 1 de febrero, el 4,71% de quemas nuevas desde el 1 de febrero y el 26 de mayo, más el 11,08% desde el 26 de mayo y el 8 de septiembre, y el 9,88% desde esa fecha hasta el 22 de noviembre. El porcentaje de requema fue muy bajo -2,03%- , es decir que los incendios se producen en nuevas áreas, ocupando gran parte de la zona central y no los márgenes del área donde están los principales cuerpos de agua.

El mayor porcentaje de quemas ocurrió desde el 26 de mayo al 22 de noviembre representando el 75,21% del total quemado. Esta cifra difiere de la proporcionada por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible para toda el área del PIECAS según el cual el 82% de las quemas ocurren en invierno.

Con respecto a los focos de incendios, su patrón temporal es irregular a lo largo del año, observándose una marcada concentración durante los meses de julio, agosto y septiembre. Los diferentes productos muestran que en promedio el 90% de los focos se producen en el segundo semestre y que el 38% corresponde al mes de agosto coincidiendo con el porcentaje señalado por Zamboni et al. (2013) para el periodo 2004-2008, pudiendo esto señalar una característica estructural.

En cuanto a la distribución espacial de los focos, de acuerdo con los mapas elaborados sobre la base de su densidad, tampoco se distribuyen de manera homogénea. Al igual que el área quemada, estos se concentran en el sector central y en los sectores oeste y suroeste del Delta Superior. Los mapas bimestrales permiten establecer que la ubicación de los focos varía en el territorio, en los diferentes momentos del año. Según el análisis estadístico, los indicadores permiten concluir que los focos no se producen generalmente en las cercanías de cursos y cuerpos de agua ni de asentamientos humanos -viviendas, instituciones y parajes- e instalaciones ganaderas. Con relación a la hipótesis inicial de esta Tesina, al estar agrupados los focos, las distancias medias entre ellos no corresponden a un patrón aleatorio de modo que puede descartarse un origen natural en la generalidad de los mismos, no

obstante, dicho agrupamiento puede deberse a la forma de propagación de los incendios.

La propagación de los incendios es favorecida por la confluencia de algunas variables como las condiciones de sequía, la bajante del río Paraná -causando una alta conectividad de la biomasa-, la escasa frecuencia y cantidad de precipitaciones, y la fenología de la vegetación en los meses de invierno, que hacen de esta estación la más propensa para este fenómeno -65% de los focos de calor-.

La distribución temporal de los incendios permite afirmar que mientras que el ganado se encuentra en engorde en las islas hay una reducción de los mismos. Los focos disminuyen en septiembre, y más aún en octubre, volviéndose escasos desde noviembre hasta mayo. Los datos demuestran que no hay posibilidad de que se produzcan en su mayoría por causas naturales o por actividades de turismo, recreación, caza y pesca; -sean accidentales o intencionales-, dado que estas se realizan en las cercanías de los cuerpos de aguas.

Quedan abiertos diversos interrogantes para estudios posteriores, relacionados con las causas concretas de los incendios. Con respecto a la relación entre incendios y motivaciones productivas, la falta de uniformidad en la distribución de los focos de calor podría ser explicada por la aptitud ganadera de los diferentes sectores del humedal, según la calidad y cantidad de forraje, es decir que donde no fuera suficiente para alimentar al ganado la densidad de aquellos sería menor. Otras cuestiones a dilucidar son: el impacto de la circulación de personas y del ganado en estas áreas; el efecto de la topografía y el viento en lo que concierne a conectividad y propagación de los incendios; y la relación entre los tipos de coberturas y el patrón de los incendios.

## 12. BIBLIOGRAFÍA

- Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio (NASA). Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS). <https://modis.gsfc.nasa.gov/data/>. Acceso: 19 de febrero de 2021.
- Agencia Espacial Europea (ESA). 2015. Sentinel-2 User Handbook. [https://sentinel.esa.int/documents/247904/685211/Sentinel-2\\_User\\_Handbook](https://sentinel.esa.int/documents/247904/685211/Sentinel-2_User_Handbook). Acceso: 12 de febrero de 2021.
- Aguer F. 2020. Estas quemas no son ganaderas. Campolitoral <https://campolitoral.com.ar/nota/-2978/2020/08/estas-quemas-no-son-ganaderas>. Acceso: 2 de octubre de 2021.
- Anselin L. 1988. A test for spatial autocorrelation in seemingly unrelated regressions. *Economics Letters* 28(4), 335-41.
- Anselin L. 1999. Spatial econometrics, an updated review. Regional Economics Applications Laboratory (REAL). University of Illinois, Urbana-Champaign.
- Aznar MN, Stevenson MA, Zarich L, León EA. 2011. Analysis of cattle movements in Argentina, 2005. *Preventive Veterinary Medicine* 98: 119-127.
- Bergamaschi RB. 2010. SIG Aplicado a segurança no trânsito: estudo de caso no município de Vitória, ES. Monografía (Graduação em Geografia). Departamento de Geografia do Centro de Ciências Humanas e Naturais, Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, Brasil. p. 74.
- Bó RF, Quintana RD. 2013a. Patrones de uso de la fauna silvestre por las sociedades humanas originarias en los humedales del delta del Río Paraná y sectores adyacentes. *Cuadernos del Instituto Nacional de Antropología y Pensamiento Latinoamericano - Series Especiales* 1:149-167.
- Bó RF, Quintana RD. 2013b. Sistema 5e –Humedales del Delta del Paraná. En: Benzaquén L, Blanco DE, Bó RF, Kandus P, Lingua GF, Minotti PG, Quintana RD, Sverlij S, Vidal L (Eds.) *Inventario de los humedales de Argentina. Sistemas de paisajes de humedales del Corredor Fluvial Paraná-Paraguay*. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación. Proyecto GEF 4206–PNUD ARG/10/003. 297-319.
- Brinson M, Malvárez AI. 2002. Temperate freshwater wetlands: types, status, and threats. *Environmental Conservation* 29: 115-133.
- Burkart A. 1957. Ojeada sinóptica sobre la vegetación del Delta del Río Paraná. *Darwiniana*. Tomo 11, 3: 457-561.
- Burkart R, Bárbaro N, Sánchez R, Gómez D. 1999. Eco-regiones de la Argentina. Buenos Aires. Programa Desarrollo Institucional Ambiental. Componente Política Ambiental. Administración de Parques Nacionales. Secretaria de Recursos Naturales y Desarrollo Sustentable. Presidencia de la Nación. p. 42.
- Borús J, Giordano L, Vita Sánchez M, Núñez V, Contreras G, Pereira A. Posibles escenarios hidrológicos en la Cuenca del Plata durante el período agosto-septiembre-octubre 2021. *Alerta Hidrológico de la provincia de Entre Ríos*. Cuenca del Plata.

Instituto Nacional del Agua (INA). 2021. Subsecretaria de Obras Hidráulicas. Secretaria de Infraestructura y Política Hídrica. Ministerio de Obras Públicas. [https://www.hidraulica.gob.ar/informes\\_hidrologicos/ina/informe\\_hidrologico\\_20210808.pdf](https://www.hidraulica.gob.ar/informes_hidrologicos/ina/informe_hidrologico_20210808.pdf). Acceso: 19 de febrero de 2022.

Cao C, Xiong X, Wolfe R, DeLuccia F, Lui Q, Blonski S, Lin G, Nishihama M, Pogorzala D, Oudrari H, Hillger D. 2017. Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS), Sensor Data Record (SDR) User's Guide version 1.3. U.S. Department of Commerce. National Oceanic and Atmospheric Administration. 2017. NOAA Technical Report NESDIS 142. Washington, D.C. USA. p.45. <https://ncc.nesdis.noaa.gov/documents/documentation/viirs-users-guide-tech-report-142a-v1.3.pdf>. Acceso: 19 de febrero de 2021.

