Dónde, cuándo y cómo fue la ocurrencia de incendios en la provincia de Salta durante los últimos 20 años: una caracterización basada en sensores remotos

Trabajo final presentado para optar al título de
Especialista en Teledetección y Sistemas de Información Geográfica aplicados al estudio de los recursos naturales y la producción agropecuaria

Andrea Liliana Moreno Solá
Ingeniera en Recursos Naturales y Medio Ambiente - UNSa - 2012

Lugar de trabajo: Secretaria de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Provincia de Salta

FAUBA

Escuela para Graduados Ing. Agr. Alberto Soriano
Facultad de Agronomía - Universidad de Buenos Aires

TUTOR

Tutor
Pablo Baldassini
Licenciado en Ciencias Ambientales (UBA)
Doctor en Ciencias Agropecuarias (UBA)

JURADO DE TRABAJO FINAL

Jurado
María Eugenia Beget
Ingeniera Agrónoma (UBA)
Magister en Recursos Naturales (UBA)

Jurado
Mayra Milkovic
Licenciada en Ciencias Biológicas (UBA)
Magister en Recursos Naturales (UBA)

Fecha de defensa del Trabajo Final: 12 de julio de 2022

ÍNDICE

RESUMEN 4

1. INTRODUCCIÓN 5

2. MATERIALES Y MÉTODOS 7

2.1. Área de estudio 7

2.2. Detección de incendios 8

2.3. Procesamiento de la información 10

2.4. Análisis de dinámica espacial de incendios 11

2.5. Análisis de dinámica temporal de incendios 12

2.6. Los incendios y el tipo de cobertura afectada 12

2.6.1. Los incendios y la vegetación natural 13

2.6.2. Los incendios y los desmontes 15

3. RESULTADOS 16

3.1. Focos de calor en Salta 16

3.2. Caracterización de la Dinámica Espacial 17

3.3. Caracterización de la Dinámica temporal 19

3.3.1. Dinámica inter–anual 19

3.3.2. Dinámica intra-anual 20

3.4. Recurrencia anual de incendios 22

3.4.1. Recurrencia estacional de incendios 23

3.5. Los incendios y el tipo de cobertura afectada 25

3.5.1. Tipo de vegetación afectada por los incendios 26

3.5.2. Áreas desmontadas afectadas por los incendios 28

4. DISCUSIÓN 30

4.1. Dinámica espacial de los eventos de fuego 30

4.2. Dinámica temporal de los eventos de fuego 32

5. CONCLUSIÓN 34

6. BIBLIOGRAFÍA 35

RESUMEN

Los incendios en la provincia de Salta afectan grandes superficies y generan problemas que pueden alterar la biodiversidad, contribuir al cambio climático global y atentar contra la vida de las personas, con lo cual es de suma importancia disponer de información que permita comprender su comportamiento espacio-temporal. La teledetección es una herramienta valiosa y objetiva para la detección y comprensión de incendios. El objetivo de este trabajo fue caracterizar la dinámica espacio-temporal de los incendios ocurridos en la provincia de Salta entre los años 2001 y 2019, a partir de información de los focos de calor MODIS provistos por el Fire Information for Resource Management System (FIRMS). Se generaron dos bases de datos vectoriales, una correspondiente a los focos de calor (puntos) que integra información sobre el tipo de vegetación y la ocurrencia de desmontes; y la otra correspondiente a una grilla con celdas de 10 km de lado (n=1720), donde se incorporó información sobre la frecuencia espacial y la recurrencia anual de focos. En total, se identificaron 144.312 focos entre 2001 y 2019, de los cuales el 75% se concentró en los departamentos de Anta, San Martín y Orán. En promedio se detectaron 7.595 focos por año, con un máximo de 13.626 focos en el año 2009, y un mínimo de 1.650 focos en el año 2001. El comportamiento mensual de incendios mostró una alta ocurrencia durante los meses de invierno y primavera (máximo en septiembre) y una baja ocurrencia durante los meses de otoño y verano (mínimo en abril). El 53% de las celdas (n=595) presentó una recurrencia mayor a 6 años, cuya distribución coincidió con la porción agropecuaria de la provincia y áreas de vegetación de las Yungas y el Chaco. El 71.8% de los focos coincidió con lotes desmontados, el 20.6% con vegetación natural y el 7.6% restante, se ubicó sobre áreas con escasa o nula vegetación, lo que sugiere que podrían tratarse de falsos positivos. Los focos de calor presentaron una relación lineal positiva con la superficie desmontada anualmente ($R^2 = 0.78$). Dentro de las coberturas naturales, los pastizales del Chaco, las estepas arbustivas del Monte y las selvas de Yungas fueron las más afectadas por incendios (con una densidad de focos cercanos a 1 foco/km^2). Esta aproximación metodológica permitió caracterizar la dinámica espacio-temporal de los incendios ocurridos los últimos 20 años, aportando información valiosa que podría ser empleada como herramienta de gestión para la toma de decisiones.

1. INTRODUCCIÓN

El fuego produce alteraciones importantes en el ecosistema, como cambios en la vegetación, el suelo o el paisaje, modificaciones en el balance de energía y agua, en los ciclos biogeoquímicos, perturbaciones físico-químicas en la atmósfera, pérdidas económicas o daños en la salud y la vida de las personas (Di Bella & Posse, 2014). Argentina es uno de los países más grandes en términos de superficie y el segundo en la cantidad de incendios ocurridos en el período 1999-2001 en Sudamérica (Di Bella et al., 2006). La provincia de Salta, en particular, se encuentra dentro de las 8 provincias de la República Argentina con más registros de focos de calor (Lizárraga, 2015).

La disponibilidad de información sobre incendios es un aspecto importante a tener en cuenta. Las estadísticas publicadas se construyen a partir de los incendios combatidos por los brigadistas y bomberos de cada provincia y, seguramente, quedan fuera del registro eventos de considerables dimensiones que pueden ocurrir en lugares alejados de áreas pobladas, con poca infraestructura o de relativamente difícil acceso (Lizárraga, 2015). Por este motivo, la cantidad y superficies de incendios reportadas a nivel provincial, más que representar tendencias en el régimen de incendios, podrían estar evidenciando la falta de recursos en los organismos oficiales encargados de la fiscalización y monitoreo (Lizárraga, 2015).

La teledetección puede proporcionar una herramienta valiosa y objetiva para la detección y comprensión de la ocurrencia incendios (Di Bella, 2009), siendo la información provista por sensores remotos y, sobre todo, de aquellos montados sobre plataformas satelitales, una de las tecnologías que más ha contribuido a la caracterización de los fuegos (Di Bella & Posee, 2014). Provee información crucial para entender mejor la magnitud e impacto de las quemas (Chuvieco et al., 2012), y representa también una importante herramienta enfocada al seguimiento de la vegetación y el monitoreo de incendios, ya que puede ser utilizada para trazar, a través del tiempo, las trayectorias de recuperación de la cobertura verde de distintos tipos de vegetación afectados por el fuego en forma simultánea (Mari et al., 2007).

En este contexto, la información provista por los focos de calor adquiere gran importancia en el estudio de los incendios a nivel local, regional y global. En particular, los focos de calor derivados del sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) se han utilizado extensamente como aproximación a la ocurrencia del

fuego, especialmente en aquellos territorios en donde las estadísticas de incendios forestales no están disponibles (Chuvieco et al., 2012). Este sensor fue diseñado específicamente para detectar focos de calor, por lo que cuentan con una sensibilidad térmica idónea para esta tarea y facilita la obtención de resultados más precisos (Chuvieco et al., 2012).

Los fuegos de vegetación son una importante fuente de gases de efecto invernadero (GEI) (Bowman et al., 2009; Paruelo et al., 2011). Estudios recientes en una porción del Chaco semiárido argentino estiman que alrededor del 96% de las emisiones de carbono debido a la deforestación provienen de la quema de biomasa y la descomposición de la materia orgánica restante (Baldassini et al., 2020). En el período 2003-2013, el Programa Nacional de Estadística Forestal (PNEF) registró un total de 347.413 hectáreas quemadas en la provincia de Salta (Lizárraga, 2015). En este contexto, resulta de suma importancia comprender la dinámica de incendios en la provincia, dado a que pueden afectar grandes superficies, alterar la biodiversidad, contribuir al cambio climático global y atentar contra la vida de las personas.

Este trabajo buscó, a partir de información derivada del sensor MODIS y aprovechando las virtudes que lo caracterizan (accesibilidad, extensa cobertura espacial y temporal, actualización y mejora continua de los productos derivados), brindar una descripción detallada del comportamiento de los incendios en la provincia de Salta, Argentina. Como objetivo general se planteó caracterizar la dinámica espacio-temporal de los incendios ocurridos entre los años 2001 y 2019, a partir de los focos de calor MODIS provistos por el Fire Information for Resource Management System (FIRMS). Los objetivos específicos fueron:

- Identificar los incendios ocurridos en la provincia en el período 2001-2019.
- Analizar la distribución espacial de los incendios.
- Analizar la dinámica temporal intra e inter anual de los incendios.
- Analizar la relación entre la ocurrencia de incendios, el tipo de vegetación y las áreas desmontadas.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1.Área de estudio

El área de estudio correspondió a la provincia de Salta, la cual se ubica al noroeste de la República Argentina. Tiene una superficie aproximada de 155.318 km^2. Limita al norte con la República de Bolivia y la provincia de Jujuy; al sur con las provincias de Santiago del Estero, Tucumán y Catamarca; al este con la República de Chile; y al oeste con las provincias de Chaco y Formosa (Figura 1).

El territorio provincial se encuentra representado por cuatro grandes unidades de relieve: Puna, Cordillera Oriental y Sierras Subandinas y Llanura Chaqueña. La Puna constituye una prolongación austral del altiplano peruano-boliviano que se extiende a lo largo de una franja ubicada al oeste de la isohieta de los 300 mm. Alcanza una altitud media superior a los 3.500 m y presenta un clima árido, con temperatura promedio de 9.5 °C, cuyas variaciones térmicas estacionales son poco notables y la variación térmica diaria es amplia. Hacia el oeste, la Cordillera Oriental y las Sierras Subandinas se emplazan con orientación norte-sur y cuyas cumbres alcanzan hasta los 5.000 m de altura. Presentan un clima cálido, correspondiente al Tropical Serrano, donde las mayores temperaturas se registran en la época estival. Por último, la Llanura Chaco-Salteña constituye una gran planicie que se extiende al oriente de las sierras Subandinas, donde impera el clima tropical con estación seca, con temperaturas media máximas estivales que oscilan entre los 27 °C y 30 °C y mínimas invernales entre 12 °C y 16 °C, por lo que puede notarse una considerable diferencia estacional. Las precipitaciones son estivales y sus valores anuales rondan entre los 500 y los 800 mm anuales (Nadir & Chafatinos, 1990).

Fitogeográficamente la provincia se encuadra dentro de la Región Neotropical, y con representantes de los Dominios Amazónico, Chaqueño y Andino Patagónico. El Dominio Amazónico representado por solo una de sus Provincias Fitogeográficas: Las Yungas, con selvas y bosques sobre montañas, quebradas, valles y llanuras al pie de ellas, eventualmente en praderas. El Dominio Chaqueño está representado por tres de sus provincias fitogeográficas: Chaqueña, Prepuneña y Monte; con bosques xerófilos sobre llanura y serranías bajas, y estepas arbustivas o herbáceas secas de llanos y serranías. Finalmente, el Dominio Andino Patagónico, representado por dos de sus provincias fitogeográficas: Altoandina y Puneña, con vegetación de estepas graminosas y arbustivas (Zapater del Castillo, 1985). La extensa geografía de Salta determina la existencia de

variadas condiciones ecológicas que se dan entre la Puna y el Chaco salteño, donde se desarrolla una amplia franja que constituye el soporte de la mayor actividad agrícola de la provincia (Román, 1993).

