

# **EVALUACIÓN DE ÁREAS AFECTADAS POR INCENDIOS FORESTALES MEDIANTE EL USO DE IMÁGENES SATELITALES: PARQUE LIHUÉ CALEL (LA PAMPA)**

Cases Facundo; Pombo Daila

Instituto de Geografía, Facultad de Ciencias Humanas, Universidad Nacional de La Pampa

*facucases7@gmail.com - dailapombo@gmail.com*

## **RESUMEN**

Comprender la interacción entre los factores naturales y socio-económicos que determina el régimen de incendios resulta fundamental para poder realizar proyecciones y evaluaciones de impacto cada vez más acertadas. Para ello, es necesario contar con información histórica precisa, sistemática, homogénea y espacialmente explícita. Las bases de datos presentan serias limitaciones en este sentido, las Tecnologías de Información Geográfica (TIG) (Sistemas de Información Geográfica, teledetección, GPS, cartografía, entre otros), se han convertido en alternativas óptimas para generar mapas de incendios a diversas escalas espaciales y temporales.

Los incendios forestales son un tema recurrente durante los veranos en la región semiárida pampeana. Fines del año 2017, principio del 2018 se observó en la región que los fuegos intensos afectaron grandes superficies agrícolas ganaderas y áreas naturales, que en los últimos años parecía estar monitoreado y controlado.

La inexistencia de una cartografía suficientemente detallada y exhaustiva que incluya la localización espacial del área quemada, especies afectadas, intensidad del daño, entre otros; impide disponer de una valiosa información sobre el conjunto de factores relacionados con el problema de los incendios.

El objetivo del trabajo es desarrollar una metodología para la delimitación y cálculo de áreas afectadas por incendios en el Parque Nacional Lihué Calel, basadas en el análisis digital y visual de imágenes satelitales (previa y posterior al incendio) empleando un procesador de imágenes y la elaboración de cartografía temática. Se propone la aplicación de índices espectrales (de vegetación y de áreas quemadas) y la clasificación semi-automática de QGIS.

**PALABRAS CLAVE:** Tecnologías de la Información Geográfica (TIG), análisis espacial, incendios forestales.

## 1. INTRODUCCIÓN

Junto al interés ambiental del fenómeno de los incendios forestales, parece lógico que la Geografía se ocupe de su estudio si se considera el marcado carácter geográfico de algunos factores de riesgo y algunas de las consecuencias de los incendios. El tipo y estado de la cubierta vegetal, las condiciones climáticas generales y la topografía del terreno determinan la frecuencia e intensidad de los incendios. La actividad humana, constituye, igualmente, un importante factor de riesgo (Vélez, 1991). La sociedad es responsable, directa o indirectamente, del inicio de la mayor parte de los incendios que se producen en el país y en la provincia.

El estudio del riesgo y de las consecuencias de los incendios forestales requiere, en la mayoría de los casos, un análisis integrado del territorio, pues un incendio forestal no se genera por la acción de un factor aislado, sino que se deriva de la acción conjunta de un grupo de factores, entre los cuales, la vegetación, tipos climáticos, topografía y actividad humana resultan especialmente significativos (Chuvienco et al., 1998: 12).

La acción de la sociedad, en el caso de la provincia de La Pampa, a través del parcelamiento de áreas naturales y de la introducción de ganado doméstico ha tenido un fuerte impacto en la dinámica de las comunidades vegetales influenciando así la frecuencia de fuegos naturales. Trabajos recientes, señalan que la recurrencia de los fuegos en el bosque de caldén pasó de ser de 15 años (1787-1879) a 7 años en promedio (1911-1993), y posiblemente su frecuencia aumentó en las últimas décadas. Por eso es necesario contar con información precisa de cada evento, si bien los organismos públicos llevan estadísticas oficiales, y en muchos casos los incendios no se referencian geográficamente, ignorándose su exacta dimensión.

Hoy en día la teledetección se plantea como una alternativa confiable para cartografiar y evaluar áreas quemadas, ya que permite una observación sistemática de toda la superficie y ofrece información espectral sensible a la discriminación de la señal quemada (Heredia Lacastra et al., 2003), permitiendo además el análisis multiespectral del sector afectado.

En el área de estudio se han realizado pocos trabajos en la temática, los cuales son de gran importancia debido a que en el Parque Nacional Lihú Calel (región centro sur de la provincia de La Pampa), se han registrado incendios de diferente magnitud. En la reserva se desarrolla una actividad turística que se concentra en el periodo estival,

cuando se registran las mayores temperaturas y los vientos, altamente deshidratantes, aumentan en frecuencia e intensidad, en consecuencia, es la época de mayor ocurrencia de incendios.

Por otro lado, la importancia del área de estudio radica en la gran diversidad vegetal y en la elevada concentración de especies endémicas, por lo que el Parque es de suma importancia.

El objetivo del trabajo es analizar los cambios en el uso del suelo del Parque Lihué Calel, provocados por los incendios forestales que se desarrollaron en la provincia de La Pampa en el verano 2017-2018. Para esto, se realizará un análisis digital de imágenes Landsat 8 OLI de la zona de estudio con la aplicación Clasificación Semiautomática Plugin (SCP) del software QGIS. Para poder estudiar estos cambios se llevará a cabo una metodología para la delimitación y cálculo de áreas afectadas por incendios. Primero se caracteriza el área de estudio, luego se definen los materiales y la metodología a utilizar basados en el análisis digital y visual de imágenes satelitales utilizando un procesador de imágenes y la elaboración de cartografía temática a través de un Sistema de Información Geográfica. Se propone, la utilización de una imagen posterior al incendio sobre la que se aplicó clasificación semi-supervisada para evaluar la vegetación afectada.