Câmara G, Carvalho MS. 2004. Análise de eventos pontuais. En Druck S, Carvalho MS, Câmara G, Monteiro AVM (Eds). Análise Espacial de Dados Geográficos. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Embrapa Cerrados. EMBRAPA. Brasília, Brasil. 2. p. 1-15. Recuperado de <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/analise/cap2-eventos.pdf>. Acceso: 1 de febrero de 2021

Cassidy L. 2007. Mapping the annual area burned in the wetlands of the Okavango Panhandle using a hierarchical classification approach. *Wetlands Ecological Management* 15: 253-268.

Climate Data (s.f.). Clima Rosario, Santa Fe, Argentina. Climate-Data.org. <https://es.climate-data.org/america-del-sur/argentina/santa-fe/rosario-1908/>. Acceso: 20 de mayo de 2022.

Climate Data (s.f.). Clima Victoria, Entre Ríos, Argentina. Climate-Data.org. <https://es.climate-data.org/america-del-sur/argentina/santa-fe/rosario-1908/>. Acceso: 20 de mayo de 2022.

Congedo L. 2016. Semi-Automatic Classification Plugin Documentation. Release 4:29.

Conrad O, Bechtel B, Bock M, Dietrich H, Fischer E, Gerlitz L, Wehberg J, Wichmann V, Böhner J. (2015). System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4, *Geoscientific Model Development* 8: 1991-2007.

Convención Ramsar Relativa a los Humedales de Importancia Internacional Especialmente como Habitación de Aves Acuáticas. Artículo 1. Ramsar, Irán, 2 de febrero de 1971, modificada según el Protocolo de París, 3 de diciembre de 1982.

Cressie N. 1993. *Statistics for Spatial Data*. USA. New York. Wiley. p. 900.

Datos de Niveles Hidrométricos Puesto Victoria, 2020-2021 y Niveles Hidrométricos Puesto Rosario, 2020-2021. Centro de Informaciones Meteorológicas (CIM). Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas. Universidad Nacional del Litoral (UNL).

Decreto 297/2020. 2020. Boletín Oficial de la República Argentina, 19 de marzo de 2020. <https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/decreto-297-2020-335741/actualizacion>. Acceso: 15 de agosto de 2022.

Decreto 6/2022. 2022. Boletín Oficial de la República Argentina, 12 de enero de 2022. <https://www.boletinoficial.gob.ar/detalleAviso/primera/255981/20220112>. Acceso: 14 de agosto de 2022.

Decreto 1109/2022. Boletín Oficial de la Provincia de Buenos Aires, 2 de septiembre de 2022. Recuperado de <https://normas.gba.gob.ar/ar-b/decreto/2022/1109/313043>. Acceso: 5 de junio de 2023.

Delegido J, Pezzol A, Casella AA, Winschel C, Urrego P, Jimenez Munoz, JC, Sobrino J, Sòria Barres G, Moreno J. 2018. Estimación del grado de severidad de incendios en el sur de la provincia de Buenos Aires, Argentina, usando Sentinel-2 y su comparación con Landsat-8. Revista de Teledetección 51:47-60.

Della Ceca LS. 2020. Incendios ocurridos y estimación de área quemada en la provincia de Santa Fe Enero - Julio 2020. Informe Técnico. Rosario. p. 25.

El Litoral. 2020. 7 detenidos en Rosario cerca de un foco de incendio. El Litoral. [https://www.ellitoral.com/sucesos/7-detenidos-rosario-cerca-foco-incendio\\_0\\_UpPa1LiBDr.html](https://www.ellitoral.com/sucesos/7-detenidos-rosario-cerca-foco-incendio_0_UpPa1LiBDr.html). Acceso: 7 de diciembre de 2021.

España M. 2002. Información Espacial para la Gestión de Desastres: La Experiencia de la CONAE. [www.conae.gov.ar/WEB\\_Emergencias/Links\\_del\\_Cuerpo\\_Principal/Gestion\\_Desastres\\_Experiencia\\_Argentina.html](http://www.conae.gov.ar/WEB_Emergencias/Links_del_Cuerpo_Principal/Gestion_Desastres_Experiencia_Argentina.html). Acceso: 15 de agosto de 2022.

Fuentes Santos I, González Manteiga W, Marey Pérez MF. (2009). Procesos puntuales espaciales aplicados al estudio de los incendios forestales en Galicia. IX Congreso Galego IX Congreso Galego de Estadística e Investigación de Operacións Ourense. 67-72. <https://docplayer.es/64119444-Procesos-puntuales-espaciales-aplicados-al-estudio-de-los-incendios-forestales-en-galicia.html>. Acceso: 19 de febrero de 2021.

Gabellini RO, Bitti LG, Galli E, Buscema RM. 2020. Evaluación de la calidad de aire: polvo en aire PM<sub>2,5</sub> y PM<sub>10</sub> acorde a las siguientes legislaciones: pciales. - Ley N° 11.717, Dec. 0101/03 y 1292/04, -Res- Provincial de Santa Fe- Argentina. - N° 0201-2020. Laboratorio de Medio Ambiente de la Facultad de Ciencias Exactas Ingeniería y Agrimensura. Universidad Nacional de Rosario. Observatorio Ambiental UNR. p. 26. <http://observatorioambiental.org>. Acceso: 19 de noviembre de 2020.

Gaitán JJ. 2002. Atributos estructurales y funcionales de los ecosistemas áridos y semiáridos de la Patagonia y su relación con factores abióticos y el uso antrópico. Tesis Doctoral. Universidad de Buenos Aires. Facultad de Agronomía. p. 193.

Giacosa BR, Rodríguez Paz JM, Elberg G, Biasatti R, Algarañaz N, Britos HM. 2016. Ficha informativa Ramsar. Buenos Aires, Argentina. Museo de Ciencias Naturales "P. Scasso", Secretaría de Ambiente de Entre Ríos, Ministerio de Aguas, Servicios Públicos y Medio Ambiente de Santa Fe, Administración de Parques Nacionales. p. 51.

González Olabarria JR, Mola-Yudego B, Coll L. 2015. Different factors for different causes: analysis of the spatial aggregations of fire ignitions in Catalonia (Spain). Risk Analysis 35: 1197-1209.

Hiba J. 2021. Crisis ambiental. Por qué se quema y quiénes son los responsables de los incendios en el Delta. La Nación. <https://www.lanacion.com.ar/sociedad/crisis-ambiental-por-que-se-quema-y-quien-son-los-responsables-de-los-incendios-en-el-delta-nid27092021/>. Acceso: 1 de octubre de 2021.

Informe Litoral. 2020. Expertos explican las causas de los incendios descontrolados en las islas. Informe Litoral. <https://www.informelitoral.com.ar/expertos-explican-las-causas-de-los-incendios-descontrolados-en-las-islas/>. Acceso: 1 de octubre de 2021.

Kandus P, Minotti P. 2018. Propuesta de un marco conceptual y lineamientos metodológicos para el Inventario Nacional de Humedales. Informe final elaborado por solicitud del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable. 3iA-UNSAM. p. 124.

Kandus P, Minotti P, Borro M. 2011. Contribuciones al conocimiento de los humedales del Delta del Río Paraná: herramientas para la evaluación de la sustentabilidad ambiental. San Martín. UNSAM Edita. p. 32.

Kandus P, Minotti P, Morandeira N, Gayol M. 2019. Inventario de Humedales de la Región del Complejo Fluvio-Litoral del Bajo Paraná. Programa Corredor Azul. Fundación Humedales / Wetlands International y Universidad Nacional de San Martín. Buenos Aires, Argentina. p. 202.

Kandus P, Salvia M, Grings F, Alvarez J, Karszenbaum H. 2008. Evaluación de zonas quemadas en el Delta del Río Paraná. Informe Técnico. CONAE. p. 50.

Kawamoto MT. 2012. Análise de técnicas de distribuição espacial com padrões pontuais e aplicação a dados de acidentes de trânsito e a dados de dengue de Rio Claro-SP. Dissertação mestrado. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Instituto de Biociências de Botucatu. São Paulo, Brasil. p. 53.