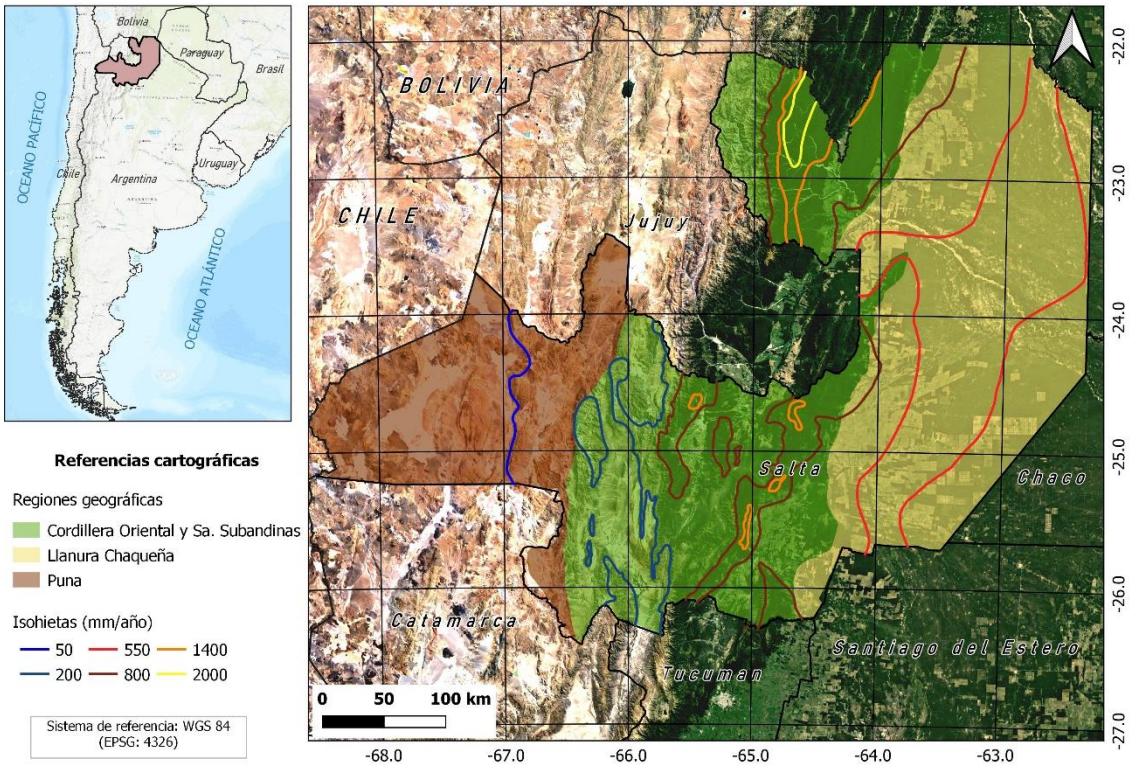

Figura 1. Ubicación del área de estudio correspondiente a la provincia de Salta, Argentina. El mapa principal muestra las isohietas (mm/año) y las regiones geográficas, identificando la Puna hacia el oeste, la Cordillera Oriental, las Sierras Subandinas en el centro y la Llanura Chaqueña al este.

2.2.Detección de incendios

Para identificar los incendios ocurridos en la provincia de Salta durante las últimas dos décadas, se analizaron los focos de calor detectados por MODIS entre el 1 de enero de 2001 y el 31 de diciembre de 2019. Para ello se descargó el vector de puntos del producto MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) / Aqua + Terra Anomalías térmicas / localización de fuegos 1km FIRMS V006, disponible en el siguiente enlace https://earthdata.nasa.gov/firms.

El sensor MODIS a bordo de los satélites Terra y Aqua, registra de manera continua y con cobertura global los eventos de incendio de la tierra. Cada foco de calor o punto caliente representa el centro de un píxel de aproximadamente 1 km^2 y puede

contener uno o más incendios activos u otra anomalía térmica (como volcanes) (Figura 2) (FIRMS, 2018). El fuego suele ser menor que el tamaño del píxel, y si bien no se puede determinar con exactitud la extensión del fuego, sí es posible saber que al menos un fuego se encuentra dentro del píxel identificado como anómalo (FIRMS, 2018). En algunos casos, se pueden observar varios incendios activos en una línea, lo que generalmente representa un frente de fuego (FIRMS, 2018).

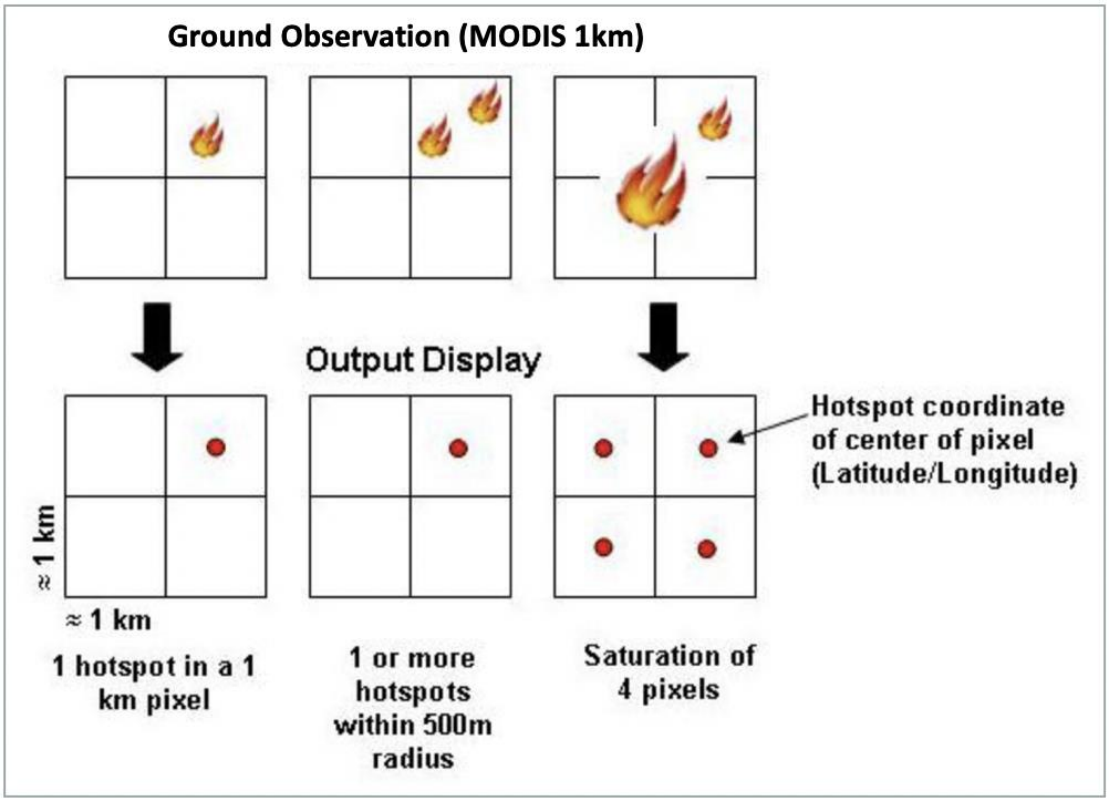

Figura 2. Representación de los focos de calor de MODIS, en donde cada detección representa el centro de un píxel (de 1 km aproximadamente) que contiene uno o más incendios u otras anomalías térmicas. La ubicación del punto no representa necesariamente las coordenadas reales del fuego y, en general, el incendio suele ser menor que el tamaño del píxel. Tomado de FIRMS (2018).

Los focos de calor de MODIS incluyen información sobre la confianza de cada detección destinada a ayudar a los usuarios a medir la calidad de los píxeles de fuego individuales (Giglio et al., 2018). Esta estimación de confianza, que varía entre 0% y 100%, se utiliza para asignar una de las tres clases: 1) fuego de baja confianza ($0\% \leq C < 30\%$), 2) fuego de confianza nominal ($30\% \leq C < 80\%$) y, 3) fuego de alta confianza ($80\% \leq C \leq 100\%$) (Giglio et al., 2018).

A la fecha, no se ha encontrado bibliografía que indique el valor umbral de confiabilidad de los focos de calor con el cual se puedan discriminar los incendios que

realmente ocurrieron de aquellos que no. Por este motivo, debe tenerse en cuenta la posibilidad de que algunos de los registros analizados en el presente trabajo, pueden representar falsas alarmas, como así también, la posibilidad de omitir incendios que realmente ocurrieron y que por algún motivo el sensor no los detectó. Una omisión puede venir dada o bien porque el incendio es muy pequeño para ser detectado por el sensor, o bien porque es muy corto en el tiempo para estar activo en el momento del pasaje del satélite (Chuvieco et al., 2012).

Teniendo en cuenta lo antes mencionado, y con el fin de lograr la máxima detectabilidad de incendios, se incluyó en el análisis la totalidad de los focos de calor ocurridos entre enero de 2001 y diciembre de 2019. De esta manera, se asumió la posibilidad de incluir una mayor incidencia de datos correspondientes a falsas alarmas (falsos positivos) los cuales, en general, se asocian a focos de baja confiabilidad. Es decir, cada foco de calor se consideró como un evento de incendio independientemente de su valor de confianza.

2.3.Procesamiento de la información

Para alcanzar los objetivos propuestos, se seleccionó y analizó, por un lado, información de los focos de calor detectados por MODIS y, por el otro, dos capas de información temáticas: 1) los desmontes ocurridos en la región del NOA en el período 1976 – 2019 identificados por técnicos del Laboratorio de Teledetección y SIG de la Estación Experimental de INTA Salta y, 2) las unidades de vegetación distribuidas en el sector de bosques nativos de la Provincia de Salta para el año 2008 (Cabral et al., 2009). Estas capas se encuentran disponibles en el sitio web de Infraestructura de Datos Espaciales de Salta (IDESA - http://geoportal.idesa.gob.ar/).

Se procesó la información antes mencionada y se generaron dos bases de datos vectoriales. Una de ellas correspondió a los focos de calor (puntos), a la que se agregó información del límite departamental y las variables temáticas antes mencionadas (tipo de vegetación y año de desmonte). La otra base de datos correspondió a una grilla vectorial, producto de la subdivisión de la provincia en celdas de 10 km de lado (n=1720), a la que se le incorporó, para cada celda, información de frecuencia espacial y recurrencia temporal de incendios. Estas últimas son variables que se estimaron con la información espacio-temporal de focos de calor detectados en las últimas dos décadas a lo largo del territorio provincial (Figura 3).

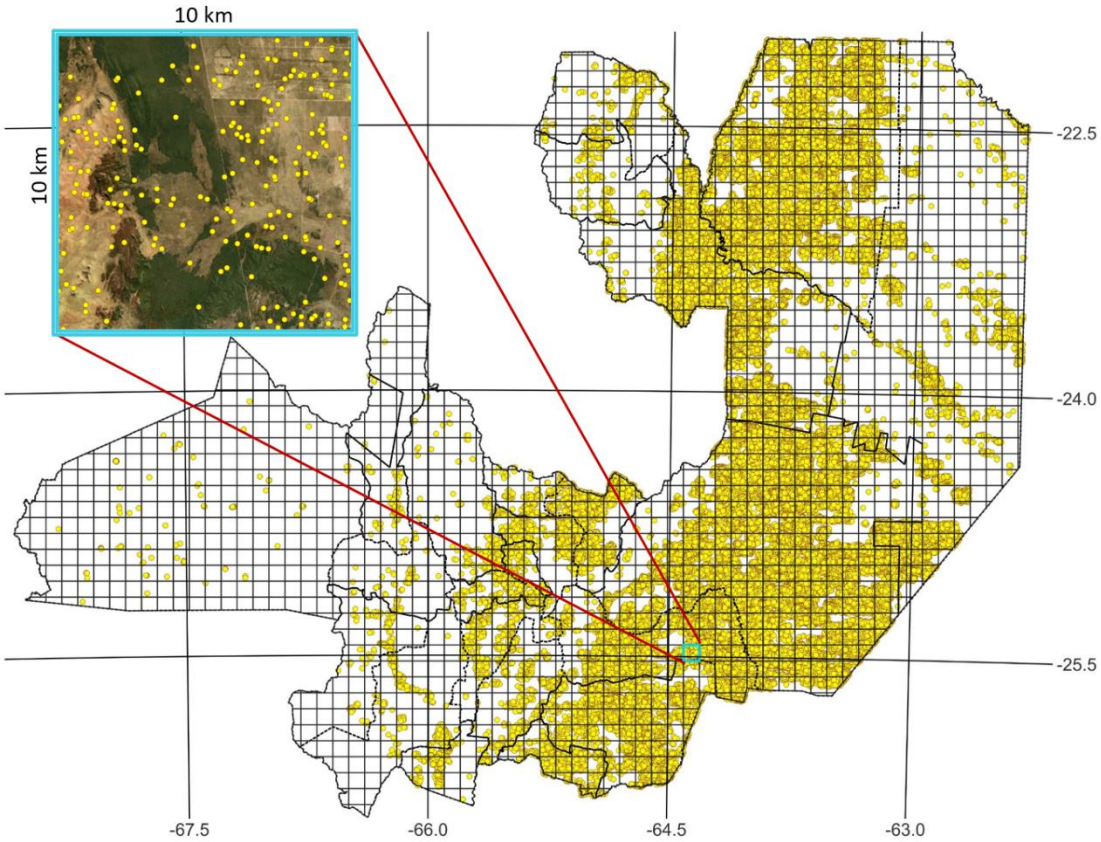

Figura 3. Focos de calor de MODIS sobre una grilla vectorial de celdas de 10 km de lado (n=1720) que cubren la totalidad del territorio provincial. La celda marcada con celeste, se ubica en el departamento de Metán. Puede observarse sobre una imagen de alta resolución de Google Earth las áreas afectadas por incendios y los focos de calor detectados en el período 2001-2009.

2.4.Análisis de dinámica espacial de incendios

La dinámica espacial de incendios se abordó a partir del cálculo de frecuencia de focos de calor para cada celda de la grilla. Es decir que para cada celda se contabilizó la cantidad de alertas de incendios que fueron detectados por el sensor MODIS durante el período 2001-2019. A partir de allí, se seleccionaron las celdas que presentaron al menos una alerta de incendio y se las agrupó en ocho (8) clases de frecuencia:

- Clase 1: entre 1 y 10 focos/celda
- Clase 2: entre 11 y 50 foco/celda
- Clase 3: entre 51 y 100 focos/celda
- Clase 4: entre 101 y 200 focos/celda
- Clase 5: entre 201 y 300 focos/celda
- Clase 6: entre 301 y 400 focos/celda
- Clase 7: entre 401 y 500 focos/celda
- Clase 8: más de 500 focos/celda

2.5.Análisis de dinámica temporal de incendios

La dinámica temporal de los incendios, se abordó a través del análisis de dos variables, la frecuencia y la recurrencia temporal de los focos de calor ocurridos en el período 2001–2019. La frecuencia se analizó en tres escalas temporales: mensual, estacional e interanual. Para ello se trabajó con la base de datos de focos de calor, a los que previamente se le asignó la estación según el mes en que fue detectado. Fueron cuatro las estaciones analizadas: verano (enero, febrero y marzo), otoño (abril, mayo y junio), invierno (julio, agosto y septiembre) y primavera (octubre, noviembre y diciembre). Con la información obtenida se calculó la frecuencia total de focos por mes, estación y año del período 2001-2019, y sus correspondientes valores promedio. Esto permitió analizar el comportamiento de los focos de calor a diferentes escalas temporales.