No se debe dejar de lado la evaluación del estado actual de las áreas protegidas considerando la evolución del territorio a través del tiempo. De esta forma, la historia ambiental permite identificar las modificaciones resultantes de la interacción sociedad/naturaleza posibilitando abordar la complejidad de las problemáticas. Por ello, el siguiente trabajo tiene como objetivo analizar temporalmente la actual configuración espacial del área protegida de la provincia de La Pampa.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

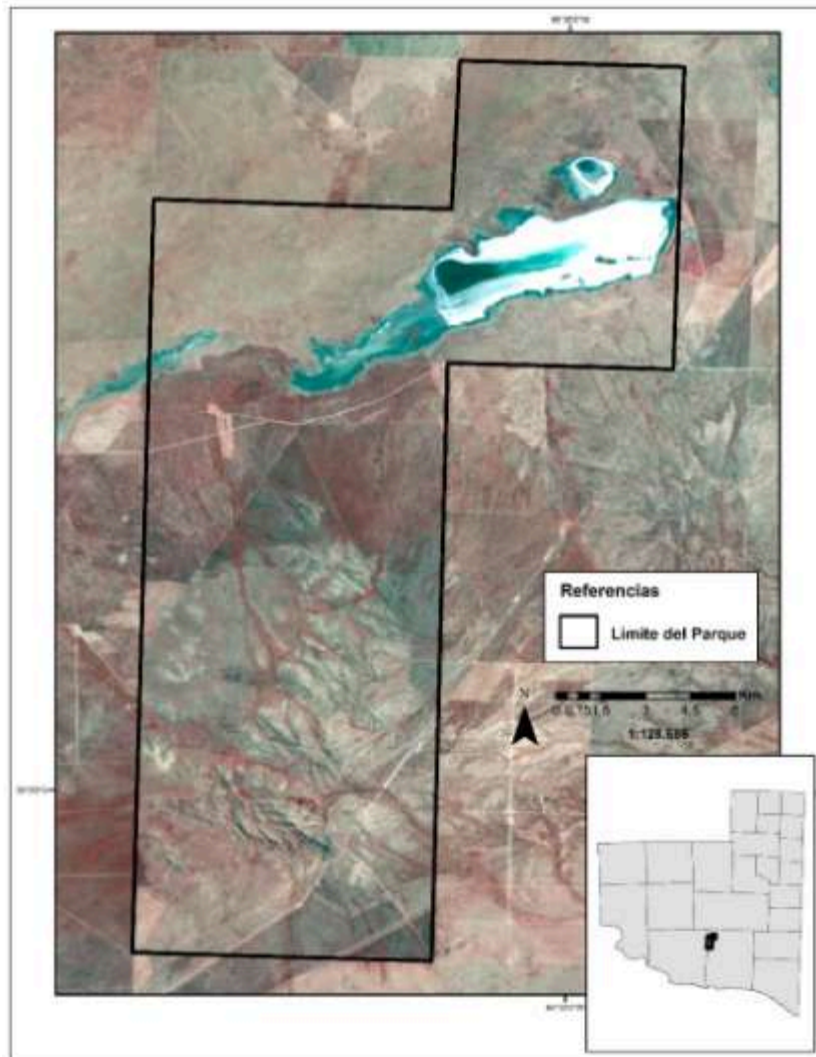
### 2.1. Características generales del área de estudio

La Pampa posee doce áreas protegidas que ocupan una superficie que representa el 0,75% de la provincia. Las mismas se dividen en tres categorías según su manejo, jurisdicción y escala: parque nacional, reservas provinciales y reserva municipal. El único Parque Nacional se ubica en el centro sur de la provincia y se denomina Lihué Calel haciendo referencia a las sierras homónimas. Se creó con la finalidad de conservar el paisaje de serranías, así como su vegetación y elementos culturales. Está gestionado

por la Administración de Parques Nacionales (APN). Según Cabrera (1976) el área pertenece a la provincia fitogeográfica del Monte. Posee un clima cálido y seco con gran oscilación térmica entre estaciones y las precipitaciones son variables disminuyendo hacia el oeste de 400 a 80mm. El monte se caracteriza por la dominancia de arbustos y presenta un estrato herbáceo conformado por gramíneas perennes (Villagra et al., 2011). El jarillal es la formación clímax de esta zona acompañada por cactáceas y otras especies halófilas propias de los suelos salinos. También existen otros dos paisajes dominantes que son el serrano y el salitral (Subsecretaría de Ecología, Gobierno de La Pampa, 2004).

La superficie inicial del Parque Nacional era de 9.905 ha. En el año 1996, se realizaron convenios entre la provincia y nación en la cual la primera le concede a la segunda la jurisdicción del Parque Nacional. También tuvo como finalidad ampliar los límites y de esta forma mejorar el diseño original del área y asegurar la preservación de la fauna y la flora autóctona. En el año 2003 se aprobó la Ley 25.755 en la cual se incorporaron 22.395 ha sumando un total de 32.300 ha. La misma incluyó la ex reserva provincial Salitral Lavalle, lotes bajo dominio de la provincia y bajo dominio privado. La Reserva Provincial Salitral Lavalle abarcaba tres predios con una superficie de 9.400 ha. En el interior del Parque Nacional se encuentran otras dos áreas con categorías de manejo diferente: la Reserva Natural Estricta y la Reserva Nacional. La primera se creó en el año 1994 tras el Decreto 453/94 (1994) y la segunda se creó en el año 2003 con la ampliación del parque sobre las tierras del Salitral Lavalle. El mismo se localiza en el Noroeste del departamento de Lihúé Calel y se caracteriza por presencia de lagunas y salitrales temporarios (Figura 1).