Key CH, Benson NC. 1999. Measuring and remote sensing of burn severity: the CBI and NBR. En: Neuenschwander LF, Ryan KC (Eds.) Proceedings Joint Fire, Fire Science Conference and Workshop. University of Idaho and International Association of Wildland Fire. Moscow, ID, USA. p. 284.

La Capital. 2021. Revelan que el humo de ayer sobre Rosario puso en riesgo la salud de la población. La Capital. <https://www.lacapital.com.ar/la-ciudad/revelan-que-el-humo-ayer-rosario-puso-riesgo-la-salud-la-poblacion-n2685105.html>. Acceso: 1 de octubre de 2021.

Ley N° 9868. Boletín Oficial de la Provincia de Entre Ríos, 30 de octubre de 2008. Recuperado de [https://www.entrerios.gov.ar/ambiente/userfiles/files/archivos/Plan%20Provincial%20de%202009/Ley\\_y\\_decreto/Ley\\_%209868.pdf](https://www.entrerios.gov.ar/ambiente/userfiles/files/archivos/Plan%20Provincial%20de%202009/Ley_y_decreto/Ley_%209868.pdf). Acceso: 5 de junio de 2023.

Ley N° 14892. Boletín Oficial de la Provincia de Buenos Aires, 1 de febrero de 2017. Recuperado de <https://normas.gba.gob.ar/ar-b/ley/2017/14892/2513>. Acceso: 5 de junio de 2023.

Ley N° 23919. Boletín Oficial de la República Argentina, 24 de abril de 1991. Recuperado de <https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/ley-23919-319/texto>. Acceso: 1 de febrero de 2021.

Ley N° 26815. Boletín Oficial de la República Argentina, 10 de enero de 2013. Recuperado de <http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/205000-209999/207401/texact.htm>. Acceso: 5 de febrero de 2022.

Lucero H. 2020. El fuego arrasó 300 mil hectáreas y devastó flora y fauna de los humedales. Télam. <https://www.telam.com.ar/notas/202010/523320-el-fuego-arraso-300-mil-hectareas-y-devasto-fauna-y-flora-de-los-humedales.html>. Acceso: 1 de octubre de 2021.

Malvárez AI. 1997. Las comunidades vegetales del Delta del Río Paraná. Su relación con factores ambientales y patrones del paisaje. Tesis Doctoral. Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. p.179.

Massa E. 2016. La ganadería en zona de islas. Boletín del Delta Entrerriano. Jueves 19 de mayo de 2016. Año IV N°74. INTA EDICIONES. Ministerio de Agroindustria. p. 2.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la Argentina. 2020. Informe de superficies afectadas por incendios en el Delta e Islas del Río Paraná. Enero-Septiembre 2020. Dirección Nacional de Planificación y Ordenamiento Ambiental del Territorio. p. 31.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la Argentina. 2021. Informe de superficies afectadas por incendios en el Delta e Islas del Río Paraná (Territorio PIECAS-DP). Año 2020. Segunda parte. Implicancia en los humedales. Dirección Nacional de Planificación y Ordenamiento Ambiental del Territorio. p. 37.

Naumann G, Podestá G, Marengo J, Luterbacher J, Bavera D, Arias Muñoz C, Barbosa P, Cammalleri C, Chamorro L, Cuartas A, de Jager A, Escobar C, Hidalgo C, Leal de Moraes O, McCormick N, Maetens W, Magni D, Masante D, Mazzeschi M, Seluchi M, Skansi MM, Spinoni J, Toreti A. 2022. El episodio de sequía extrema de 2019-2021 en la Cuenca del Plata. Luxemburgo. Oficina de Publicaciones de la Unión Europea. p. 49.

Neiff JJ, Iriondo MH, Carignan R. 1994. Large tropical southamerican wetlands: an overview. En: Link GL, Naiman RJ (comps.) Proceedings on the International Workshop on the Ecology and Management of Aquatic-Terrestrial Ecotones. Seattle, USA. Universidad de Washington. p. 156-165.

Observatorio Ambiental UNR. 2021. Informe preliminar sobre la evolución de los niveles fluviométricos y de la pluviometría en la ciudad de Rosario, vinculados al peligro de incendios de comunidades vegetales y a la dinámica del humedal del delta del río Paraná. Centro de Estudios Territoriales. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Rosario. <http://observatorioambiental.org/wp-content/uploads/2021/06/Informe-fluviometr%C3%ADa-y-pluviometr%C3%ADa-01a05-de-2021-3.pdf>. Acceso: 19 de febrero de 2022.

Olaya V. 2014. Sistemas de Información Geográfica. CreateSpace Independent Publishing Platform. p. 854.

Ortega S. 2020. Ecocidio en el delta: Rosario lucha por los incendios en los humedales. La Nación. <https://www.lanacion.com.ar>. Acceso: 1 de octubre de 2021.

QGIS Equipo de Desarrollo. 2020. QGIS Sistema de Información Geográfica. Proyecto de Fundación Geoespacial de Código Abierto. Versión 3.18.0 "Zürich". Recuperado de [Http://qgis.org](http://qgis.org). Acceso: 25 de febrero de 2021.

Quintana RD, Bó RF, Astrada E. 2014a. Conflictos socio ambientales vinculados a la ganadería en los humedales del Delta del Río Paraná. I Congreso Latinoamericano sobre Conflictos Ambientales. Instituto del Conurbano, Universidad Nacional de General Sarmiento. Los Polvorines, Buenos Aires. 65-68.

Quintana RD, Bó RF, Astrada E, Reeves C. 2014b. Lineamientos para una ganadería ambientalmente sustentable en el Delta del Paraná. Wetlands International. p. 131.

Quintana RD. 2020. Ganadería de Islas: una práctica tradicional que se transformó en un problema ambiental. Dos Ambientes. <http://dosambientes.net/>. Acceso: 3 de febrero de 2021.

Ramsey III EJ, Sapkota SK, Barnes FG, Nelson GA. 2002. Monitoring the recovery of *Juncus roemerianus* marsh burns with the normalized difference vegetation index and Landsat Thematic Mapper data. Wetlands Ecological Management 10: 85-96.

Rosario Plus. 2020. Cuatro detenidos por desencadenar un incendio en la zona de islas. Rosario Plus. [https://www.rosarioplus.com/actualidad/politica/cuatro-detenidos-por-desencadenar-un-incendio-en-la-zona-de-islas\\_a5f4aaeff12b5372badfb3e71](https://www.rosarioplus.com/actualidad/politica/cuatro-detenidos-por-desencadenar-un-incendio-en-la-zona-de-islas_a5f4aaeff12b5372badfb3e71). Acceso: 5 de diciembre de 2021.

Salvia MM. 2010. Aporte de la teledetección al estudio del funcionamiento del macrosistema Delta del Paraná: análisis de series de tiempo y eventos extremos. Tesis Doctoral. Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. p. 188.

Selasco S. 2021. Crítico del plan nacional de manejo del fuego, el experto forestal Juan Manuel García Conde aclara que no todos los incendios en el Delta son provocados por el hombre. Bichos de Campo. <https://bichosdecampo.com/critico-del-plan-nacional-de-manejo-del-fuego-el-experto-forestal-juan-manuel-garcia-conde-aclara-que-no-todos-los-incendios-en-el-delta-son-provocados-por-el-hombre/>. Acceso: 2 de octubre de 2021.

Servicio Meteorológico Nacional. 1980. Estadística climatológica. Serie B n° 6. Fuerza Aérea Argentina. Buenos Aires, Argentina. p. 156.

Servicio Nacional de Manejo del Fuego (SNMF). 2020. Reporte diario. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. República Argentina. p. 9. <https://www.argentina.gob.ar/ambiente/fuego/reporte-diario-manejo-del-fuego>. Acceso: 24 de noviembre de 2020.