La recurrencia anual se calculó a partir de la grilla y los focos de calor detectados durante el período 2001–2019. Esta variable midió la cantidad de años que se identificó al menos un foco de calor en cada celda durante el período. Se obtuvieron diecinueve valores de recurrencia, es decir, celdas que presentaron un año con incendios, hasta celdas que presentaron los diecinueve años con incendios. Las mismas se agruparon en tres clases de recurrencia:

- Baja: celdas que presentan entre 1 y 6 años con focos durante el período.
- Media: celdas que presentan entre 7 y 13 años con focos durante el periodo.
- Alta: celdas donde se detectaron entre 14 y 19 años focos durante el período.

La recurrencia también se abordó desde la perspectiva estacional. Se calculó la recurrencia anual estacional como la cantidad de años que se quemó un sitio durante una estación. De esta manera, se obtuvieron 19 valores de recurrencia anual para cada estación y se las agrupó en las tres clases de recurrencia antes mencionadas (baja, media y alta).

2.6. Los incendios y el tipo de cobertura afectada

Para analizar la relación entre los incendios y el tipo de cobertura del suelo afectada, se trabajó con la base de datos focos de calor. Esta base integra para cada punto caliente información sobre el tipo de cobertura: desmonte, cobertura vegetal natural, otro tipo de cobertura (no identificada). El análisis se realizó por separado para cada tipo de cobertura.

2.6.1. Los incendios y la vegetación natural

Para analizar la relación entre los incendios y la vegetación natural se empleó un mapa de unidades de vegetación que divide el área de los bosques nativos de Salta del año 2008, en 23 unidades de vegetación (Cabral, 2009). La misma ocupa una superficie de 7.712.887 ha, es decir, casi la mitad de la extensión del territorio provincial, y abarca las regiones fitogeográficas de las Yungas, Chaco y parte de la región del Monte. Para el análisis se agruparon las 23 unidades de vegetación en 6 clases de cobertura, teniendo en cuenta el tipo vegetación (arbórea, arbustiva, herbácea) y la región fitogeográfica (Figura 4 y Tabla 1). Se vinculó espacialmente las clases de cobertura y los focos de calor detectados por MODIS en el período 2001-2019. Luego, se calcularon dos variables: la frecuencia o cantidad total de focos de calor y la densidad de focos para cada clase de vegetación. Esta última variable se estimó como la cantidad de focos de calor por unidad de superficie (km^2) ocupada por cada clase de cobertura vegetal en el territorio provincial.

Las 6 clases obtenidas corresponden a:

1. Bosque y arbustal (Chaco),
2. Pastizal (Chaco);
3. Selva (Yungas),
4. Bosque montano (Yungas),
5. Pastizal de la altura (Yungas)
6. Estepa arbustiva (Monte)

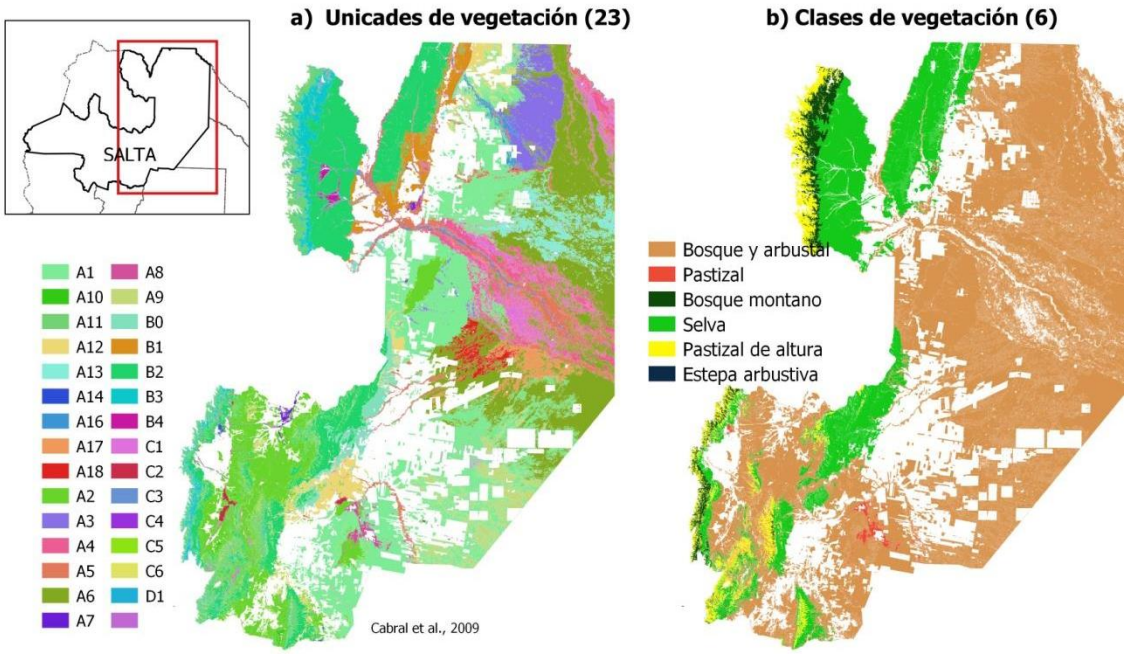

Figura 4. Distribución espacial de las 23 unidades de vegetación (Cabral et al., 2009) agrupadas en 6 clases de cobertura vegetal: 1. Bosque y arbustal (Chaco), 2. Pastizal (Chaco); 3. Selva (Yungas), 4. Bosque montano (Yungas), 5. Pastizal de altura (Yungas) 6. Estepa arbustiva (Monte).

Región	Unidad de vegetación	Clase de vegetación
Chaco	A1: Bosque de Quebrachos en piedemonte y llanura estabilizada	1. Bosque y arbustal
	A6: Quebrachal Duraznillal con Palo Santo en áreas deprimidas o de escurrimiento	
	A2: Bosque chaqueño en serranía	
	A12: Bosque transicional de Quebrachos y Cebil en pie de monte	
	A9: Bosque de Quebrachos en planicie aluvial del río Juramento	
	A5: Bosque de ribera	
	A8: Áreas afectadas por fuego (pastizales)	
	A17: Vinalar con Palo Santo	
	A18: Vinalar con Palma	
	A7: Arbustal en conos aluviales	
	A16: Algarrobal en áreas de escurrimiento	
	A3: Quebrachal Palosantal	
	A10: Formación de matorrales en áreas de derrame o alteradas	
	A4: Peladar, Algarrobal y Bosque en madrejones en áreas de divagaciones meándricas	
	A13: Duraznillal en áreas de escurrimiento	
	A14: Pastizal	2. Pastizal
Yungas	B2: Selva montana	3. Selva
	B1: Selva pedemontana	
	B0: Selva de transición	
	B4: Bosque en conos aluviales y antiguos cauces	

	A11: Pastizal de altura	4. Pastizal de altura
	B3: Bosque montano	5. Bosque montano
Monte	D1: Estepa arbustiva de valles y quebradas	6. Estepa arbustiva

Tabla 1. Detalle de las 23 Unidades de Vegetación (Cabral et al., 2009) y su correspondencia con las 6 clases de vegetación analizadas en el presente trabajo.

2.6.2. Los incendios y los desmontes

La relación entre los incendios y los desmontes se abordó a partir del cálculo de frecuencias de focos calor detectados sobre lotes desmontados entre el año 1976 y el año 2019. El procesamiento de la información se realizó en dos etapas. En la primera etapa, se seleccionaron los desmontes del período 2001–2019 y se calculó un área buffer de 1 km, correspondiente al área de influencia de los focos de calor de MODIS. Se vincularon los polígonos resultantes con los focos de calor detectados el mismo año en el que se ejecutó el desmonte. De esta manera se obtuvieron 19 capas de información que contenían los focos de calor detectados el año en que ocurrió el desmonte. Esta información se unió e integró a la base de datos de focos de calor. Luego, se realizó un análisis de regresión lineal entre la cantidad de focos de calor y la superficie desmontada anualmente. Esto permitió identificar la existencia de alguna relación entre la superficie desmontada anualmente y los incendios que ocurrieron en la provincia cada año.

En la segunda etapa, se excluyeron los focos que coincidían con el año de desmonte, es decir, los eventos procesados en la primera etapa. Se seleccionaron los desmontes previos al año 2001 y se los vinculó espacialmente con los focos de calor. Luego, se seleccionaron los lotes desmontados en el período 2001–2019 y se los vinculó a los focos de calor detectados con posterioridad a la ejecución de un desmonte anual. De esta manera, se identificaron los focos asociados a lotes agropecuarios desmontados antes de la ocurrencia de un incendio. Esto permitió analizar la posible relación entre la ocurrencia de incendios y los sitios desmontados en años previos, fenómeno que podría asociarse al uso del fuego como práctica de manejo vinculadas con la producción agropecuaria, como el control de especies leñosas o la promoción de especies herbáceas forrajeras.

3. RESULTADOS

3.1.Focos de calor en Salta

Se detectaron un total de 144.312 focos de calor en la provincia de Salta en el período comprendido entre el 1 de enero de 2001 y el 31 de diciembre de 2019 (Figura 5). El 75% de los focos se concentró en los departamentos de Anta (54.418 focos), San Martín (35.651 focos) y Orán (18.624 focos), mientras que el 25% restante (35.619 focos) se distribuyó en los demás departamentos (Figura 5).

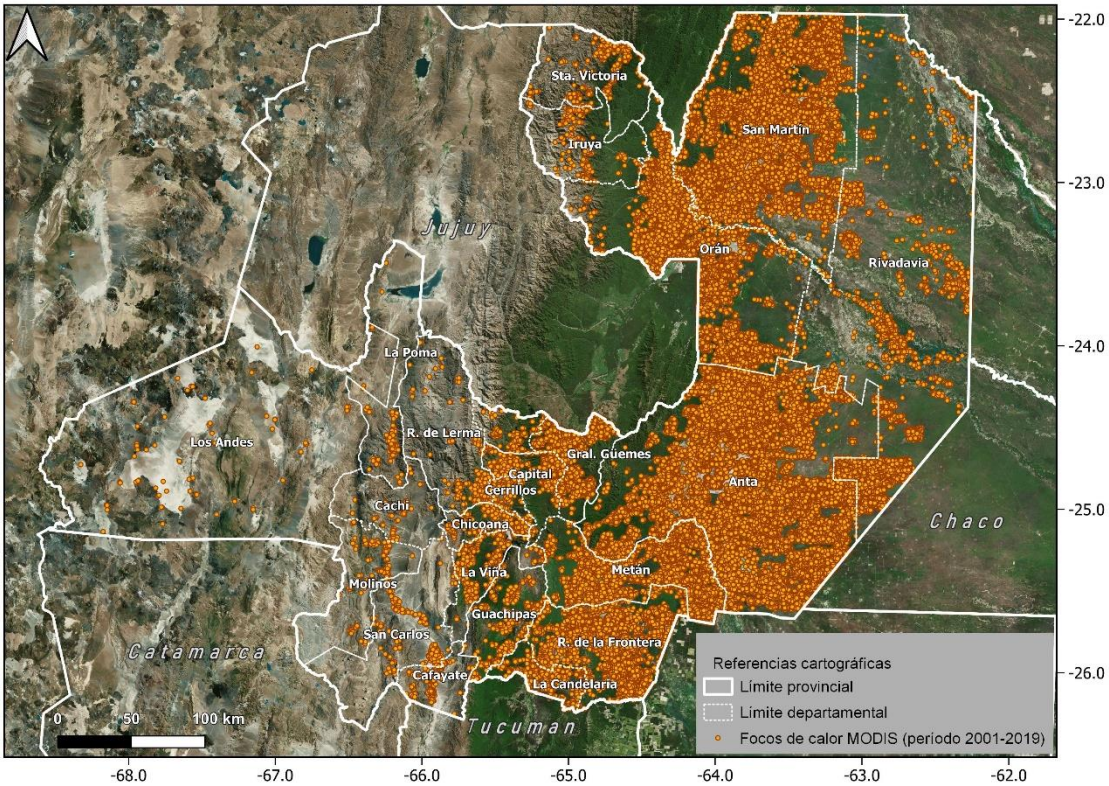

Figura 5. Ubicación espacial de los 144.312 focos de calor detectados por MODIS para el período comprendido entre los años 2001 y 2019 en la provincia de Salta, Argentina.