*Figura 1. Localización del Límite del Parque Nacional Lihue Calel*

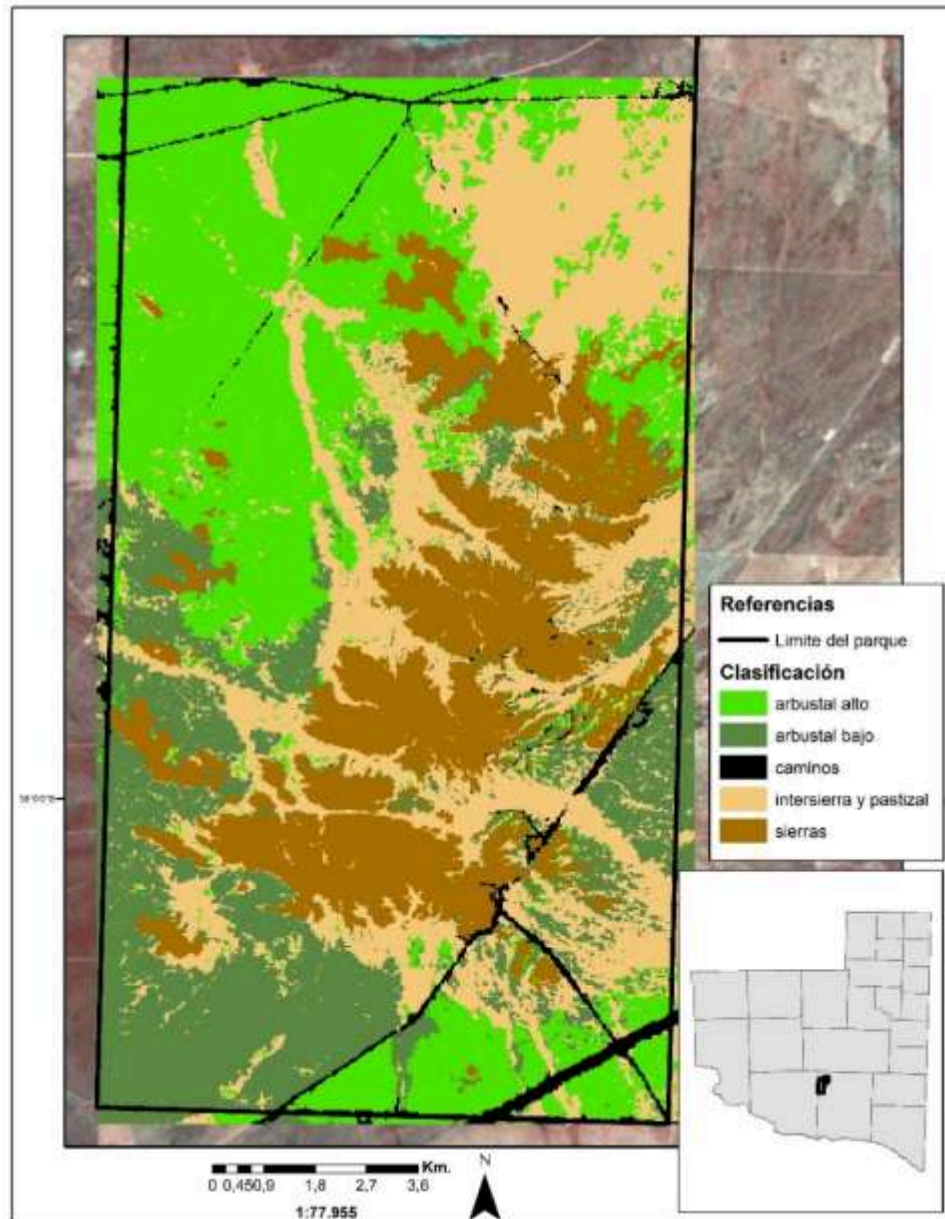


Fuente: Elaborado por Ma. Celeste Martínez Uncal. Atlas Geográfico y Satelital de la provincia de La Pampa, 2016. Instituto de Geografía. FCH-UNLPam. En Pombo, D. y Martínez Uncal (2017: 189), a partir de datos extraídos del Sistema de Información de Biodiversidad [https://www.sib.gov.ar/area/APN\\*LC\\*Lihue%20Calel](https://www.sib.gov.ar/area/APN*LC*Lihue%20Calel)

Se pueden diferenciar distintos ambientes en el Parque Nacional (Figura 2). En el sector de sierras se observan formas cónicas rodeadas de piedemontes planos y escalonados, cuyas pendientes van decreciendo de Sur a Sureste. Hacia el Norte se encuentran lomas alargadas intercaladas por depresiones bien marcadas y al Oeste, estas geformas terminan con la aparición de diferentes salitrales.



Figura 2. Diferenciación de los Ambientes del Parque Nacional Lihue Calel.



Fuente: Elaborado por Ma. Celeste Martínez Uncal. Atlas Geográfico y Satelital de la provincia de La Pampa, 2016. Instituto de Geografía. FCH-UNLPam. En Pombo, D. y Martínez Uncal (2017: 193).

El microambiente que se forma en las sierras de Lihue Calel, debido a la acumulación del agua, fue aprovechado por el hombre desde épocas prehistóricas y fue muy importante para el desarrollo de la variada flora y fauna. Al pie de las sierras, donde el suelo es más húmedo, crece el bosque de caldén (*Prosopis caldenia*) y la sombra de toro (*Jodina rhombifolia*), mientras que la comunidad vegetal dominante es el jarillal, de jarrilla crespá (*Larrea nítida*), jarrilla hembra (*Larrea divaricata*) y jarrilla macho (*Larrea cuneifolia*). También crecen en el parque, el chañar (*Geoffroea decorticans*), el alpataco (*Prosopis alpataco*), el molle (*Schinus fasciculatus*) y el

incienso (*Schinus sp.*). En las sierras existen dos especies endémicas, la margarita amarilla (*Gaillardia cabreræ*), y una pequeña leguminosa (*Adesmia lihuelensis*) que se desarrollan entre los huecos de las rocas. Hay varios helechos, que se encuentran en las fisuras húmedas, claveles del aire, varias cactáceas como el cardón y la puelchana o traicionera (*Cylindropuntia tunicata*), también conocida como opuntia puelchiana, líquenes sobre las paredes rocosas que forman figuras circulares amarillas, anaranjadas y negruzcas (Chebez, 2006).