Sione W, Aceñolaza PG, Zamboni LP, Del Valle H, Serafini MC, Gallardo JF. 2009. Aplicación de la teledetección en la estimación de las emisiones extraordinarias de CO<sub>2</sub> por quemados de áreas insulares en el complejo litoral de Río Paraná (R. Argentina). En Red Iberoamericana de Física y Química Ambiental (Ed.) Emisiones de gases con efecto invernadero en ecosistemas iberoamericanos. p. 255-272.

Sousa AMO, Gonçalves AC, Marques da Silva JR. 2017. Above-Ground Biomass Estimation with High Spatial Resolution Satellite Images. En: Shankar Tumuluru J

(Ed.) Biomass Volume Estimation and Valorization for Energy. Idaho, USA, Idaho National Laboratory. IntechOpen. p. 48-70.

Stamati M, Bono J, Parmuchi MG, Salvia M, Strada M, Montenegro C, Kandus P, Menéndez J. 2008. Evaluación de la superficie afectada por los incendios ocurridos en el Delta del río Paraná en abril de 2008. Reunión Argentina de Ecología.

Télam. 2021. Sigue la bajante del Paraná, por debajo del límite inferior en varias ciudades entrerrianas. Télam. <https://www.telam.com.ar/notas/202106/557869-bajante-del-parana-ciudades-entrerrianas.html>. Acceso: 3 de octubre de 2021.

Télam. 2020. Notificaron a más de 100 personas y detuvieron a cinco por nuevos incendios en islas del Paraná. Télam. <https://www.telam.com.ar/notas/202008/503763-quema-islas-parana.html>. Acceso: 8 de diciembre de 2021.

Tentor F. 2015. Cobertura de suelo, incendios e inundaciones en el Complejo Litoral del Río Paraná (2010-2013). Trabajo Final. Especialización en Teledetección y Sistemas de Información Geográfica Aplicados Al Estudio Del Medio Ambiente. Universidad Nacional de Luján. p. 64.

Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN). 2005. Recomendación 3.097. Conservación del Corredor de Humedales del Litoral Fluvial, Argentina. III Congreso Mundial de la Conservación. Bangkok, Tailandia 2004. Resoluciones y Recomendaciones. Gland, Suiza y Cambridge, UK. p.135.

Universidad Nacional de San Martín. 2020. El delta en llamas: incendios en las islas del Bajo Paraná. Instituto de Investigación e Ingeniería Ambiental. <https://noticias.unsam.edu.ar/2020/08/10/el-delta-en-llamas-incendios-en-las-islas-del-bajo-parana/>. Acceso: 1 de octubre de 2021.

Weather Spark. Datos históricos meteorológicos en el invierno de 2020 en Rosario, Argentina. <https://es.weatherspark.com/h/s/28758/2020/3/Datos-hist%C3%B3ricos-meteorol%C3%B3gicos-del-invierno-2020-en-Rosario-Argentina#Figures-ObservedWeather>. Acceso: 22 de mayo de 2022.

Whelan RJ. 1995. The ecology of fire. Cambridge. University Press. p. 360.

Zamboni LP, Sione W, Tentor F, Aceñolaza P. 2017 Cartografía de modelos combustibles en el Complejo Fluvio Litoral del Río Paraná a partir de datos de terreno y derivados de sensores remotos. Scientia Interfluvius. 8(2): 65-77

Zamboni LP, Tentor F, Sione W, Hardtke L, Del Valle H, Quignard I, Aceñolaza P. 2013. Patrones espacio-temporales de incendios en el Complejo Litoral del Río Paraná. Interciencia. 38: 634-641.

### 13. ANEXO

Tabla 17: Número y porcentaje de focos de calor según producto por semana.

Semana	MODIS		VIIRS S-NPP		VIIRS NOAA-20	
	Número	Porcentaje	Número	Porcentaje	Número	Porcentaje
29/12/2019 – 4/1/2020	0	0,00%	1	0,00%	3	0,01%
5/1/2020	0	0,00%	4	0,02%	5	0,02%
12/1/2020	5	0,11%	20	0,09%	27	0,13%
19/1/2020	0	0,00%	5	0,02%	5	0,02%
26/1/2020	7	0,15%	13	0,06%	25	0,12%
2/2/2020	4	0,09%	38	0,17%	46	0,22%
9/2/2020	12	0,26%	55	0,24%	93	0,44%
16/2/2020	4	0,07%	32	0,14%	29	0,14%
23/2/2020	38	0,82%	263	1,17%	287	1,33%
1/3/2020	58	1,24%	333	1,48%	303	1,42%
8/3/2020	10	0,21%	88	0,39%	68	0,32%
15/3/2020	2	0,04%	10	0,04%	4	0,02%
22/3/2020	0	0,00%	4	0,02%	6	0,03%
29/3/2020	0	0,00%	1	0,00%	1	0,01%
5/4/2020	1	0,02%	20	0,09%	23	0,11%
12/4/2020	0	0,00%	25	0,11%	19	0,09%
19/4/2020	6	0,13%	66	0,29%	45	0,21%
26/4/2020	0	0,00%	1	0,00%	2	0,01%
3/5/2020	2	0,04%	35	0,16%	25	0,12%
10/5/2020	35	0,75%	193	0,86%	246	1,16%
17/5/2020	32	0,69%	172	0,76%	140	0,66%
24/5/2020	25	0,54%	192	0,85%	199	0,93%
31/5/2020	22	0,47%	129	0,57%	121	0,57%
7/6/2020	81	1,74%	342	1,51%	325	1,53%
14/6/2020	75	1,61%	570	2,52%	505	2,37%
21/6/2020	8	0,17%	36	0,16%	44	0,21%
28/6/2020	23	0,49%	66	0,29%	125	0,59%
5/7/2020	59	1,27%	281	1,24%	225	1,06%
12/7/2020	279	5,98%	1652	7,32%	1635	7,68%
19/7/2020	85	1,82%	432	1,91%	416	1,95%
26/7/2020	429	9,20%	2085	9,23%	2188	10,27%
2/8/2020	434	9,31%	1476	6,54%	1882	8,83%
9/8/2020	314	6,73%	1690	7,48%	1545	7,25%
16/8/2020	632	13,55%	3285	14,55%	3052	14,33%
23/8/2020	327	7,01%	1742	7,71%	1268	5,95%
30/8/2020	19	0,41%	62	0,28%	99	0,47%
6/9/2020	42	0,90%	177	0,78%	212	1,00%
13/9/2020	346	7,42%	1526	6,76%	1036	4,86%
20/9/2020	264	5,66%	971	4,30%	1117	5,24%
27/9/2020	253	5,43%	1142	5,06%	739	3,47%
4/10/2020	142	3,05%	562	2,49%	519	2,44%
11/10/2020	101	2,17%	485	2,15%	490	2,30%
18/10/2020	57	1,22%	165	0,73%	291	1,37%

<b>25/10/2020</b>	74	1,59%	284	1,26%	226	1,06%
<b>1/11/2020</b>	80	1,72%	367	1,63%	317	1,49%
<b>8/11/2020</b>	35	0,75%	234	1,04%	255	1,20%
<b>15/11/2020</b>	99	2,12%	479	2,12%	350	1,64%
<b>22/11/2020</b>	41	0,88%	215	0,95%	207	0,97%
<b>29/11/2020</b>	8	0,17%	43	0,19%	66	0,31%
<b>6/12/2020</b>	38	0,82%	237	1,05%	198	0,93%
<b>13/12/2020</b>	7	0,15%	81	0,36%	81	0,38%
<b>20/12/2020</b>	22	0,47%	113	0,50%	112	0,53%
<b>27/12/2020</b>	30	0,64%	87	0,39%	74	0,35%
<b>Total</b>	<b>4663</b>	<b>100%</b>	<b>22582</b>	<b>100%</b>	<b>21303</b>	<b>100%</b>