Sin embargo, cuando se analizó la relación entre la cantidad de alertas de incendio detectadas por MODIS durante el período 2001-2019 y la superficie (km^2) del departamento afectado, fueron seis los departamentos que se destacaron por presentar más de un foco de calor por km^2 de superficie. Anta fue el departamento con mayor densidad de focos de calor representado por un valor de 2.4 focos/km^2, seguido por San Martín con 2.2 focos/km^2, Metán con 2 focos/km^2, Orán con 1.6 focos/km^2, Rosario de la Frontera con 1.5 focos/km^2 y, por último, General Güemes con 1 foco/km^2. Por el contrario, en el

resto de los departamentos la densidad de focos de calor fue menor a 1 focos/km^2, predominando departamentos con densidades inferiores a 0.5 focos/km^2 (Figura 6).

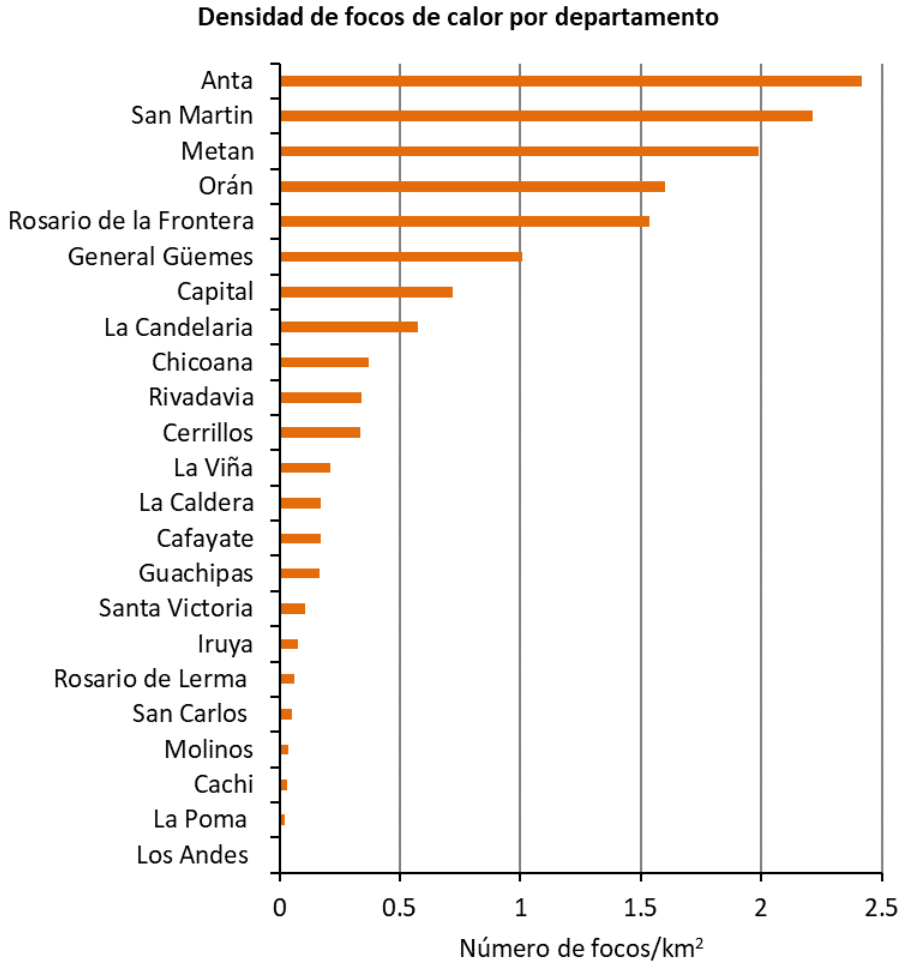

Figura 6. Densidad de focos de calor para cada departamento. La variable expresa la relación entre la cantidad de focos de calor detectados por MODIS en el período 2001–2019 y la superficie (km^2) del departamento donde se localizaron los focos.

3.2.Caracterización de la Dinámica Espacial

La distribución espacial de focos de calor varió a lo largo del territorio provincial. Gran parte se concentró sobre una franja central que recorre la provincia con dirección noreste–suroeste, delimitada por los meridianos -65° y -63°. Esta franja se corresponde con el área agropecuaria de la provincia y atraviesa los departamentos de San Martín, Orán, Anta, Metán, Rosario de la Frontera, General Güemes y el sur de Rivadavia. Asimismo, se observó que la cantidad de focos disminuyó hacia los extremos este y oeste de la provincia (Figura 7).

Del total de celdas (n=1.720), el 65% (n = 1.121) presentó al menos un foco de calor en las últimas dos décadas, mientras que el 35% restante (n=599) no alertó ningún incendio en el periodo analizado. De los sitios que presentaron alerta de incendio, más de la mitad correspondieron a sitios con baja frecuencia (< 50 focos/celda), de los cuales un tercio de las celdas (n=124) presentaron una sola alerta de incendio, todas distribuidas en los extremos este y oeste de la provincia. El resto correspondió a sitios con frecuencia media y alta (> 50 focos/celda) distribuidos en el área central de la provincia y coincidente con la zona de mayor producción agropecuaria y áreas de vegetación natural de las selvas de Yungas y de los bosques y arbustales del Chaco Salteño (Figura 7 y Tabla 2).

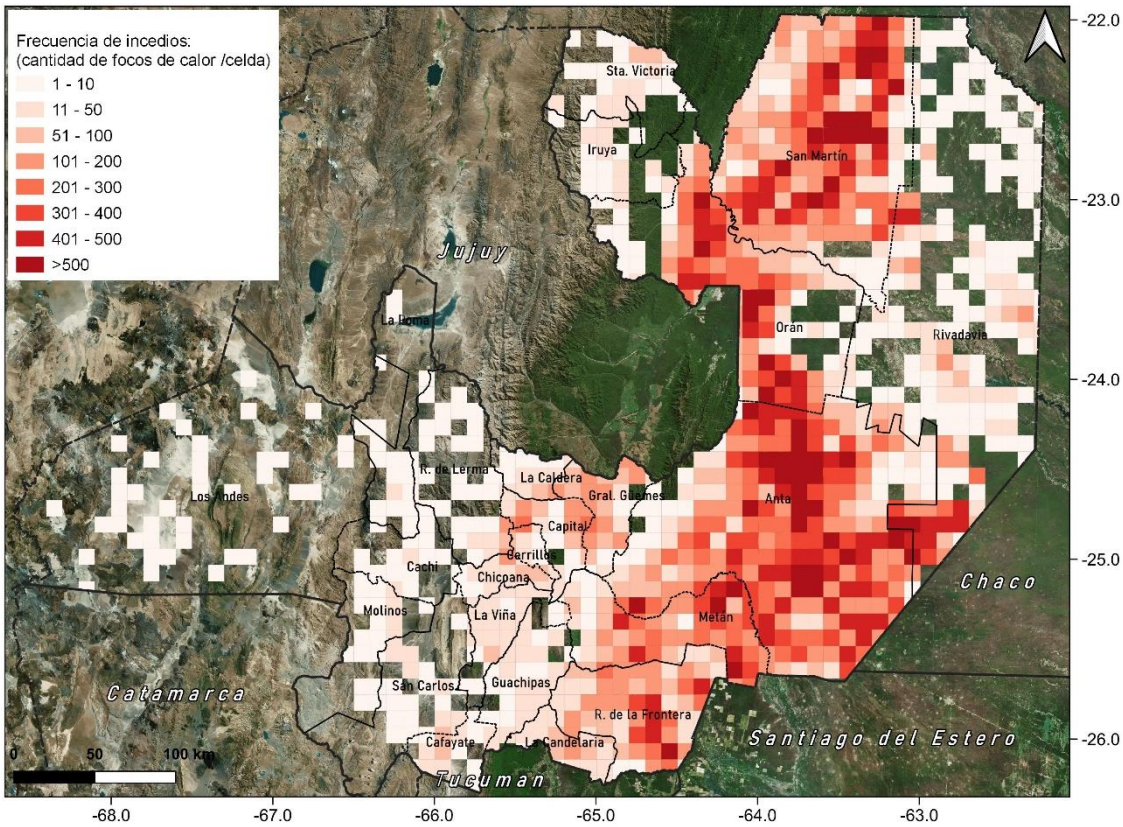

Figura 7. Distribución espacial de sitios quemados en la provincia durante el período 2001-2019, obtenido a partir del análisis de frecuencia de focos de calor MODIS para una grilla con celdas de 10 km de lado (n=1720). Las celdas se agruparon en 8 clases o rangos de valor de frecuencia de focos, donde los tonos claros indican baja frecuencia de focos, mientras que los tonos más oscuros indican mayor frecuencia de focos de calor.

Clase de frecuencia	Rango (número de focos/celda)	Número de celdas	Porcentaje de celdas (%)
Sin foco	0	599	35
1	1 – 10	382	22
2	11 – 50	216	13
3	51 – 100	106	6
4	101 – 200	152	9
5	201 – 300	82	5
6	301 – 400	60	3
7	401 – 500	67	4
8	> 500	56	3
	Total	**1720**	**100**

Tabla 2. Clases de frecuencia de focos de calor MODIS por celda. Se detalla la cantidad de celdas identificadas, expresada en número y porcentaje de celdas para cada clase de frecuencia.

3.3. Caracterización de la Dinámica temporal

3.3.1. Dinámica inter–anual

La ocurrencia de focos varió año a año. Se detectaron, en promedio, 7.595 focos de calor por año, con un máximo de 13.626 focos en el año 2009, valor que casi duplica la media anual; y un mínimo de 1.650 focos en el año 2001, valor que representó alrededor del 20% de la media (Figura 8). Asimismo, se observó un aumento gradual de focos de calor desde el año 2001 hasta el año 2003. A partir de allí y por un período de 10 años consecutivos (2003-2013), la cantidad de focos superó la media anual. Sin embargo, a partir del año 2014, se observó una disminución abrupta de focos de calor que se extendió hasta el año 2019, donde se observaron valores por debajo del promedio general (Figura 8).

Figura 8. Frecuencia anual de focos de calor para la provincia de Salta en el periodo 2001-2019. La línea punteada representa la media anual (7.595 focos/año). A la derecha, se muestra la distribución espacial de los focos detectados en los años 2001 y 2009.

3.3.2. Dinámica intra-anual

Respecto a la dinámica intra-anual, se observó que la ocurrencia de incendios varió entre meses. En general, a partir del mes de mayo se produce un aumento paulatino en la cantidad de focos hasta el mes de septiembre, donde alcanza el máximo valor. A partir de allí, la cantidad disminuye gradualmente hasta el mes de abril, donde se registra el mínimo valor de focos. De esta manera, la dinámica mensual de focos de calor muestra un comportamiento estacional muy marcado, que puede representarse a través de una curva estacional de ocurrencia de incendios promedio para la provincia de Salta, definida por una alta ocurrencia de incendios en invierno y primavera y una baja ocurrencia en verano y otoño (Figura 9).

Se detectaron, en promedio, 636 focos/mes y cuatro meses superaron este valor promedio (agosto, septiembre, octubre y noviembre). Se observó que septiembre fue el mes con mayor cantidad de focos (1.923 focos/mes), mientras que abril fue el mes con menor cantidad (52 focos/mes) (Figura 9).

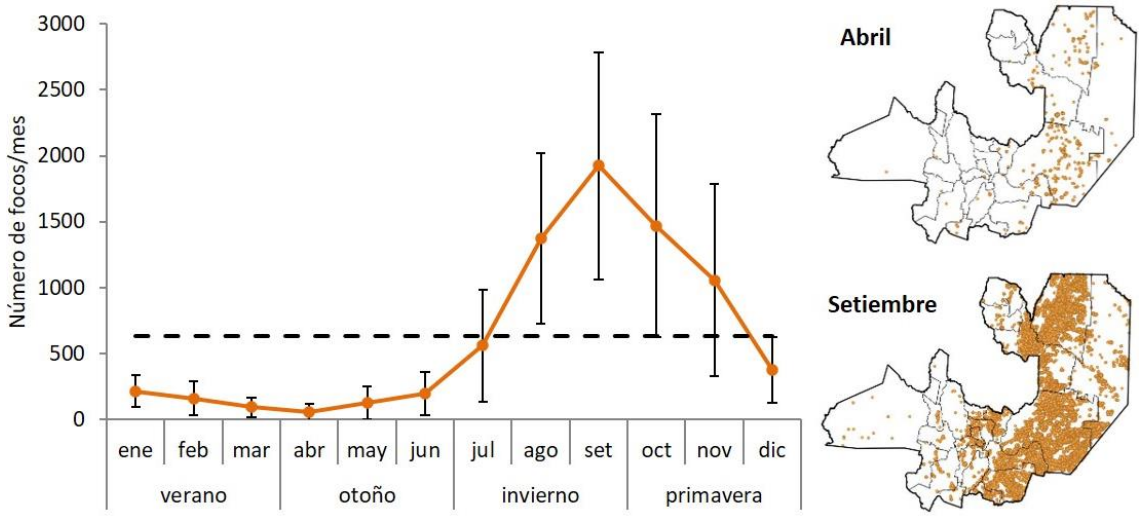

Figura 9. Curva estacional de ocurrencia promedio de incendios para la provincia de Salta, calculada a partir de la detección de focos de calor MODIS del período 2001–2019. La línea punteada representa la media mensual (636 focos/mes), mientras que las líneas verticales representan el desvío estándar interanual. A la derecha se muestra la distribución espacial de los focos de calor detectados en los meses de abril y septiembre durante dicho período.