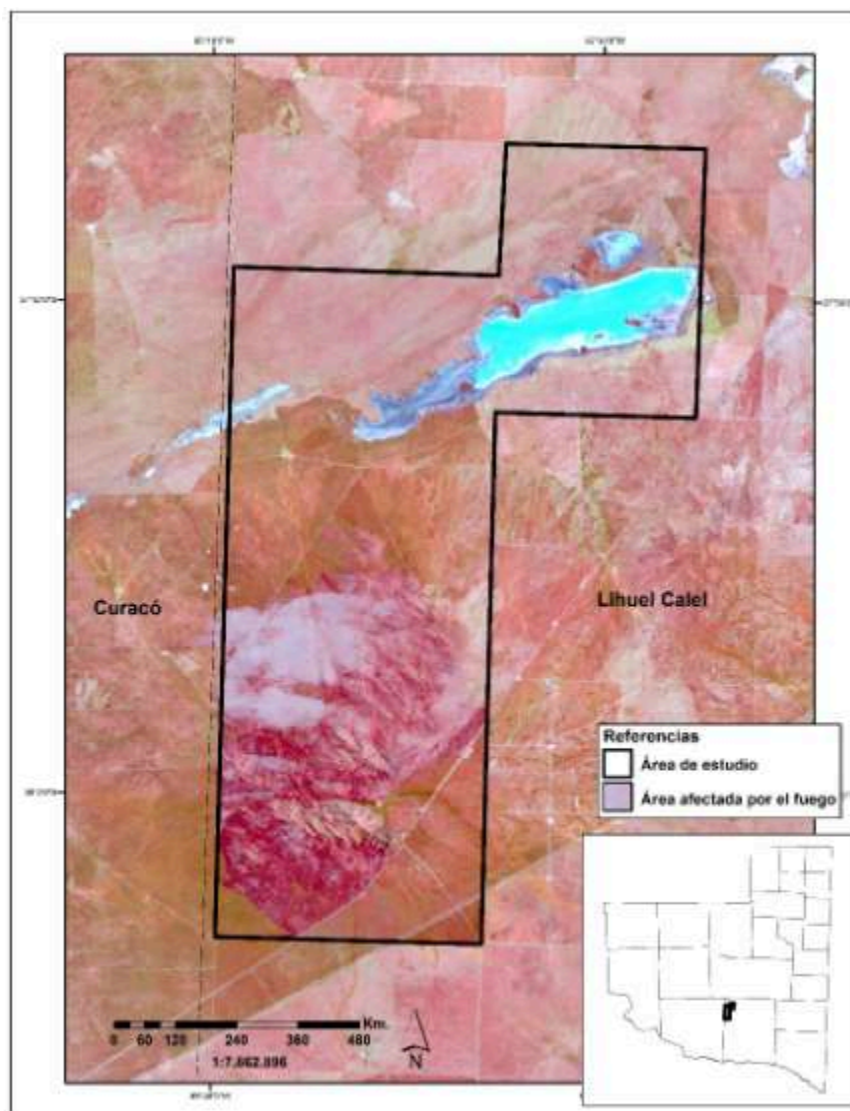
Hasta el último incendio (enero 2018) no se han generado modificaciones importantes en el paisaje del espacio protegido exceptuando los incendios programados para la conservación de la vegetación del monte. Al respecto, en el año 2003, se realizaron quemas prescriptas en la zona y, por causas antropogénicas, el fuego se expandió afectando el Norte y Sur del área. Dicho evento sucedió dos veces en un lapso de 60 días afectando en primer lugar a poco más de 7.000 ha y aproximadamente 600 ha en el segundo incendio durante el mes de diciembre (Figura N° 3). La vegetación más afectada fue la del espinal que junto con la flora del monte se encuentran adaptadas al fuego. Mermoz et al. (2004) analizaron los efectos de los incendios en el área del parque y como conclusión lograron establecer que en general “no habrá efectos negativos de magnitud en los sitios con quema leve o media, donde en el corto plazo la vegetación alcanzará una buena cobertura” (Mermoz et al., 2004: 16). Los resultados negativos se observan en la mortandad de ejemplares de sombra de toro y caldén que aún hoy no han logrado recuperarse o rebrotar.

### 3. RIESGO Y PELIGROSIDAD DE LOS INCENDIOS FORESTALES: PARQUE NACIONAL LIHUE CALEL

Los incendios cobran importancia frente a las consecuencias socioproductivas y económicas que provocan. El fuego ha sido un factor ecológico frecuente en la región del bosque de caldén que ha tenido una influencia muy importante en la evolución de las especies, en la dinámica de la vegetación y en la modelación de los paisajes (Bóo, 1990; Bóo y otros, 1997; Martínez Carretero, 1995; Llorens y Frank, 1999).

Originalmente, los fuegos en el caldenal eran provocados, en su mayoría, por descargas eléctricas durante las tormentas estivales cuando disminuía el contenido de humedad de las especies autóctonas y aumentaba la acumulación de material combustible (Medina y otros, 2000).

Figura 3: Área del Parque Nacional Lihué Calel afectada por los incendios, 2003.

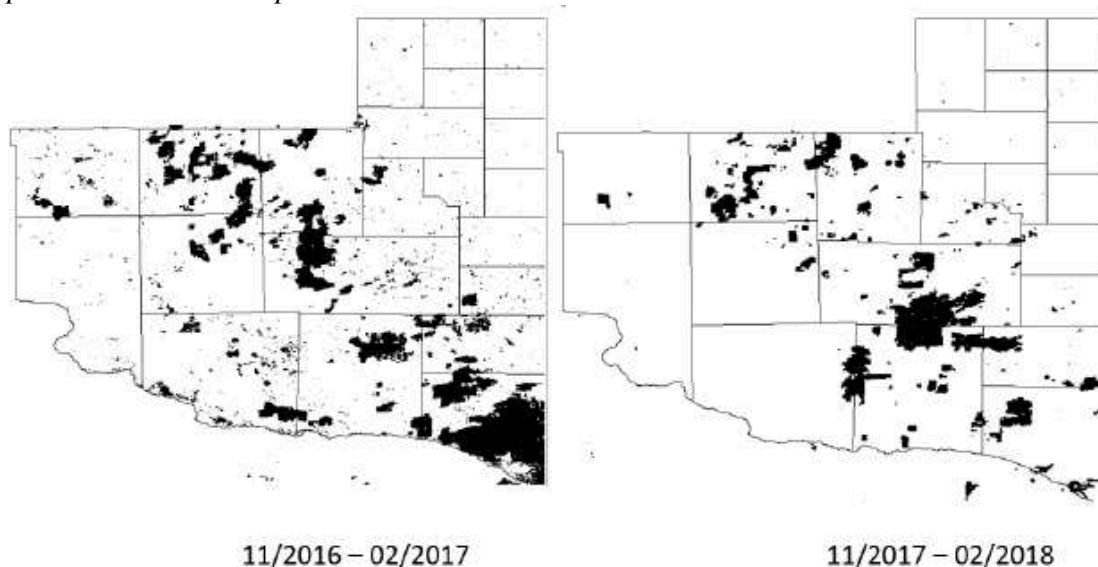


Fuente: Elaborado por Ma. Celeste Martínez Uncal. Atlas Geográfico y Satelital de la provincia de La Pampa, 2016. Instituto de Geografía. FCH-UNLPam, a partir de datos suministrados por *U.S. Geological Survey*.