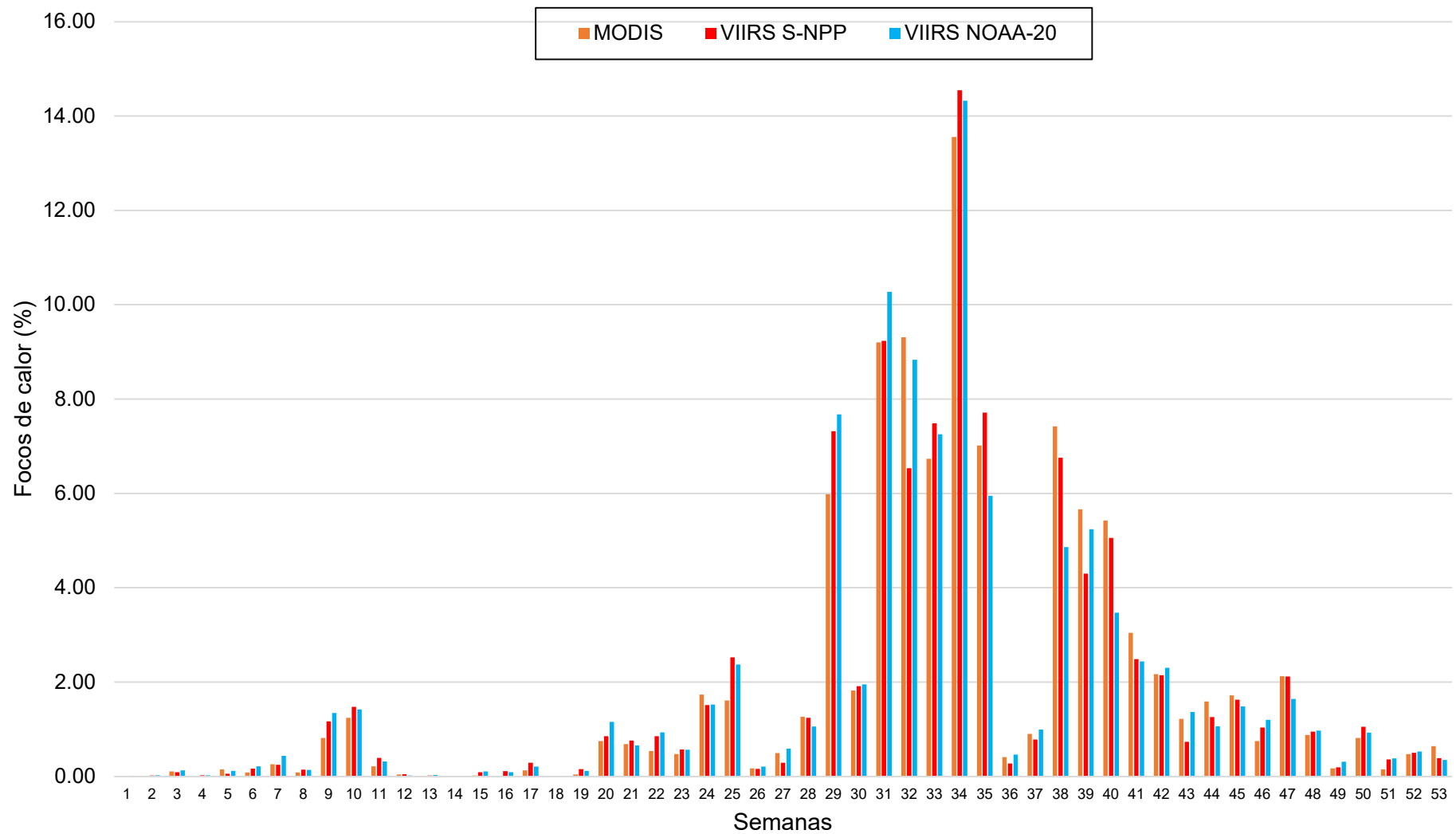


Figura 49. Proporción de focos de calor por semanas según producto.

Mapa de densidad de focos de calor: enero-febrero de 2020

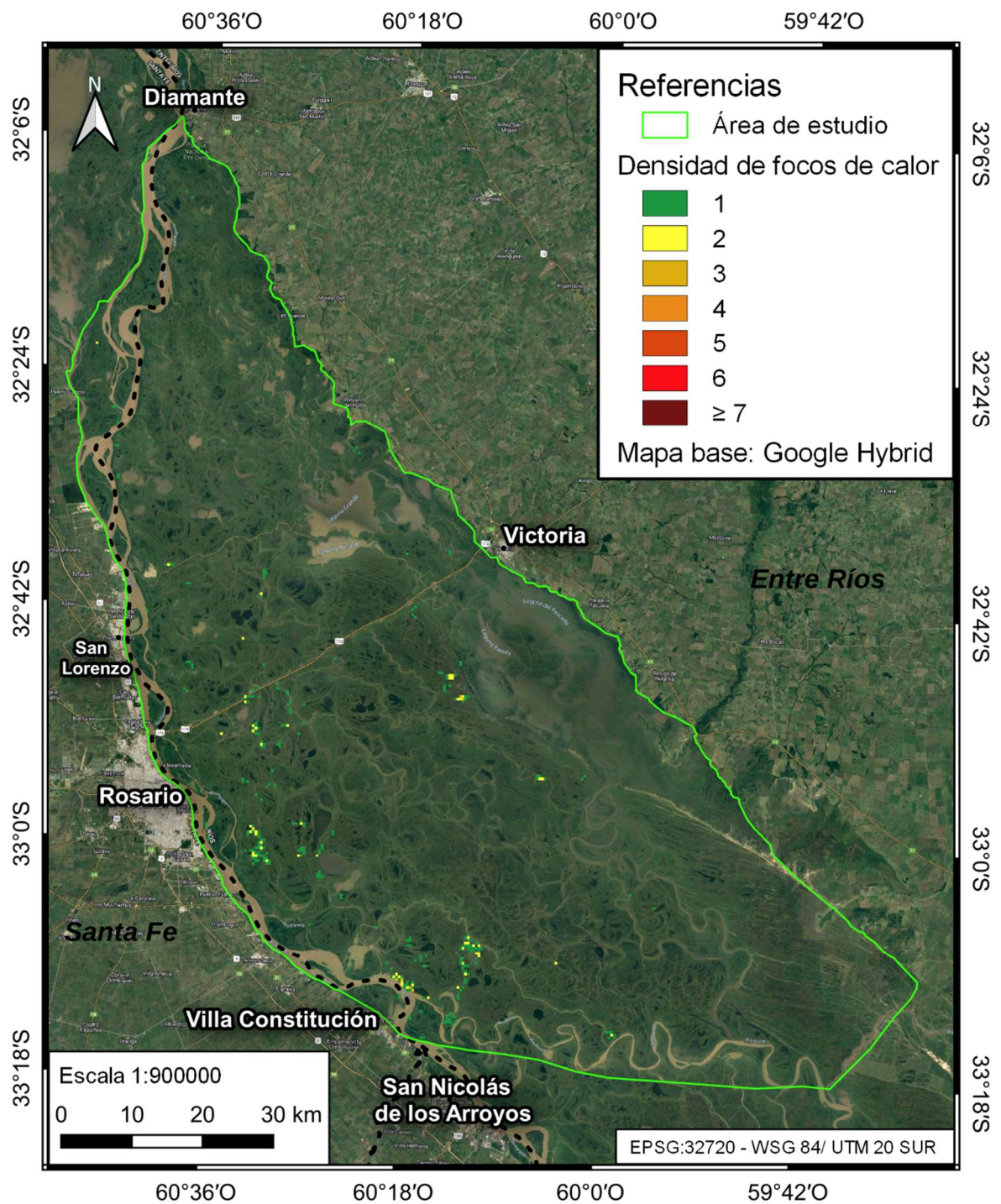


Figura 50. Mapa de densidad de focos de calor (uniforme) para el bimestre enero-febrero del año 2020.