El patrón estacional de la ocurrencia de focos, se repitió a lo largo de todos los años durante el período analizado. Las estaciones que más se quemaron corresponden al invierno y la primavera, donde se detectó que el 89% de los focos ocurrieron en esta época del año (52% y 37% de los focos, respectivamente). Por el contrario, las estaciones que menos se quemaron, corresponden al verano y al otoño, representados con el 7 % y el 4 % de los focos totales, respectivamente (Figura 10).

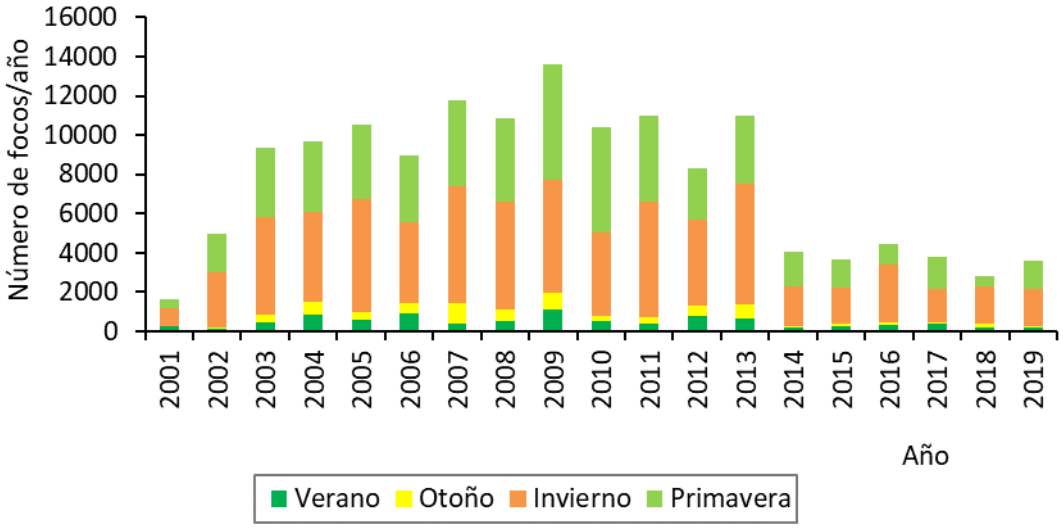

Figura 10. Frecuencia anual y estacional de los focos de calor MODIS detectados en el período 2001–2019 en la provincia de Salta.

3.4.Recurrencia anual de incendios

La recurrencia de incendios varió a lo largo del territorio provincial. Del total de celdas que presentaron alerta de incendio durante el período 2001-2019 (n=1121), el 47% (n=526) presentaron baja recurrencia de incendios. Estos sitios se ubicaron, principalmente, en los extremos este y oeste de la provincia. El 53% restante (n=595) concentró los sectores más quemados, de los cuales el 29% de las celdas (n=329) presentaron recurrencia media y el 24% (n=266) presentaron recurrencia alta. Estos sitios se distribuyen a lo largo de la franja central de la provincia, afectando principalmente lotes agropecuarios y áreas con cobertura vegetal natural de las selvas de Yungas y de los bosques y arbustales del Chaco salteño (Figura 11 y 12).

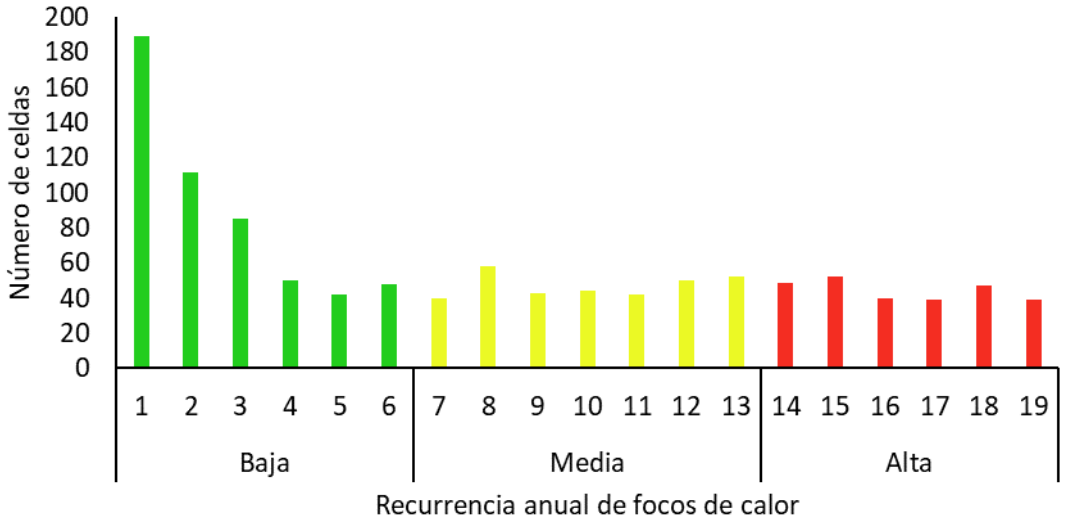

Figura 11. Número de celdas para cada uno de los 19 valores de recurrencia anual de focos MODIS agrupados en tres clases de recurrencia anual (baja, media, alta), para el período 2001-2019 en la provincia de Salta.

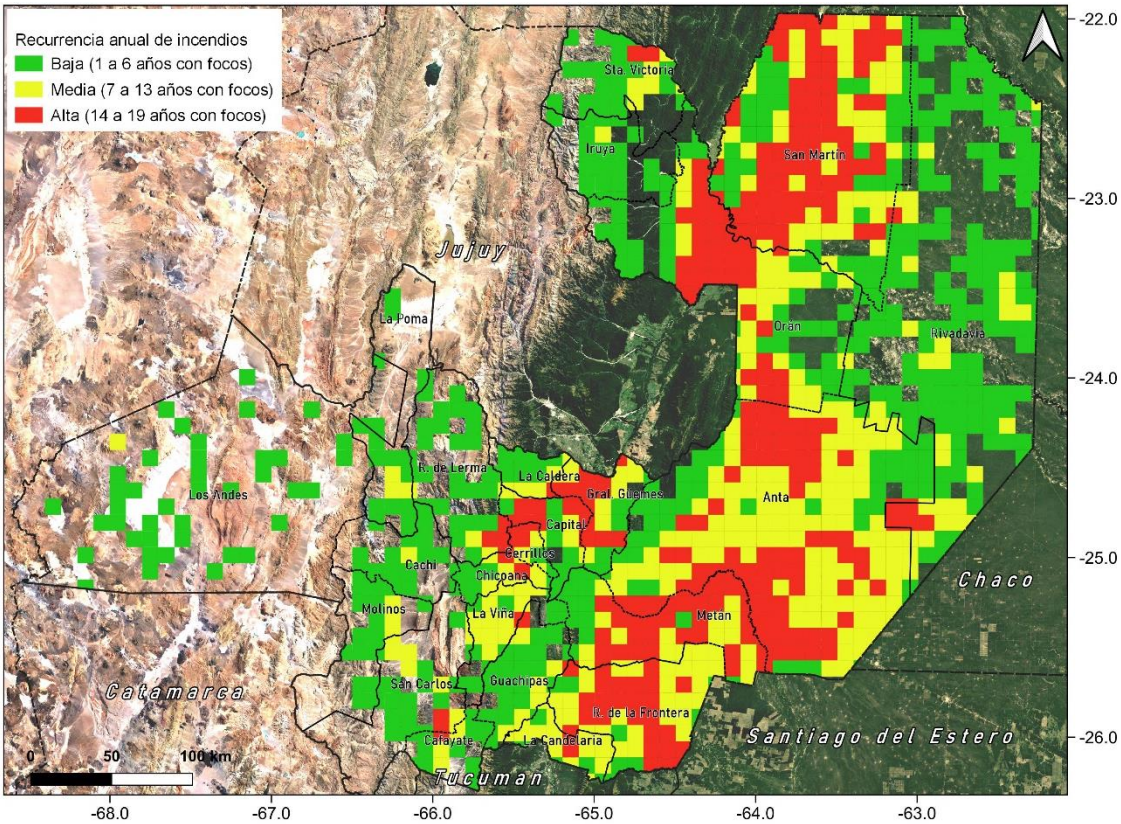

Figura 12. Distribución espacial de la recurrencia anual de focos de calor MODIS del período 2001-2019, calculados sobre una grilla con celdas de 10 km de lado que cubren la provincia de Salta. Las celdas se agruparon en tres clases: baja, media y alta, y se representan en color verde, amarillo y rojo, respectivamente.

3.4.1. Recurrencia estacional de incendios

Los resultados muestran que todas las estaciones presentaron recurrencia anual de incendios, lo que varió fue la cantidad y distribución de los sitios, y la intensidad de recurrencia en cada estación. Para las cuatro estaciones predominaron sitios con baja recurrencia y menos frecuente fue encontrar sitios con recurrencia media y alta. El otoño fue la estación que menos se quemó. En esta estación, se identificaron 515 celdas con alerta de incendio, de las cuales el 97% presentó baja recurrencia, y menos del 1% de las celdas presentó recurrencia media y alta. Le sigue el verano con 526 celdas con focos, de las cuales el 80% presentó recurrencia baja, alrededor del 20% presentó recurrencia media y menos del 1% presentó recurrencia alta. La primavera, con 909 celdas con focos, correspondió a una de las estaciones que más se quemó. En esta estación, el 60% de las celdas presentó recurrencia baja, el 34% presentó recurrencia media y el 6% presentó recurrencia alta. Por último, el invierno representado por 977 celdas con focos de calor, correspondió a la estación que más se quemó, donde el 56% de las celdas presentó

recurrencia baja, el 30% presentó recurrencia media y el 14% presentó recurrencia alta (Figura 13).

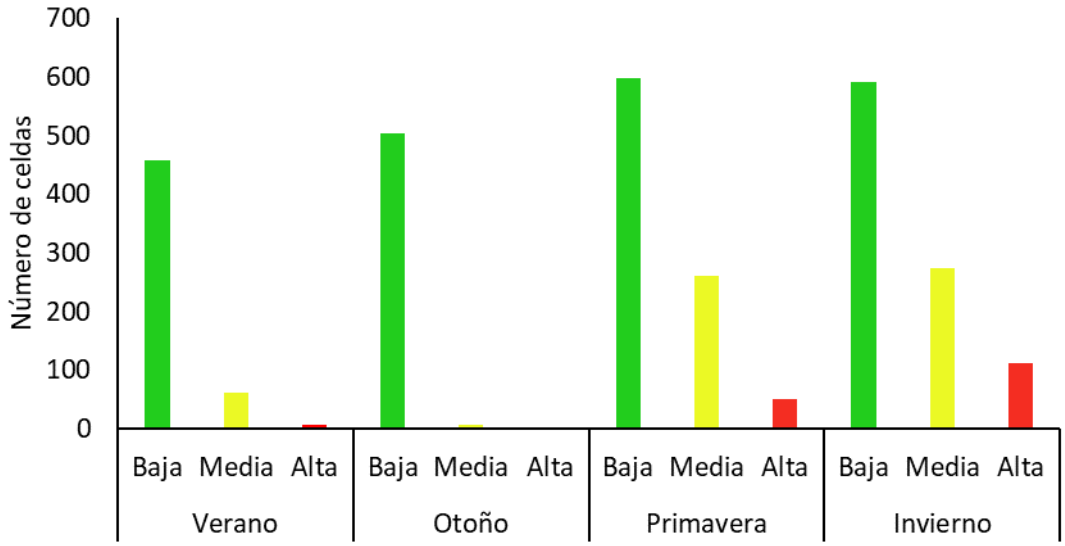

Figura 13. Número de celdas por clase de recurrencia anual de focos MODIS (baja, media, alta) para cada estación, detectados en el período 2001-2019 en la provincia de Salta.

La distribución espacial de la recurrencia anual de focos varió con las estaciones, principalmente para los sitios con recurrencia media y alta. En verano, predominaron sitios con baja recurrencia distribuidos a lo largo de la franja agropecuaria de la provincia. Se observó, además, un aumento en la cantidad de sitios con recurrencia media, los que se ubican principalmente en los departamentos de San Martín, Orán y Anta. También aparecen celdas con alta recurrencia, dispersas dentro de la matriz de sitios con menor recurrencia (Figura 14).

En otoño, los sitios con baja recurrencia presentaron una distribución más amplia que en las otras estaciones, afectando todos los departamentos de la provincia. Se puede observar, además, un sector que agrupa celdas con recurrencia media y alta, ubicado al norte de Orán, y que coincide con un sector de producción cañera del departamento (Figura 14).

En invierno y primavera se observó mayor cantidad de sitios que se queman. Aumenta notablemente el número de celdas con recurrencia media y alta. Los sitios con alta recurrencia se agrupan formando parches que ocupan mayor extensión en el invierno; mientras que en primavera predominan parches de menor extensión y algunas celdas aisladas. Estos sitios se distribuyen principalmente sobre áreas agrícolas de los

departamentos de San Martín, Orán, Anta, Metán, Rosario de la Frontera, Rosario de Lerma, Cerrillos, Chicoana, Capital y General Güemes (Figura 14).