A pesar de los severos incendios ocurridos entre noviembre 2016 y febrero 2018 (Figura 4), aún persiste un remanente de 2.4 millones de hectáreas de alto riesgo para la ocurrencia de incendios durante la próxima temporada de fuegos. Esto se debe a la presencia de una importante región no incendiada en más de 10 años, sumado a un proceso de acumulación de forraje durante el último ciclo productivo y a la presencia de áreas arbustizadas de manera generalizada en la región del Espinal (Vázquez, 2018: 1).



Figura 4: Áreas incendiadas durante las dos últimas temporadas de incendios en la provincia de La Pampa



Fuente: Pablo Vázquez, INTA-Anguil (2018: 1).

Sin embargo, este régimen, así como su alcance espacial e intensidad, han sufrido modificaciones a partir de los cambios socioeconómicos que se dieron en la región a fines del siglo XIX (Lerner, 2004). La sustitución de forrajeras bajas por pajas, con el consecuente aumento de combustible fino y senescente, sumado a la arbustización por tala indiscriminada del bosque, ocasionó un aumento en la recurrencia de los fuegos los que modificaron su estacionalidad y afectaron severamente la vegetación natural y los ejemplares prístinos de caldén (*Prosopis caldenia*).

En general, las superficies afectadas por el fuego en La Pampa son muy importantes, registrándose un promedio de 300.000ha por año en los últimos 5 años<sup>1</sup>. El daño causado por los incendios se refleja en las estadísticas oficiales que indican que entre 1976 y 2001 se quemaron, en La Pampa, 11.289.363ha, 6.476.653m de alambrados y provocaron la muerte de más de 40.000 cabezas de ganado (Lell, 2004). El mencionado autor consigna que, según datos de la Dirección de Bosques de la provincia de La Pampa, que el 40% de los bosques remanentes de caldén están afectados por incendios (Diharce, Herlein y Dillon, 2018: 5-6).

<sup>1</sup> En 1990, se han calculado valores similares (285.000ha/año) con una frecuencia de ocurrencia de 10 años (Lell, 1990). Esta frecuencia pudo haber descendido gracias a la protección dada por la construcción de anchas picadas cortafuegos construidas con el fin de evitar la propagación de incendios y favorecer su control.

Algunas investigaciones (Dillon, 2017) dan cuenta que si bien las causas inmediatas que originan los incendios pueden ser muy variadas en su mayoría (más del 50%) son causados por hechos humanos<sup>2</sup>. Entre las más preocupantes se encuentran las irresponsabilidades privadas y públicas como la falta de mantenimiento y control de las picadas contra incendio<sup>3</sup> y el mal estado de desmalezamiento de banquetas en rutas y caminos vecinales, la falta de planificación en el control y manejo del fuego, entre otras. Por su parte, las causas "naturales" provocadas por tormentas eléctricas (caídas de rayos) son proporcionales, como se ha expresado, al grado de combustión que presenta la masa vegetal<sup>4</sup>.

De acuerdo con Beck (1992) y Giddens (1993), entre otros teóricos sociales, la noción de riesgo se relaciona con la probabilidad de resultados imprevistos o de consecuencias perjudiciales no buscadas, que se derivan de decisiones, omisiones o acciones de los actores sociales. Esta idea sustituye a aquellas asociadas con situaciones imprevistas surgidas como resultado de un acto divino, fortuna o fatalidad (Giddens, 1993).

Es importante para poder alcanzar una correcta planificación y ordenamiento del territorio el conocimiento sobre la cobertura vegetal, las temperaturas, precipitaciones, tormentas, la presencia y estado de las picadas en las zonas potencialmente incendiables. El INTA, utiliza imágenes satelitales integradas a Sistemas de

---

<sup>2</sup> De ese total, el 60% de los incendios son causados por motivos antrópicos e intencionales (la piromanía, los usos cinegéticos, el vandalismo en general); un 30% ocurre a causa de negligencias o accidentes como pérdidas del control de fuego por quemas agrícolas. Otra de las causas habituales son las colillas encendidas que se arrojan desde una ruta/camino, las hogueras mal apagadas, la quema de basurales, entre otros. Asimismo, las chispas mecánicas, que se producen por fricción de materiales ferrosos, pueden transportar suficiente calor para iniciar un incendio. Las latas tiradas en los campos, los vidrios, etc. pueden también provocarlos (Dillon, 2017).

<sup>3</sup> Las picadas cortafuego son franjas libres de vegetación que impiden la propagación horizontal del fuego y al mismo tiempo permiten a los brigadistas llegar al lugar del incendio con mayor rapidez y realizar tareas de contrafuego con mayor seguridad. En la provincia de La Pampa la Ley 1354 establece que las picadas deberán ser abiertas y/o conservadas por el propietario, arrendatario, aparcerero, usufructuario y/u ocupante y se presume, salvo prueba en contrario la responsabilidad civil de las personas mencionadas que omitan abrir y/o conservar picadas, respecto de las consecuencias dañosas de incendios que afecten sus predios (Ley 1354/1991).

<sup>4</sup> En ambientes como los de La Pampa la frecuencia de la intencionalidad de los incendios varía en función de la existencia de importantes masas de vegetación en concurrencia con periodos más o menos prolongados de sequía. En ambientes semiáridos las plantas deshidratadas se van secando y provocan la emisión de etileno, un compuesto químico presente en la vegetación y altamente combustible. De esta manera, tanto las plantas como el aire que las rodea se vuelven fácilmente inflamable y el riesgo de incendio aumenta. Si a estas condiciones se suma la existencia de períodos de altas temperaturas y vientos fuertes o moderados, la posibilidad de que una simple chispa provoque un incendio se vuelven significativa ([https://prevenciondesastres.wordpress.com/causas-fases-y-t...](https://prevenciondesastres.wordpress.com/causas-fases-y-t.../)).

Información Geográfica con las cuales se calcula y anticipa las zonas en riesgo de incendio.