## Mapa de densidad de focos de calor: marzo-abril de 2020

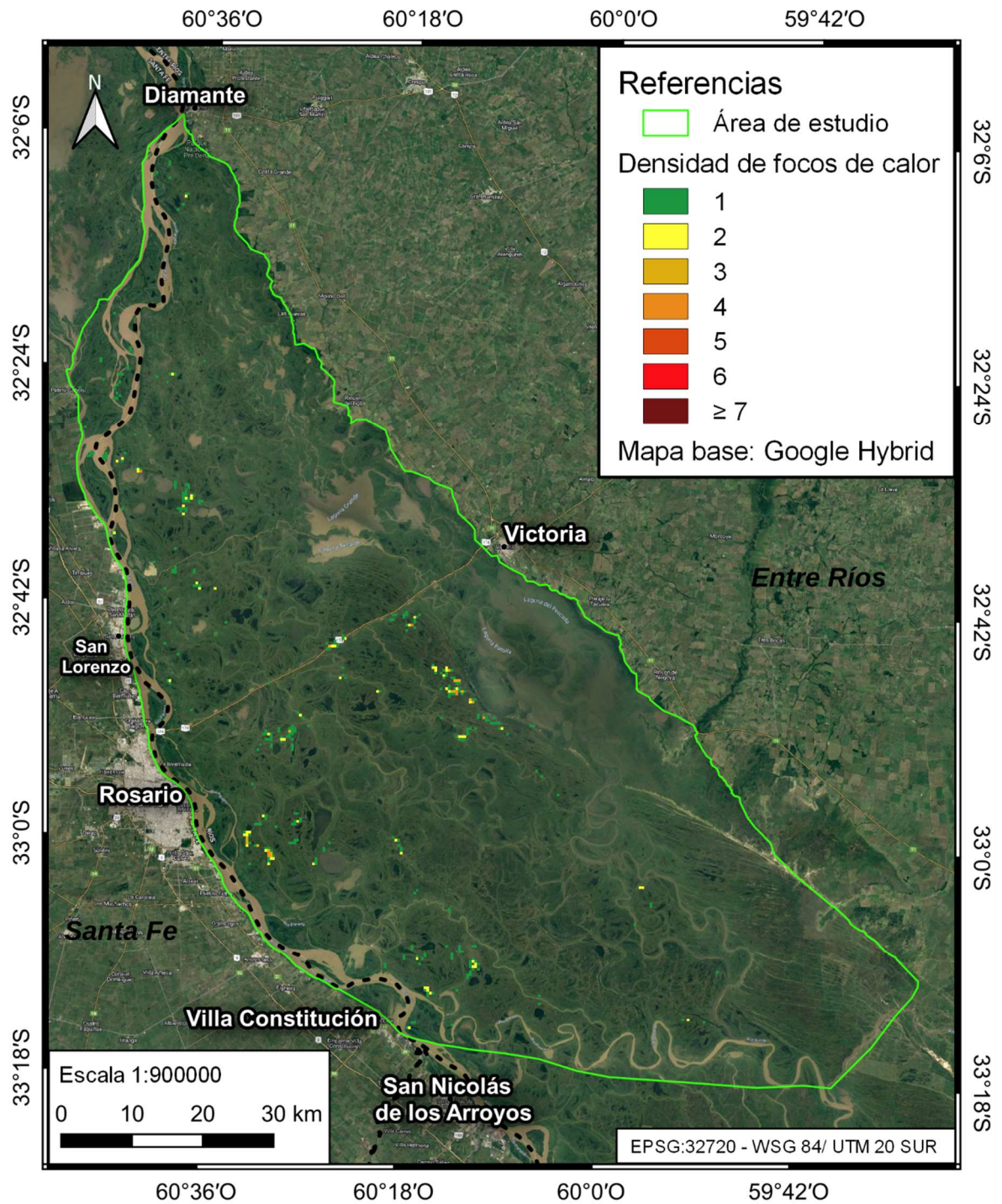


Figura 51. Mapa de densidad de focos de calor (uniforme) para el bimestre marzo-abril del año 2020.

## Mapa de densidad de focos de calor: mayo-junio de 2020

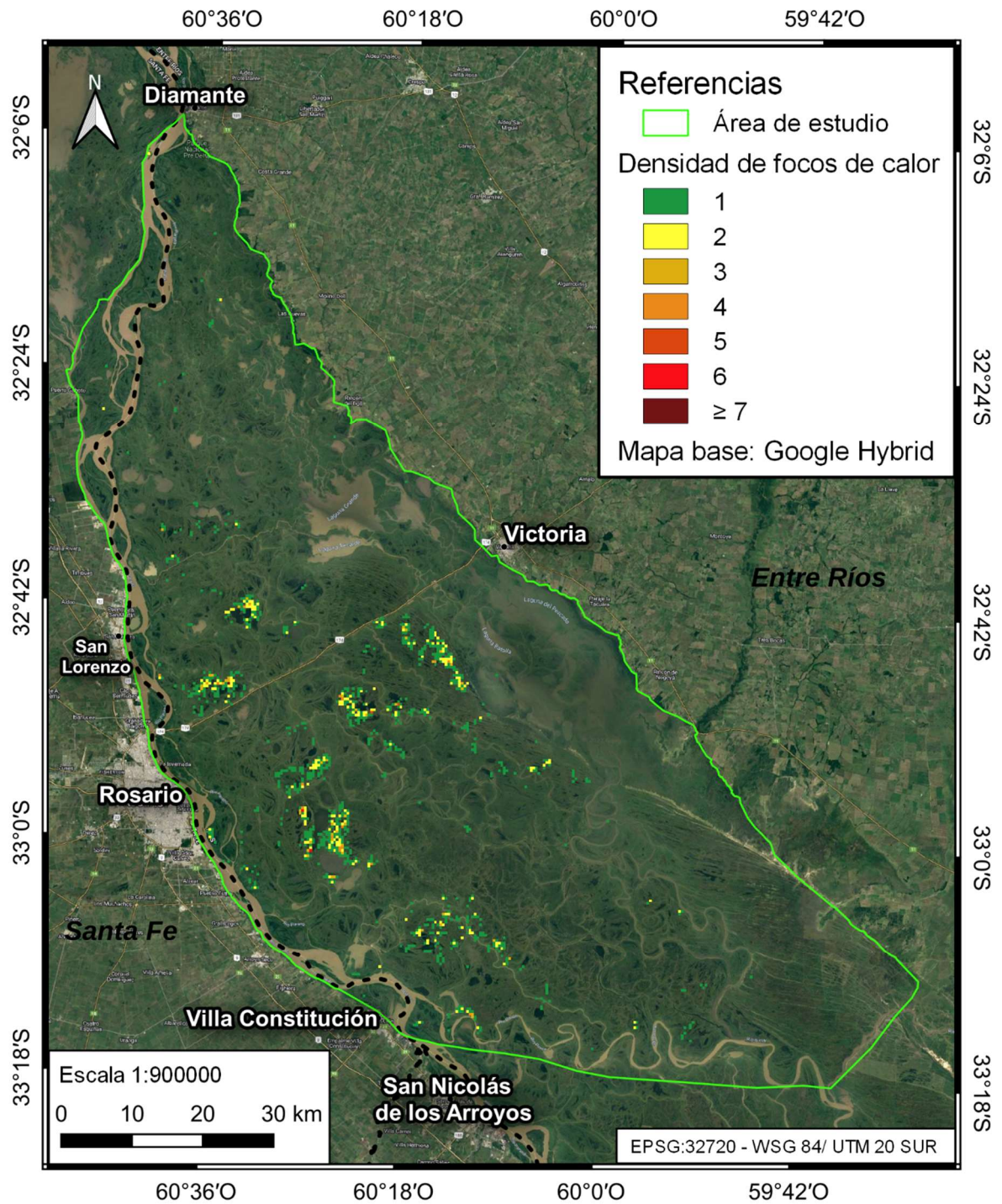


Figura 52. Mapa de densidad de focos de calor (uniforme) para el bimestre mayo-junio del año 2020.