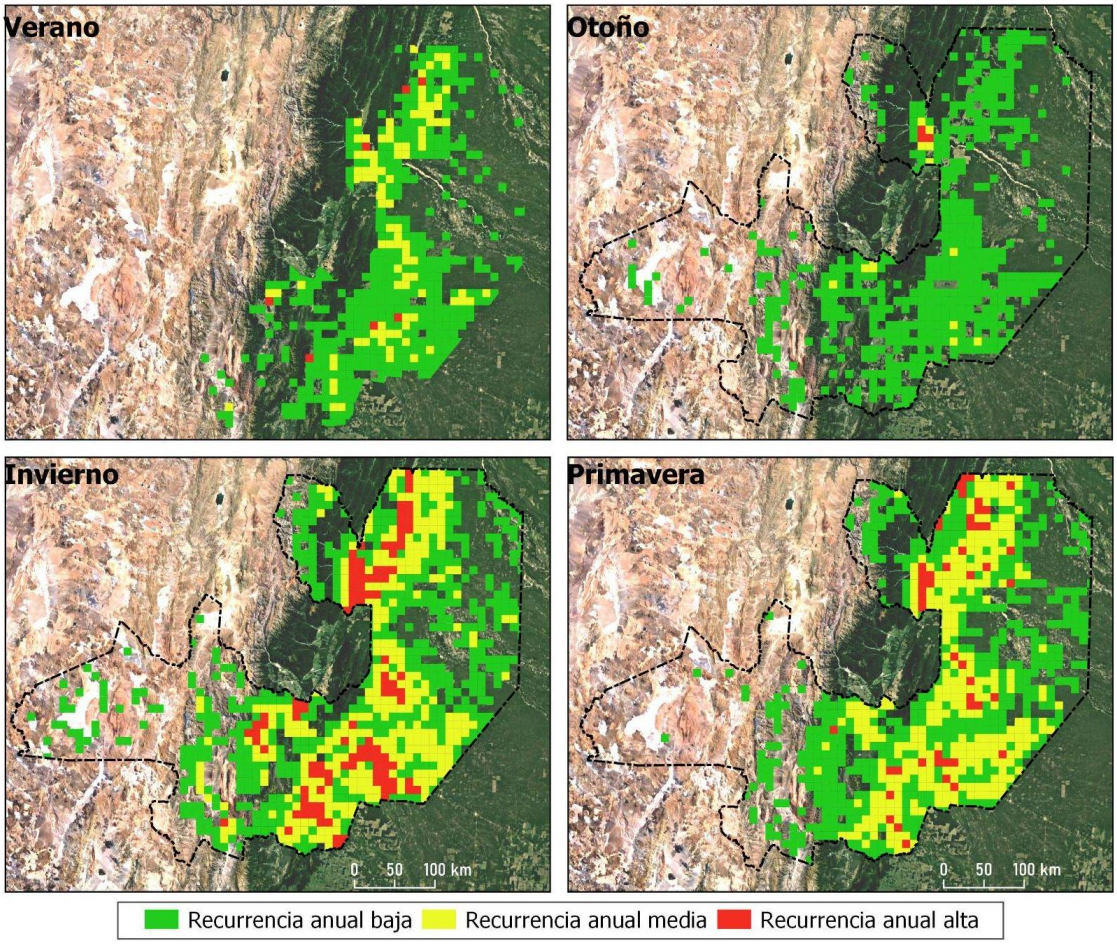

Figura 14. Distribución espacial de la recurrencia anual de focos de calor MODIS (baja-media-alta) por estación, para el período 2001–2019 en la provincia de Salta.

3.5. Los incendios y el tipo de cobertura afectada

Los focos de calor afectaron diferentes tipos de cobertura. El 71.8% (103.584 focos) coincidió con lotes desmontados. El 20.6 % (29.754 focos) se distribuyó entre las diferentes coberturas vegetadas que abarcan el área de bosques nativos de la provincia que afectan las regiones de Chaco, Yungas y parte del Monte. Y el 7.6% (10.974 focos) coincidió con sectores ocupados con ‘otro’ tipo de cobertura, como ser: áreas de suelo desnudo, salares, lecho inundable de cursos de agua, áreas urbanas, pequeños lotes agropecuarios no contemplados en la cartografía analizada y sectores vegetados de la Puna, Prepuna y Monte (Figura 15).

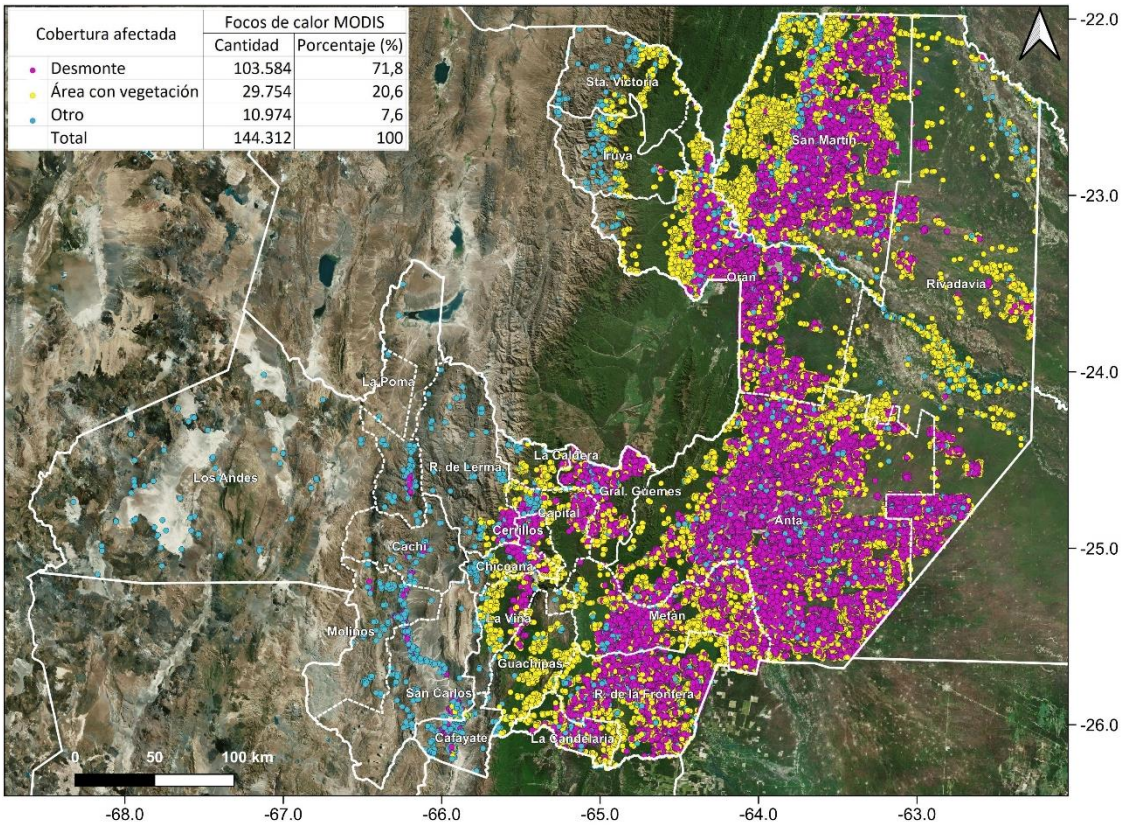

Figura 15. Distribución espacial de los focos de calor MODIS detectados en el período 2001–2019 en la provincia de Salta y los tipos de cobertura afectadas (desmontes, áreas vegetadas, otros).

3.5.1. Tipo de vegetación afectada por los incendios

Del total de focos de calor identificados en las dos últimas décadas, el 20.6% (29.754 focos) se distribuyeron sobre áreas vegetadas de las regiones de Chaco, Yungas y parte del Monte (Figura 15). Los resultados muestran que dependiendo de la variable analizada (frecuencia total de focos de calor por cobertura vegetal o densidad de focos por superficie (km^2) de cobertura vegetal), el tipo de vegetación más afectada por incendios varía.

Teniendo en cuenta la frecuencia de focos de calor, se observó que las regiones del Chaco y Yungas concentraron el 67% y el 33% de los focos detectados en las dos últimas décadas, respectivamente, y que éstas corresponden a las regiones que mayor superficie ocupan en el territorio provincial (57.686 y 19.768 km^2, respectivamente). En ambos casos las coberturas de porte arbóreo y arbustivo fueron las más afectadas por los incendios y, en menor cantidad, los sectores cubiertos por pastizales (Figura 16 y 17). Mientras que la región del Monte es la menos representada, tanto en superficie que ocupa (39 km^2) como en ocurrencia de incendio, con menos del 1% de focos de calor detectados para esta región (Figura 18).

Sin embargo, al analizar la densidad de focos para cada clase de cobertura, se observó que fueron tres los tipos de vegetación más afectados por incendios en las últimas dos décadas. Los pastizales del Chaco, con una densidad de 1,9 focos/km^2 (Figura 16), seguido de las estepas arbustivas de la región del Monte con 1,1 focos/km^2 (Figura 18), y por último las selvas de Yungas con 0,6 focos/km^2 (Figura 17). El resto de las clases de cobertura presentaron valores menores o iguales a 0,3 foco/km^2 (Figura 16 y 17).

Clase de vegetación	Focos de calor		Superficie de la Clase de vegetación		Densidad
	Cantidad total	%	km^2	%	Nro. focos/ km^2
Bosque y arbustal	19286	65	57301	74	0,3
Pastizal	744	3	385	0.5	1,9
Total	20030	67	57686	74	0,3

Figura 16. Frecuencia y densidad (focos/km^2) de focos de calor MODIS y las clases de vegetación afectada para la región del Chaco (período 2001–2019).

Clase de vegetación	Focos de calor		Superficie de la Clase de vegetación		Densidad
	Cantidad total	%	km²	%	Nro. focos/ km²
Selva	8619	29	14894	19	0,6
Pastizal de altura	807	3	3019	4	0,3
Bosque montano	253	1	1855	2	0,1
Total	9679	33	19768	26	0,5

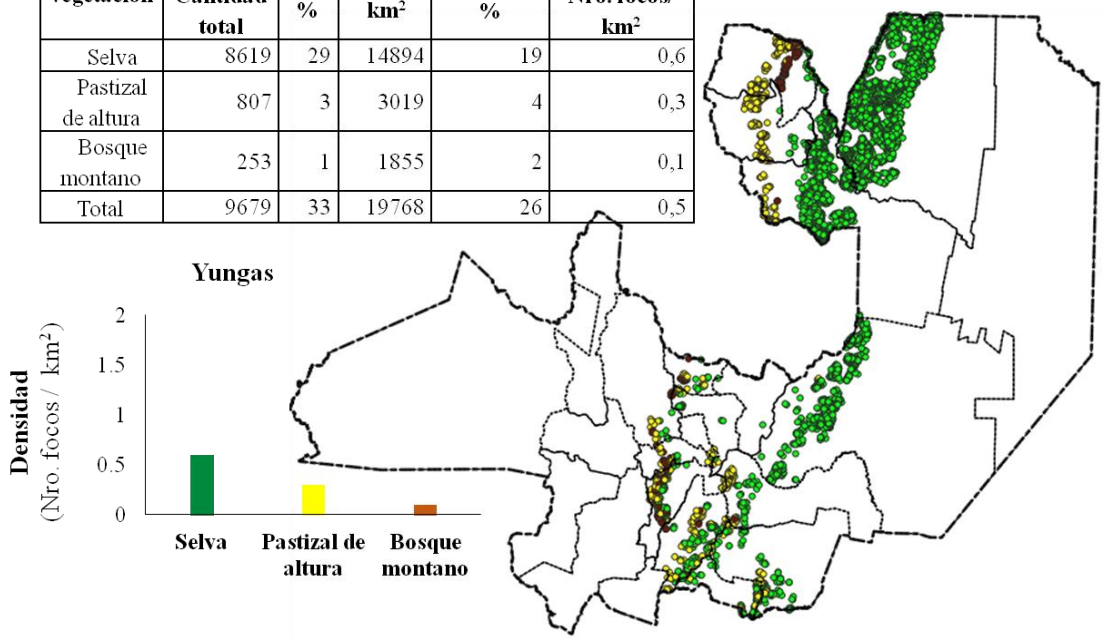

Figura 17. Frecuencia y densidad (focos/km²) de focos de calor MODIS y las clases de vegetación afectada para la región de Yungas (período 2001–2019).