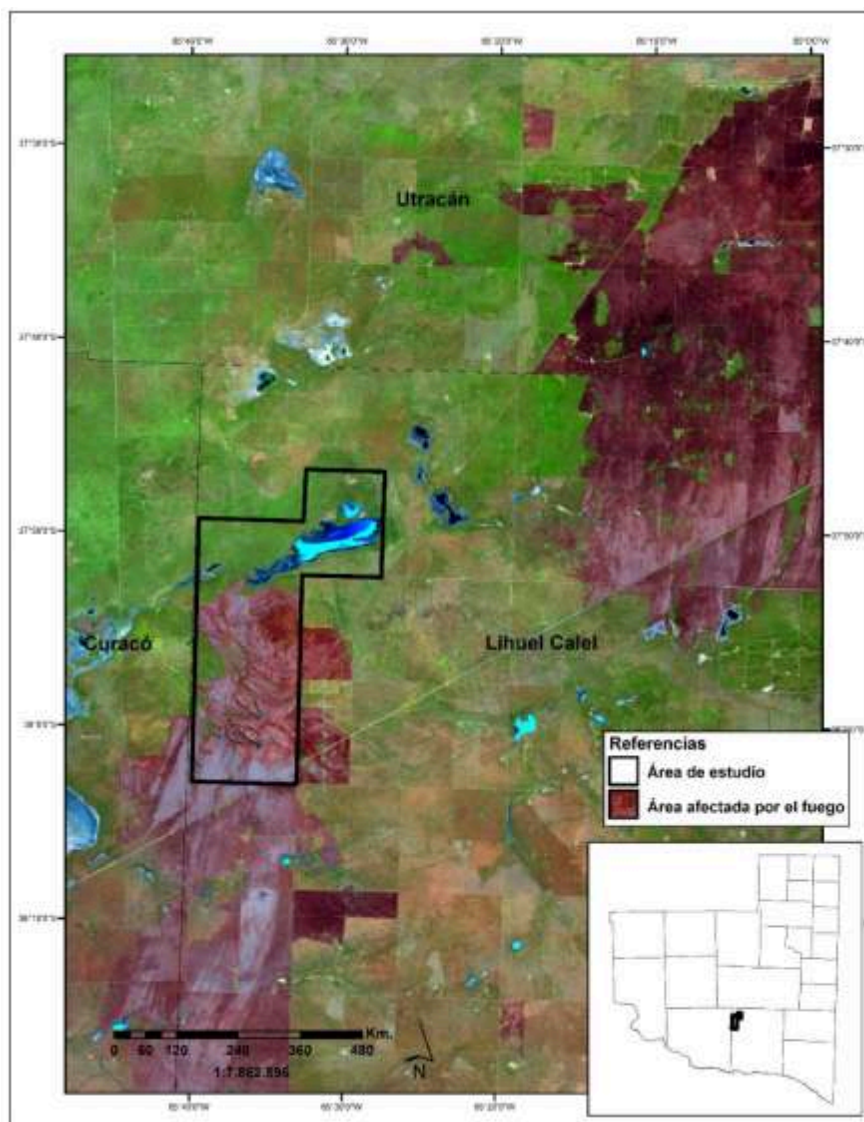
Parte de la información se genera con los satélites MODIS AQUA – TERRA (1km<sup>2</sup> de resolución). Mediante la combinación de la información de diferentes bandas permiten detectar focos de calor o de altas temperaturas que implican una posibilidad de incendio y obtener la posición geográfica, la intensidad, la hora de detección, el país, la provincia, la división departamental, si pertenece a un área natural protegida y la cobertura vegetal. Esta información se genera de forma automática y es posible enviar un mensaje de texto alertando de estos focos de calor, por ejemplo, a Defensa Civil, para que realice su inspección (Fuentes y Bellini Saibene, 2017: 1-2).

En el periodo 2017-2018, los incendios se produjeron en los departamentos Caleu, Chicalcó, Utracán, Chalileo, Curacó, Guatraché, Hucal, Chalileo y Lihuel Calel cubriendo extensas superficies. Según los informes emitidos por el INTA (Vázquez, 2018), desde el 24/11/2017 hasta el 30/01/2018 se identificaron 7.725 focos de calor mediante sensores, que afectaron un total de 608.263 ha afectadas. Uno de los focos afectó 18.000 ha aproximadamente, del Parque Nacional Lihué Calel (Figura 5), siendo así el incendio más grande ocurrido al NE del departamento Lihuel Calel y el NO de Hucal. Entre el 27 y 28 de diciembre de 2017 arrasó con 98.000 ha y cobró dos víctimas fatales en las inmediaciones de la localidad de Bernasconi (Vázquez, 2018).

El clima, pero también la falta de coordinación entre la Nación y La Pampa permitieron que las llamas quemaran gran parte del Parque Nacional Lihué Calel.

El incendio destruyó casi 20.000 hectáreas y desde el gobierno pampeano cuestionaron la poca voluntad de cooperación del Ejecutivo nacional, ya que Defensa Civil provincial no pudo entrar al Parque Nacional para ayudar a apagar el fuego, que fue sofocado en las últimas horas. Las llamas que arrasan con el Parque Nacional Lihué Calel intentan ser sofocadas por brigadistas que responden a Parques Nacionales y han sido reclutados de diversos puntos del país, autoridades nacionales impiden el paso de bomberos pampeanos, quienes junto a voluntarios de esta provincia estaban esperando a ser convocados para no permitir lo que hoy es un hecho: la destrucción del Parque. Es clara la falta de coordinación que proviene desde Nación, quien mantiene una disputa política con La Pampa (El Federal, 18 de marzo de 2018).

Figura 5. Área del Parque Nacional Lihué Calel y zonas aledañas afectadas por los incendios, 2018.



Fuente: Elaborado por Ma. Celeste Martínez Uncal y Daila Pombo. IDE de la provincia de La Pampa, 2018. Instituto de Geografía. FCH-UNLPam, a partir de datos suministrados por U.S. Geological Survey.

El incendio en el Parque Nacional se inició en la mañana del sábado 06 de enero en la zona Oeste afectando unas 18.500 ha según lo que informó la Administración de Parques Nacionales. *“El fuego se habría ocasionado por una chispa que saltó cuando una motoniveladora realizaba picada cortafuego en el Parque”* (Plan b, 06 de enero de 2018).

Los incendios que siguieron activos varios días debido a que las condiciones meteorológicas eran extremas, con altas temperaturas y viento Norte a 40km/h aproximadamente, fueron combatidos por el personal del área protegida y la Dirección de Lucha Contra Incendios Forestales y Emergencias, así como agentes de los Parques

Nacionales Nahuel Huapi, Lanín, Lago Puelo y Laguna Blanca, Defensa Civil local y bomberos voluntarios de General Acha.