## Mapa de densidad de focos de calor: julio-agosto de 2020

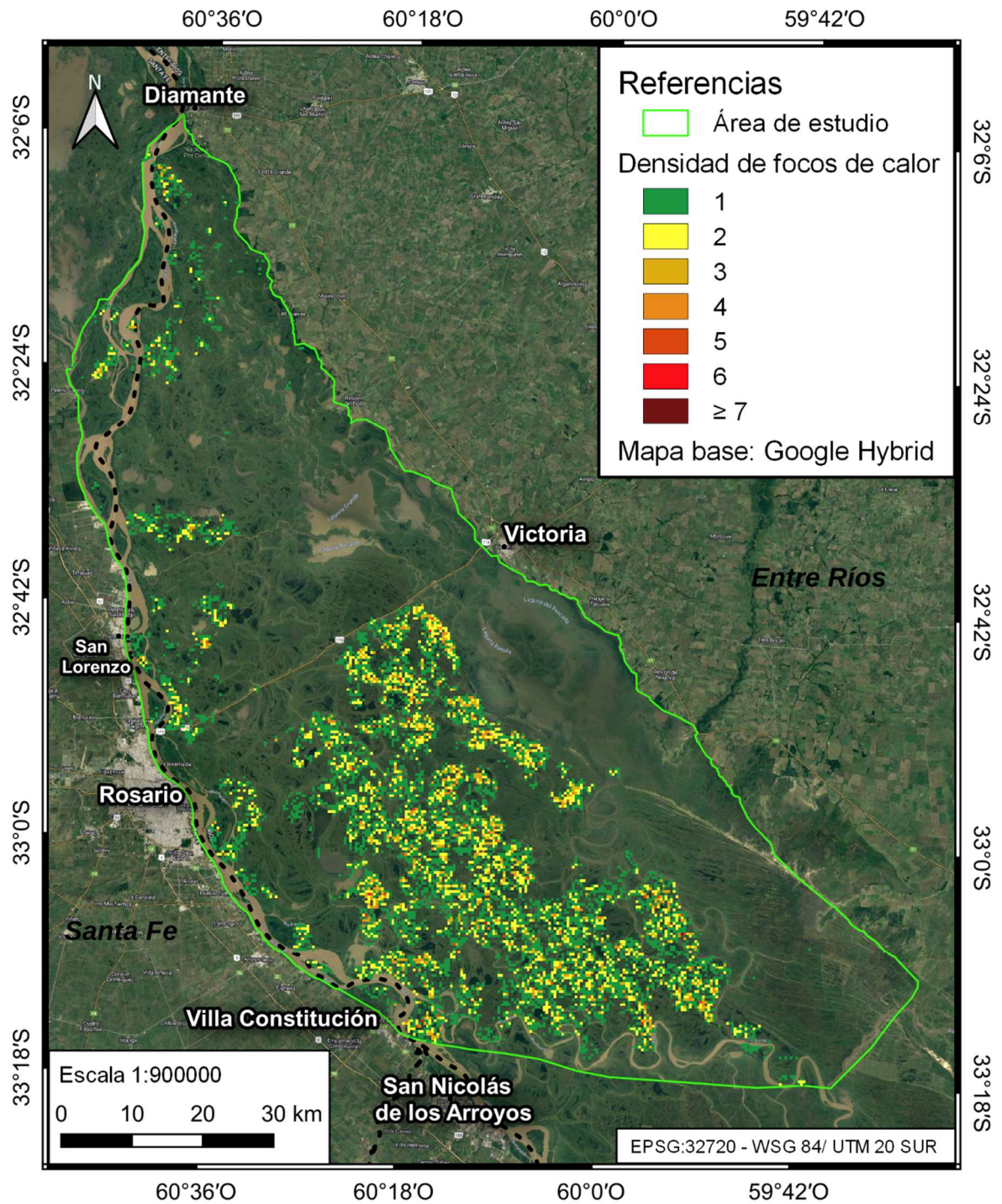


Figura 53. Mapa de densidad de focos de calor (uniforme) para el bimestre julio-agosto del año 2020.

# Mapa de densidad de focos de calor: septiembre-octubre de 2020

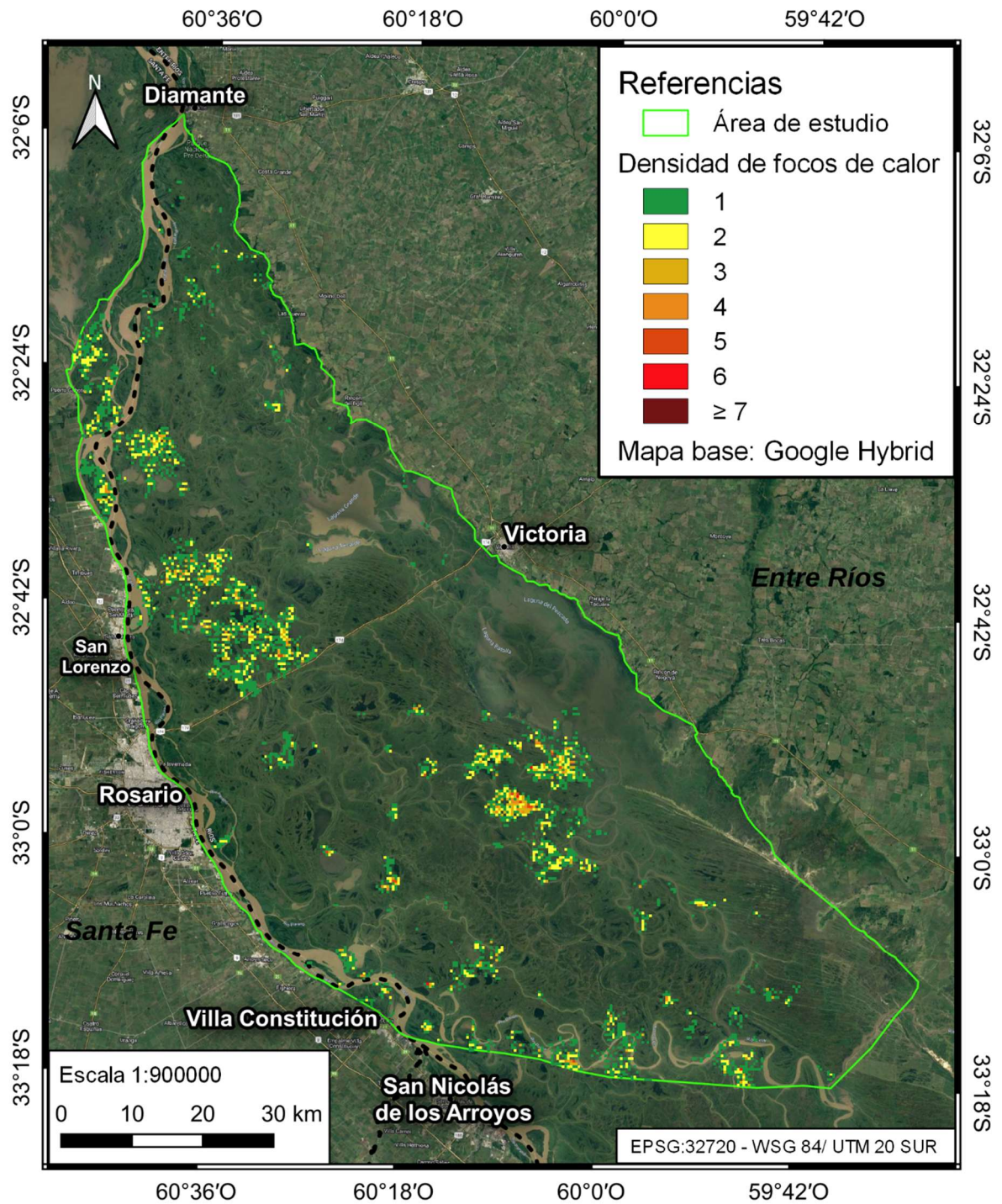


Figura 54. Mapa de densidad de focos de calor (uniforme) para el bimestre septiembre-octubre del año 2020.