Clase de vegetación	Focos de calor		Superficie de la clase de vegetación		Densidad
	Cantidad total	%	km²	%	Nro. focos/ km²
Estepa arbustiva	45	0.2	39	0.1	1,1
Total	45	0.2	39	0.1	1,1

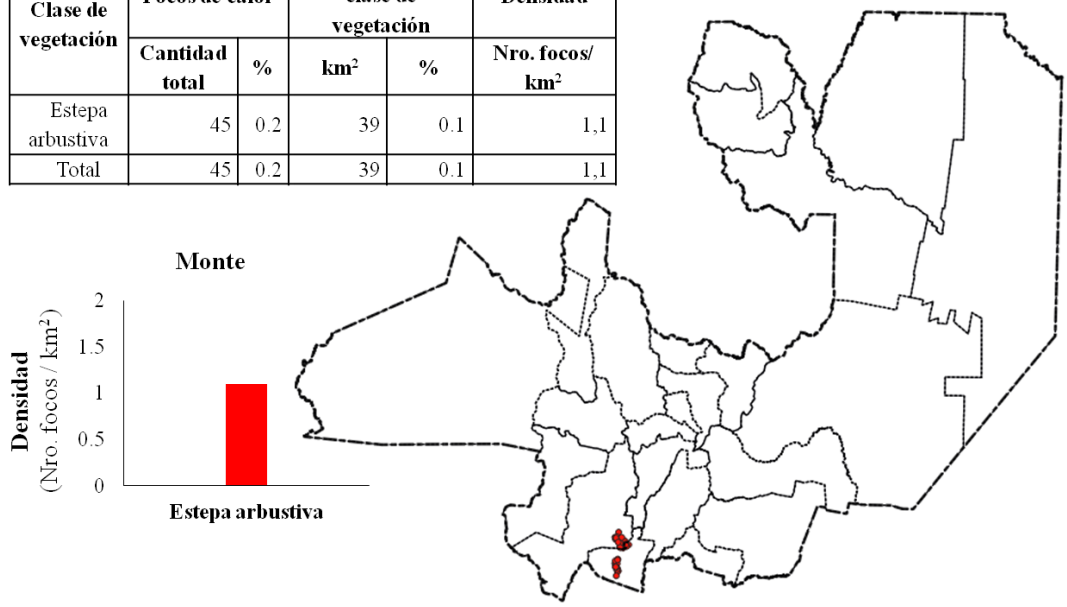

Figura 18. Frecuencia y densidad (focos/km²) de focos de calor MODIS y las clases de vegetación afectada para la región del Monte (período 2001–2019).

3.5.2. Áreas desmontadas afectadas por los incendios

Del total de focos de calor identificados en las dos últimas décadas, el 71,8% (103.584 focos) se distribuyeron sobre lotes agropecuarios desmontados entre los años

1976 y 2019. De los 103.584 focos, el 52 % (53.362 focos) coincidió con lotes desmontados previos a la detección del foco y, el 48 % (50.222 focos) coincidió con focos desmontados el mismo año en que se detectó el evento de incendio.

La frecuencia de focos de calor varió cada año, al igual que las superficies desmontadas. Al analizarlas en conjunto, observamos una variación casi sincrónica entre los focos de calor detectados por el sensor MODIS y las áreas desmontadas anualmente en el período 2001-2019. En los años 2004, 2005, 2007, 2008 y 2011, se identificaron picos de focos de calor que coincidieron con períodos anuales de máximas superficies desmontadas. Estos valores disminuyeron a partir del año 2015 y se mantuvieron hasta el final de la serie temporal. Sin embargo, el aumento de la superficie desmontada no siempre estuvo acompañado de un aumento de focos de calor, como puede observarse para los años 2006, 2012 y 2014 (Figura 19).

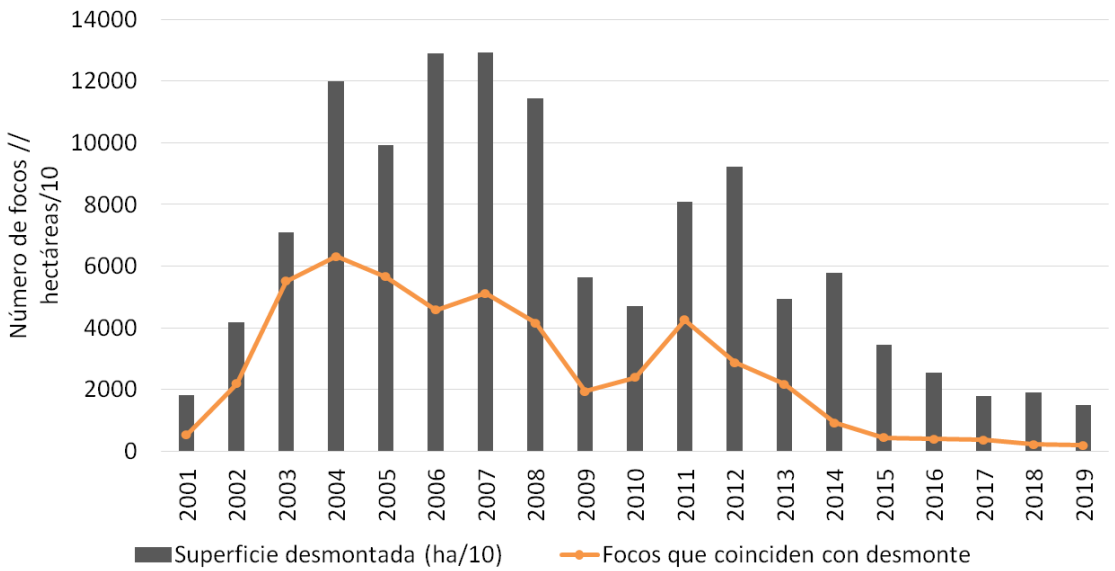

Figura 19. Número de focos de calor MODIS y la superficie anual desmontada (en hectáreas/10) durante el período 2001–2019, en la provincia de Salta.

Los focos de calor de MODIS presentaron una relación lineal positiva (Nro focos = 47.198 * superficie desmontada anual (hectáreas/10) – 383.47) con la superficie desmontada anualmente en la provincia. Es decir que a medida que aumentó la superficie desmontada también aumentaron los focos de incendio. La superficie desmontada explicó el 78% de la variación temporal de la cantidad de focos de calor detectados por el sensor en el territorio provincial (Figura 20).

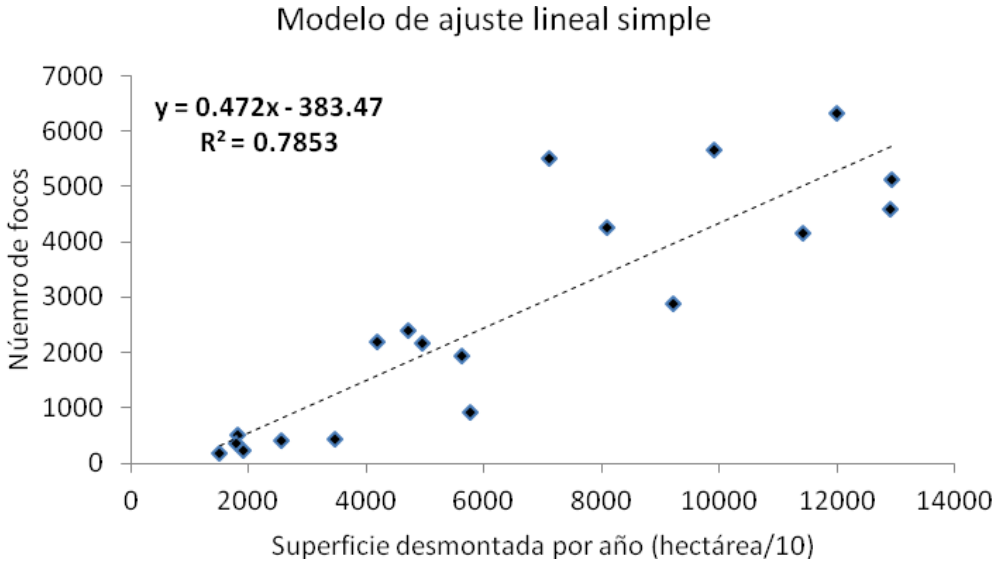

Figura 20. Modelo de ajuste lineal simple (Nro focos = 47.198 * superficie desmontada anual (hectárea/10) – 383.47, R^2 = 0.7853) entre número de focos de calor de MODIS y la superficie desmontada por año durante el período 2001–2019 en la provincia de Salta.

4. DISCUSIÓN

4.1. Dinámica espacial de los eventos de fuego

El análisis de la distribución espacial de los focos de calor MODIS durante las últimas dos décadas en la provincia de Salta, mostró que los incendios ocurren con mayor frecuencia sobre lotes agropecuarios y sectores aledaños. Más del 70% de los focos coincidió con lotes desmontados, de los cuales un poco más de la mitad coincidió con lotes desmontados en años anteriores al incendio, mientras que el resto de los focos coincidió con lotes desmontados el mismo año en que se alertó el incendio. Esto sugiere que la causa estaría vinculada a actividades antrópicas que, para el primer caso, se asocian a prácticas de manejo que se realizan en los campos productivos, en donde se usa el fuego principalmente para eliminar residuos agrícolas (Mielnicki et al., 2005), para controlar las especies leñosas y promover el rebrote de los pastos a través de la eliminación de tejido vegetal muerto y seco, o para eliminar residuos leñosos luego de tratamientos mecánicos (rolados) antes de la aplicación de herbicidas (Kunst, 2011). En el segundo caso, la ocurrencia de incendios estaría asociada con la habilitación de nuevas tierras agropecuarias, donde se desmonta, se acordona y luego se quema en el sitio la vegetación leñosa removida (Gasparri et al., 2008). Estos resultados coinciden con la postura del Servicio Nacional del Manejo del Fuego (SNMF), quien sostiene que alrededor del 95% de los incendios corresponden a actividades vinculadas con el hombre.

También se observó una estrecha relación entre el número de focos de incendio y la superficie anual deforestada en la provincia. El incremento de la superficie anual desmontada y el acompañamiento casi sincrónico de las alertas de incendio detectadas sobre áreas agropecuarias sugiere que la ocurrencia de fuego estaría fuertemente ligada a la expansión agrícola. A partir del año 2009, posterior a la sanción de la Ley Provincial N.º 7.543 de Ordenamiento Territorial de Bosques Nativos, tanto la superficie desmontada como la ocurrencia de incendios disminuyeron. Si bien ciertos autores lo atribuyeron a la aplicación efectiva de la Ley (Nolte et al., 2017; 2018), la deforestación no sólo no disminuyó drásticamente después de que se aprobó la misma, sino que continuó ocurriendo, incluso en áreas explícitamente protegidas (Piquer-Rodríguez et al., 2015; Volante & Seghezzo, 2018; Vallejos et al., 2021). A pesar de la vigencia de la Ley, se observaron tres picos de superficies desmontadas en los años 2011, 2012 y 2014, acompañados con alta ocurrencia de focos de calor. Este patrón podría relacionarse con los cambios en la categoría de conservación de bosques a escala predial (regulados por el Decreto provincial N.º 2.211/2010), el cual permitió la habilitación de desmontes en las categorías de mayor valor (Categorías I -rojo- y II -amarillo-) durante el período 2010-2014 en el estado provincial.

A pesar de que la Ley de Bosques instaló en la opinión pública de nuestro país la problemática vinculada a la pérdida de bosques nativos y se ha posicionado como el principal instrumento de política forestal nacional para su protección, no existen evidencias certeras de que la reducción en las tasas de deforestación se deba a su aplicación ni que sea un instrumento para regular la expansión agrícola a futuro (Aguiar et al., 2018). A mediano plazo, los escenarios futuros de uso del suelo pronostican que la expansión agrícola y el reemplazo de bosques nativos bajo diferentes categorías de protección/conservación seguirán ocurriendo (Piquer-Rodríguez et al., 2018; Baldassini et al. 2020). La aplicación de políticas económicas que afecten las ganancias marginales (por ejemplo, impuestos o subsidios) parecieran tener un potencial limitado para alterar a futuro las tasas y los patrones de deforestación de manera importante (Piquer-Rodríguez et al., 2018). De esta manera, es de esperar que los eventos de fuego antrópicos asociados con los cambios en el uso del suelo también sigan ocurriendo, con su consiguiente impacto sobre la provisión de servicios ecosistémicos (Paruelo et al., 2011) y las emisiones de carbono (Baldassini et al., 2020).

La ocurrencia de incendios, por otra parte, disminuyó hacia los extremos este y oeste de la provincia, donde predominan sitios con baja frecuencia de focos agrupados en parches discontinuos, que dejan entrever sectores con ausencia de alerta de incendios a lo largo del período analizado. Gran parte de estos sitios están relacionados con centros poblados y puestos aislados, lo que sugiere que los fuegos están asociados a actividades agropecuarias locales, pero también a actividades recreativas (campamentos y fogones), deportivas (caza, pesca), delictivas, entre otras (SNMF, 2020). En este grupo de datos, se observó un alto porcentaje de celdas con un solo foco de calor, dispersas a lo largo del territorio provincial. Es posible que estas alertas correspondan a falsas alarmas (falsos positivos) porque se localizaron sobre sectores ocupados por coberturas altamente reflectivas, como ser zonas urbanas, salares en la región de la Puna, áreas de lecho de río y otras áreas de suelo desnudo. Chuvieco et al. (2012), consideran que las falsas detecciones pueden asociarse a cubiertas con presencia mixta de vegetación y suelo, a zonas urbanas o a suelos calientes.

4.2. Dinámica temporal de los eventos de fuego

El patrón temporal de los focos de calor mostró que no todos los años se queman con la misma intensidad y que, a su vez, dentro del año existen meses y estaciones que se queman más que otras. El régimen de incendios depende principalmente de los ciclos anuales y la variabilidad de las precipitaciones, aunque, también, están fuertemente influenciados por presiones sociales, económicas y culturales (Mielnicki et al, 2005). A partir del año 2003 y hasta 2013, se produce un incremento en la frecuencia de focos de calor en la provincia de Salta. Esto podría estar relacionado con los cambios tecnológicos, el acceso a los mercados internacionales (Grau et al., 2005) y el incremento del precio de la soja (Brown et al, 2009), lo que impulsó la expansión agrícola en la región (Gasparri & Grau 2009), y con ello, la quema de biomasa asociada a la habilitación de nuevos campos para la producción (Gasparri et al., 2008). Por otro lado, la variación anual de incendios, se puede asociar con el régimen de precipitaciones. Por ejemplo, en las sabanas chaqueñas de Santiago del Estero, los incendios ocurren durante años de lluvia por encima del promedio, y los incendios extensos tienden a seguir a dos años de lluvia por encima del promedio, lo que genera una mayor producción de combustibles finos durante años de alta precipitación (Bravo et al, 2010), que luego se queman en la época seca.