### 3.1. Metodología

Para el desarrollo de la metodología se analizó el área afectada por el incendio producido en el verano 2017-2018. Por tal motivo, se seleccionó un sector de la imagen Landsat 8 OLI, path-row 229/086 (provista por USGS) de noviembre de 2017 (fecha disponible previa, más próxima, al inicio del incendio) y un sector de la imagen de febrero de 2018 (imagen disponible más próxima al día del incendio sin cobertura de nubes).

Antes de trabajar el área quemada se realizó la corrección geométrica, proceso por el cual se le asignan coordenadas a la imagen, para importar la cartografía a un SIG y calcular el área quemada. La corrección se realizó a través del establecimiento de puntos de control, tomados a través de un GPS en el campo.

Para la delimitación del área quemada se aplicaron dos índices espectrales, uno de vegetación y otro de áreas quemadas, y una clasificación semi-automática denominada Clasificación Semiautomática Plugin (SCP) del software QGIS.

El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (Figura 6 y 7) (en inglés, NDVI)<sup>5</sup> es una transformación que se realiza para caracterizar las cubiertas vegetales, reforzando la contribución espectral (Pinilla, 1995). Varía entre -1 y 1, cuanto mayor sea el resultado, mayor vigor presenta la vegetación, característica que se traduce en la imagen con colores que van desde los rojos a amarillos y verdes, en contraste con aquellos sectores en los que existe escasa presencia o ausencia total de vegetación, donde los colores van desde los azules a negro.

La clasificación digital implica convertir la imagen multibanda en otra imagen donde los ND de cada píxel no se definen por la radiancia sino por la categoría que le fue asignada. La clasificación supervisada se basa en el conocimiento de la zona de estudio, producto de los trabajos de campo realizados, este nivel de referencia permite delimitar sobre la imagen áreas representativas de cada una de las coberturas existentes (definición digital de categorías o fase de entrenamiento), las que se convertirán en las categorías que componen la leyenda a través del agrupamiento de los píxeles de la imagen en cada una de las categorías (fase de asignación) (Chuvienco Salinero, 2008).

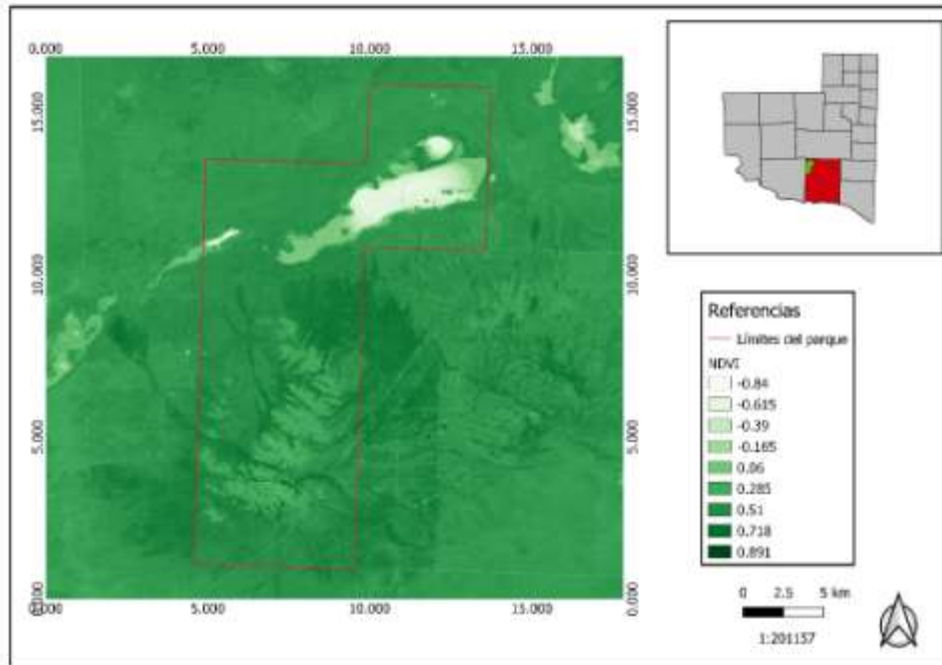
---

<sup>5</sup>  $NDVI = \frac{IRC - R}{IRC + R}$



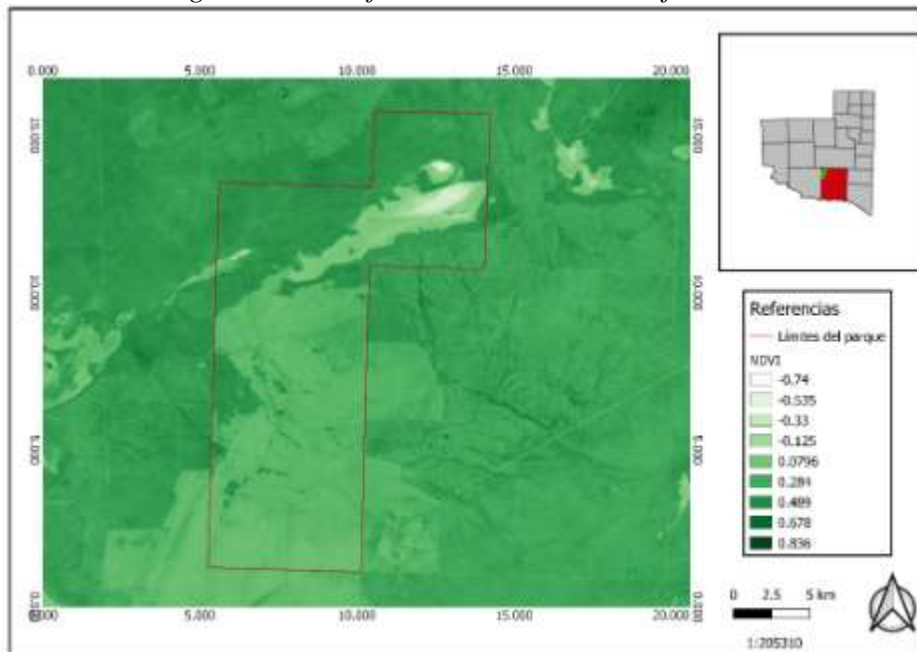
En este caso, las categorías fueron: área quemada (gravedad baja, moderada a baja y gravedad alta), sierra, intersierra y pastizal, caminos, arbustal bajo y arbustal alto y el método utilizado fue el de paralelepípedo.

Figura 6. Índice de Vegetación de diferencia Normalizada, noviembre 2017.