## Mapa de densidad de focos de calor: noviembre-diciembre de 2020

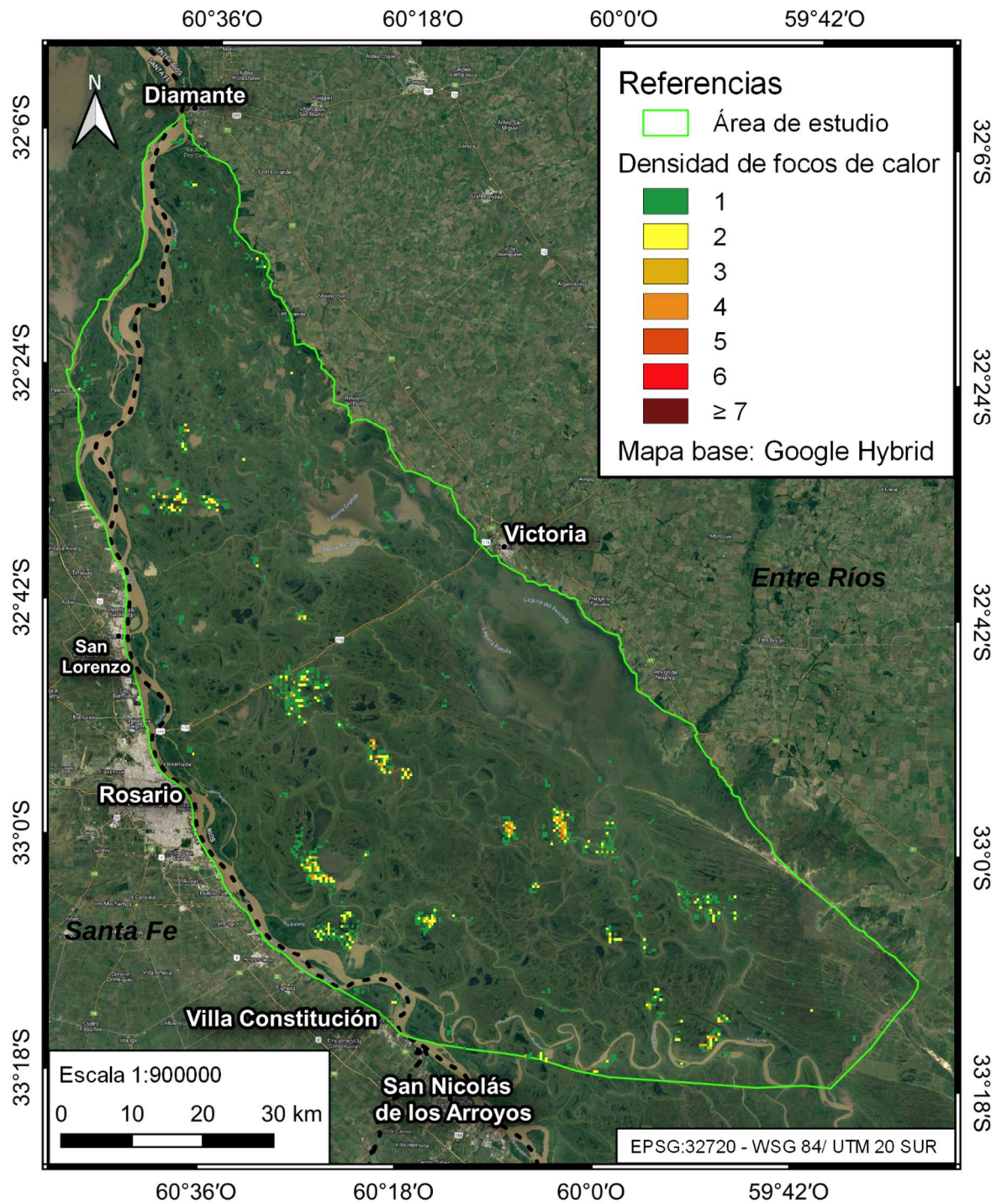
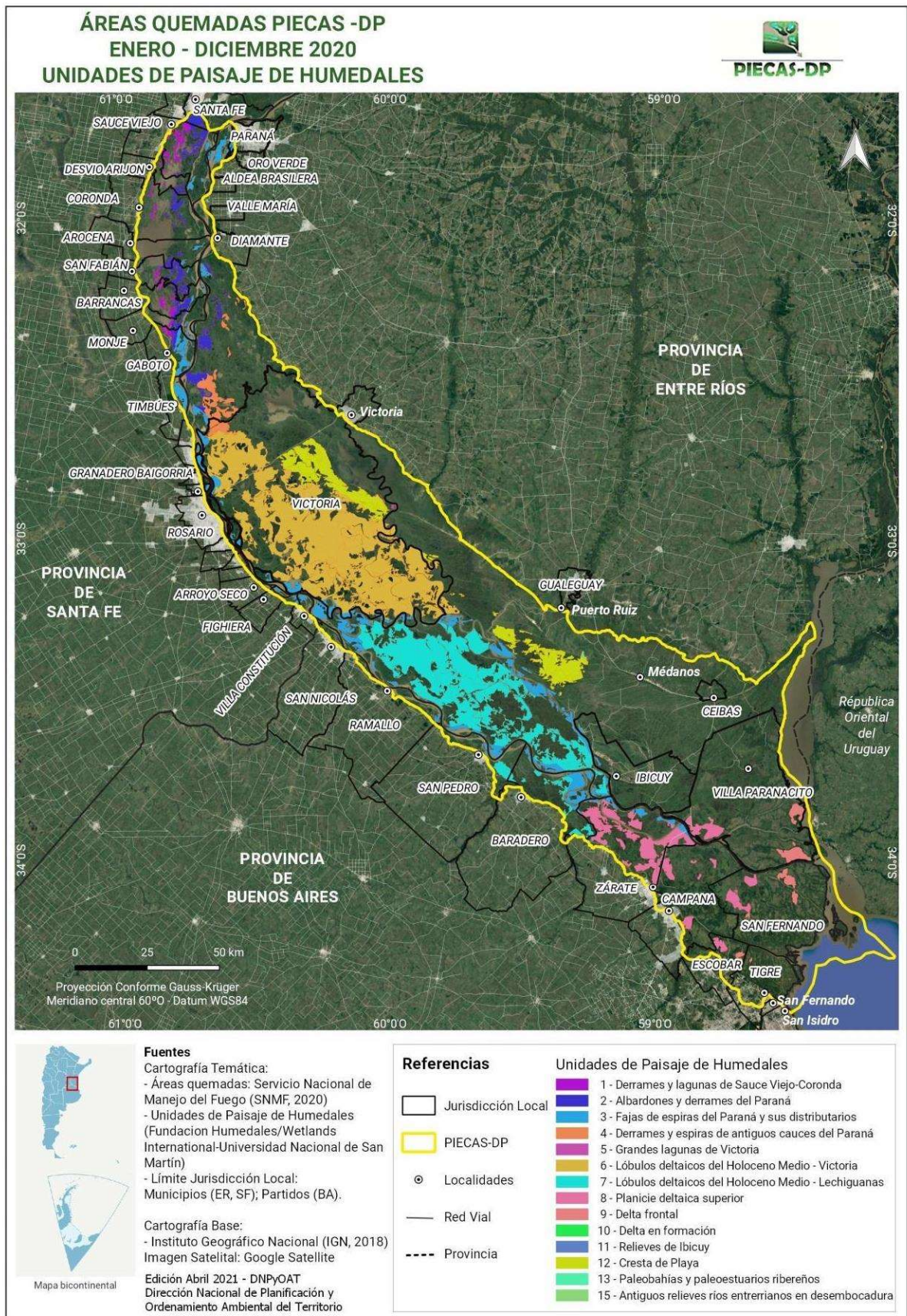


Figura 55. Mapa de densidad de focos de calor (uniforme) para el bimestre noviembre-diciembre del año 2020.



**Figura 56. Áreas quemadas PIECAS-DP. Enero- diciembre 2020.** Fuente: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la Argentina (2021).