La mayor ocurrencia de incendios se produce en las estaciones de invierno y primavera (época seca), con un máximo registro de focos de calor en el mes de septiembre. El comportamiento estacional de los incendios se relaciona con el patrón climático (Kunst, 2011). Por ejemplo, en la región chaqueña, la temporada de incendios comienza en junio-julio, luego de que las primeras heladas 'fuertes' acondicionan el combustible (particularmente el herbáceo), y finaliza con las primeras lluvias importantes que ocurren durante octubre y noviembre, y que generan el aumento la humedad relativa del aire y la producción de nuevo tejido vegetal (Kunst, 2011). A fines de invierno y principio de primavera, la ocurrencia de fuertes vientos y la baja humedad relativa del aire genera condiciones ambientales que favorecen la ocurrencia de fuegos intensos y que se propagan fácilmente (Kunst, 2011). Pero también, la época de máxima ocurrencia de incendios coincide con actividades antrópicas, como ser las quemas prescriptas en la región chaqueña, que se realizan entre mediados de invierno y primavera con el objetivo de controlar las especies arbustivas (Kunst, 2015), y los desmontes para la habilitación de nuevos campos productivos.

El análisis de recurrencia anual de los focos de calor, mostró que en la provincia existen sitios que se queman más que otros, y que más de la mitad de estos sitios, lo hacen con una recurrencia mayor a 6 años. El invierno y la primavera fueron las estaciones que concentraron la mayor cantidad de sitios con estas características. Estos sectores se localizan sobre lotes agropecuarios y sectores aledaños cubiertos con vegetación natural de las selvas de Yungas y los bosques chaqueños. Estas altas recurrencias están asociadas a diversas actividades agrícolas que utilizan el fuego como práctica habitual de manejo. En la región cañera de la provincia, por ejemplo, que se ubica principalmente en el departamento de Orán y en el valle de Siancas (departamento de General Güemes), la quema constituye una actividad recurrente que se realiza con el fin de eliminar hojas en las plantas de caña de azúcar con más de un año (Volante et al., 2004) para favorecer, de esta manera, el rebrote del cultivo.

Los incendios sobre coberturas naturales fueron menos frecuentes en las últimas dos décadas. De las coberturas afectadas, fueron los pastizales del Chaco, las estepas arbustivas del Monte y las selvas de Yungas, las coberturas que más se quemaron. Sin embargo, en la revisión de los cálculos de densidad de focos para las estepas arbustivas de la región del Monte, estos podrían estar sesgados debido a que la cartografía empleada en el análisis no contempla la totalidad de la extensión de esta región dentro del territorio

provincial. La estructura del paisaje chaqueño, por otra parte, caracterizado por pastizales en bajos rodeados de ‘paredes’ de bosques, genera un ambiente propicio para los incendios, ya que el viento se canaliza en ellos y acelera la velocidad de avance del frente de fuego (Kunst, 2011). Las especies de gramíneas producen y acumulan biomasa (combustible fino) durante la primavera, verano y otoño, y contribuyen a la acumulación de material senescente necesario para las quemas (Kunst, 2011) que se producen principalmente en la época seca. En este sentido, la estructura de la vegetación y el paisaje, representan factores que favorecen la ocurrencia de los incendios entre los pastizales, los bosques chaqueños y las selvas de Yungas. Pero también, la presencia antrópica en los montes, bosques o en sus adyacencias, va acompañada de elementos, actividades o instalaciones que generan mayor presión de incendios, ya sea por negligencia (fogón mal apagado) o fuegos intencionales para deforestar (SNMF, 2020).

5. CONCLUSIÓN

En base a la accesibilidad, la extensa cobertura espacial y temporal, los datos provenientes de sensores remotos proveen de información que puede resultar muy útil para, por ejemplo, el análisis de incendios. En particular, el procesamiento y análisis de series temporales de focos de calor MODIS, permitió caracterizar la dinámica espacio-temporal de incendios ocurridos en Salta durante los últimos 20 años. La disponibilidad de series temporales continuas, con registros diarios de focos de calor de las últimas dos décadas, permitió construir una curva estacional de ocurrencia de incendio promedio para la provincia de Salta, donde se puede observar, mes a mes, cómo varía la frecuencia de incendios en el territorio. Esta información resulta muy valiosa ya que permite conocer en qué momento se producen los incendios, aportando datos útiles para poder prevenirlos y/o diseñar una política asociada a la mitigación de sus efectos en el corto y mediano plazo. También es importante tener presente que es posible construir esta curva a escalas espaciales mucho más acotadas (predial, local, departamental) e inclusive extender su análisis a niveles regionales, nacionales e internacionales. Disponer de mapas que permitan identificar sitios quemados y conocer la distribución espacial y el comportamiento temporal de los incendios representa información de gran utilidad que se podría emplear como una herramienta de gestión para la toma de decisiones por parte de los organismos encargados de la prevención y combate de incendios en la provincia.

6. BIBLIOGRAFÍA

Aguiar, S., Mastrangelo, M. E., García Collazo, M. A., Camba Sans, G. H., Mosso, C. E., Ciuffoli, L., & Verón, S. R. 2018. ¿Cuál es la situación de la Ley de Bosques en la Región Chaqueña a diez años de su sanción? Revisar su pasado para discutir su futuro. Ecología Austral, 28(2), 400-417.

Baldassini P., Bagnato, C. E., Paruelo, J. M. 2020. How may deforestation rates and political instruments affect land use patterns and Carbon emissions in the semi-arid Chaco, Argentina?

Bowman D. M. J. S. et al., 2009. Fire in the Earth System. Science 324, 481. DOI: 10.1126/science.1163886.

Brown, A. 2009. Capítulo 1. Selva Pedemontana de Las Yungas. Historia natural, ecología y manejo de un ecosistema en peligro (pp 13-36). Tucumán, Argentina: Ediciones del Subtrópico.

Cabral, C. M., Negri, M.O., Raineri, E., Geipel, V. 2009. Sistema de información geográfico de la provincia de Salta planificación, gestión, monitoreo y control del desarrollo sustentable en Bosques Nativos. Provincia de Salta, Ministerio de Desarrollo Económico, Consejo Federal de Inversiones. Disponible en: http://geoportal.idesa.gob.ar/

Chuvieco, E., Cifuentes, Y., Hantson, S., Agustín López, A., Ramo R., y Torres, J. 2012. Comparación entre focos de calor MODIS y perímetros de área quemada en incendios mediterráneos Revista de Teledetección 37, 9-22 ISSN: 1988-8740.

Di Bella C. y Posse G. 2014. Capítulo 15: Estudio y seguimiento de los incendios. En Paruelo, JM; Di Bella, CM y Milkovic, M (Editores). 2014. Percepción remota y sistemas de información geográfica. Sus aplicaciones en Agronomía y Ciencias Ambientales. Editorial: Hemisferio sur

Di Bella, C. M., Fischer, M. A., Jobbagy, E. G. 2009. Fire patterns in north-eastern Argentina: influences of climate and land use/cover. International Journal of Remote Sensing.

Di Bella, C. M., Posse, G., Beget, M. E., Fischer, M. D. L. A., Mari, N., & Verón, S. 2008. La teledetección como herramienta para la prevención, seguimiento y evaluación de incendios e inundaciones. Revista Ecosistemas, 17(3).

Di Bella, C. M., Jobbágy, E. G., Paruelo, J. M., & Pinnock, S. 2006. Continental fire density patterns in South America. Global Ecology and Biogeography, 15(2), 192-199.

Gasparri, N. I., Grau, H. R., & Manghi, E. 2008. Carbon pools and emissions from deforestation in extra-tropical forests of northern Argentina between 1900 and 2005. Ecosystems, 11(8), 1247-1261.

Gasparri, N. I., & Grau, H. R. 2009. Deforestation and fragmentation of Chaco dry forest in NW Argentina (1972–2007). Forest ecology and Management, 258(6), 913-921.

Giglio, L., Schroeder, M. W., Hall, J. V. 2018. MODIS Collection 6 Active Fire Product User's Guide Revision B. NASA. Disponible en: https://cdn.earthdata.nasa.gov/conduit/upload/10575/MODIS_C6_Fire_User_Guide_B.pdf

FIRMS. 2018. Fire Information for Resource Management System: Section FAQS. Disponible en: https://earthdata.nasa.gov/faq/firms-faq

IDESA. 2019. Infraestructura de Datos espaciales de Salta Disponible en: http://geoportal.idesa.gob.ar/

Kunst, C., Ledesma, R., Bravo, S, Defossé, G., Godoy, J., Navarrete, V., Jaime, N. 2015. Dinámica del contenido de humedad de pastos y su relación con la ecología del fuego en región chaqueña occidental. Argentina. Revista de Investigaciones Agropecuarias, vol. 41/Nº 1, 83–93.

Kunst C. 2011. Ecología y uso del fuego en la región chaqueña Argentina: una revisión. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Estación Experimental Agropecuaria Santiago del Estero. Boletín del CIDEU 10: 81-105 (2011) ISSN 1885-5237.

Lizárraga, L. R. 2015. Caracterización espacial y temporal de la situación de incendios en las provincias de Salta y Jujuy a partir de focos de calor MODIS (2003-2013). Tesina. Universidad Nacional de Salta Facultad de Ciencias Naturales Escuela de Recursos Naturales.

Mari, N., Kanpandegi, Di Bella, C. Fischer, M. Ferrer F. 2007. Respuesta espectral de la vegetación ante disturbios de fuego para distintos ecosistemas de la Argentina. Actas del

XII Congreso de la Asociación Española de Teledetección. 19–21 de septiembre de 2007. Mar del Plata, Argentina.

Mielnicki, D.M. y Canziani, P.O. 2005. Quema de biomasa en Sudamérica: impactos regionales y globales. Programa de estudios de los procesos atmosféricos en el cambio global / pontificia. Universidad Católica Argentina. CONICET.

Nadir, A. y Chafatinos, T. 1990. Los Suelos del NOA (Salta y Jujuy). Tomo I, II y III.

Nolte, C., Gobbi, B., de Waroux, Y. L. P., Piquer-Rodríguez, M., Butsic, V., & Lambin, E. F. 2017. Decentralized land use zoning reduces large-scale deforestation in a major agricultural frontier. Ecological Economics, 136, 30-40.

Nolte, C., Gobbi, B., de Waroux, Y. L. P., Piquer-Rodríguez, M., Butsic, V., & Lambin, E. F. 2018. Challenges in attributing avoided deforestation to policies and actors: Lessons from provincial forest zoning in the Argentine Dry Chaco. Ecological Economics, 150, 346-352.

Paruelo et al., 2011. Elementos conceptuales y metodológicos para la Evaluación de Impactos Ambientales Acumulativos (EIAAc) en bosques subtropicales. El caso del este de Salta, Argentina. Ecología Austral 21:163-178. Agosto 2011.Asociación Argentina de Ecología.

Piquer-Rodríguez, M., Torella, S., Gavier-Pizarro, G., Volante, J., Somma, D., Ginzburg, R., & Kuemmerle, T. 2015. Effects of past and future land conversions on forest connectivity in the Argentine Chaco. Landscape Ecology, 30(5), 817-833.

Piquer-Rodríguez, M., Butsic, V., Gärtner, P., Macchi, L., Baumann, M., Pizarro, G. G., & Kuemmerle, T. 2018. Drivers of agricultural land-use change in the Argentine Pampas and Chaco regions. Applied geography, 91, 111-122.

Roman, R. F. 1993. El deterioro de los suelos en la provincia de Salta. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Secretaria de Agricultura, Ganadería Y Pesca de la Nacion. Centro Regional Salta – Jujuy. Disponible en https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-el_deterioro_de_los_suelos_romanrafael.pdf

SNMF. 2020. Servicio Nacional de Manejo del Fuego. Incendios Forestales: ¿Qué es un Incendio Forestal? ¿Cómo se originan los incendios? Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable. Disponible en: https://www.argentina.gob.ar/ambiente/fuego/conocemas

Vallejos, M., Sans, G. C., Aguiar, S., Mastrángelo, M. E., & Paruelo, J. M. 2021. The law is spider's web: An assessment of illegal deforestation in the Argentine Dry Chaco ten years after the enactment of the “Forest Law”. Environmental Development, 38, 100611.

Volante, J. N., Benedetti, P., Paoli, H., Moreno, R., Fernadez D., 2004. Monitoreo de Cultivos en el NOA a partir de sensores remotos. Campaña agrícola 2004 - Caña de Azúcar. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Centro Regional NOA. EEA Salta.

Volante, J. N., & Seghezzo, L. (2018). Can't see the forest for the trees: can declining deforestation trends in the Argentinian Chaco Region be ascribed to efficient law enforcement? Ecological Economics, 146, 408-413.

Zapater Del Castillo, M. 1985. Esquema Fitogeográfico de la Provincia de Salta. Secretaría de Estado de Asuntos Agrarios. Dirección General Agropecuaria. Departamento de Suelo, Riego y Clima.