Fuente: Elaborado por Facundo Cases. IDE de la provincia de La Pampa, 2019. Instituto de Geografía. FCH-UNLPam.

Figura 7. Índice de Vegetación de diferencia Normalizada, febrero 2018.



Fuente: Elaborado por Facundo Cases. IDE de la provincia de La Pampa, 2019. Instituto de Geografía. FCH-UNLPam.

A partir de la clasificación y de la imagen satelital, se analizó el comportamiento espectral de la categoría correspondiente al área quemada, a fin de comprobar que los sectores delimitados pertenezcan a áreas afectadas por el fuego.

Las clases correspondientes al área quemada fueron vectorizadas para la extracción de los polígonos, los que fueron importados en el SIG ArcGis 10.3 para el cálculo de su superficie (has), y la elaboración de cartografía temática que incluye la delimitación de las áreas.

#### 4. RESULTADOS

Como resultado de la aplicación del NDVI, para la detección de áreas quemadas, en el área del Parque (después del incendio), se obtuvieron valores mínimos y máximos de -0.74 y 0.07, respectivamente. Ello indicó vegetación con escaso vigor y en recuperación, evidenciando distintos grados de severidad o daño. Además, se pueden observar algunas islas de vegetación que no fueron afectadas por el fuego.

No fue posible delimitar el área quemada, la imagen analizada corresponde a 45 días posteriores al inicio del incendio, por lo que la vegetación ha comenzado a recuperarse. Los valores medios y máximos registrados (0,07 y 0.28 respectivamente) son los que dificultan el trazado del área, debido a que se confunden con el pastizal que crece en las sierras, cuyos valores oscilan entre 0,22 y 0,56 (Figura 7). En definitiva, este índice presenta confusión entre la señal quemada y otras cubiertas; demostrando que esta técnica no representa un buen discriminador del área quemada en imágenes posteriores al incendio.

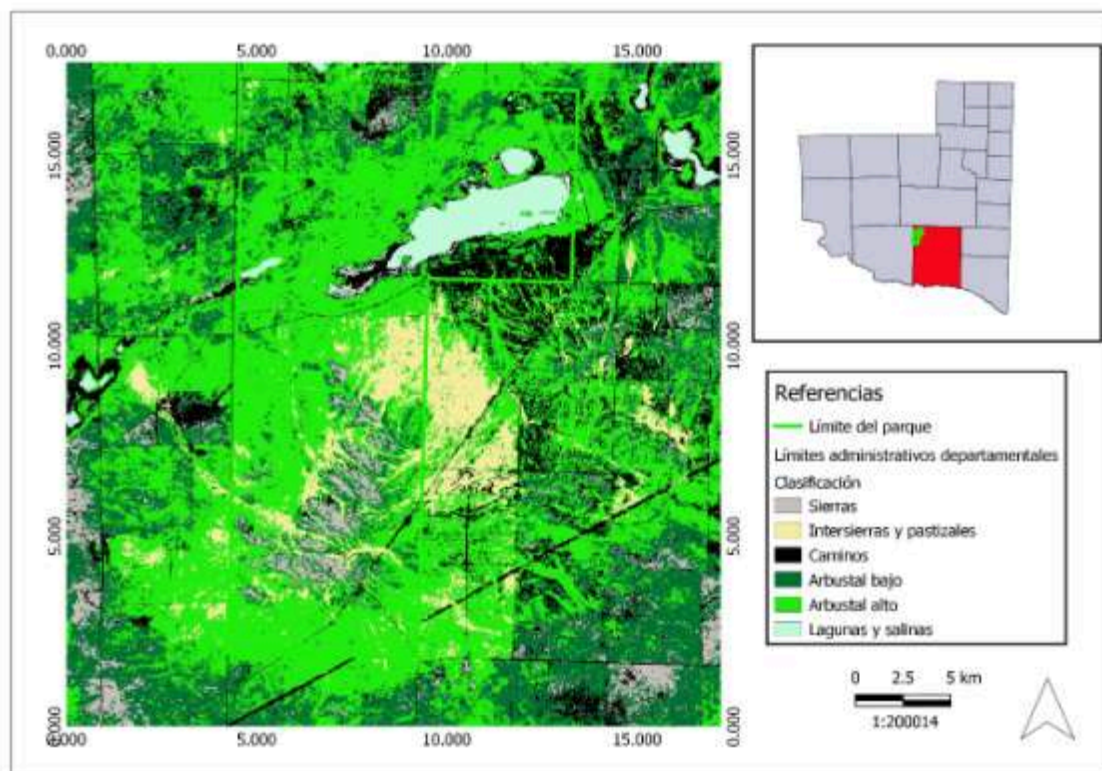
Martín y Chuvieco (2001) expresaron, en su trabajo, los problemas de aplicabilidad de este índice en áreas de escasa vegetación, donde el suelo al descubierto altera notablemente la información que proporciona la cubierta vegetal presente, sin embargo, esta aplicación se justifica por su capacidad para discriminar zonas con vegetación de otras cubiertas, así como su utilidad para atenuar la influencia de factores externos.

El área delimitada por la clasificación semi-automática (Figura 8 y 9) de la imagen satelital Landsat 8 OLI, se observan zonas de vegetación no afectadas por el fuego. Sin embargo, se debe tener en cuenta que, los sectores serranos de escasa vegetación fueron clasificados como áreas quemadas, lo que dificulta la demarcación del área total, sobreestimando la superficie afectada por el fuego.

Por otro lado, los sectores correspondientes a arbustal se clasificaron como arbustal bajo y arbustal alto, siendo los que presentaron mejores resultados.

Al observarse los valores medios de reflectancia del área quemada para cada banda, se destaca (en la vegetación) en las bandas correspondientes al sector visible del espectro electromagnético (bandas 2, 3, y 4), una pendiente descendente. En el infrarrojo cercano (banda 5) la reflectividad es baja debido principalmente a la destrucción de la estructura interna de la hoja y a la disminución de la actividad clorofílica. En el infrarrojo medio (banda 6 y 7) los valores fueron elevados por la escasez de agua en la estructura de la planta, producto de la relación negativa entre el contenido de humedad y reflectividad en este sector del espectro electromagnético (Chuvienco, 2008).

*Figura 8. Clasificación semi-automática de los Ambientes del Parque Nacional Lihué Calel, noviembre 2017.*



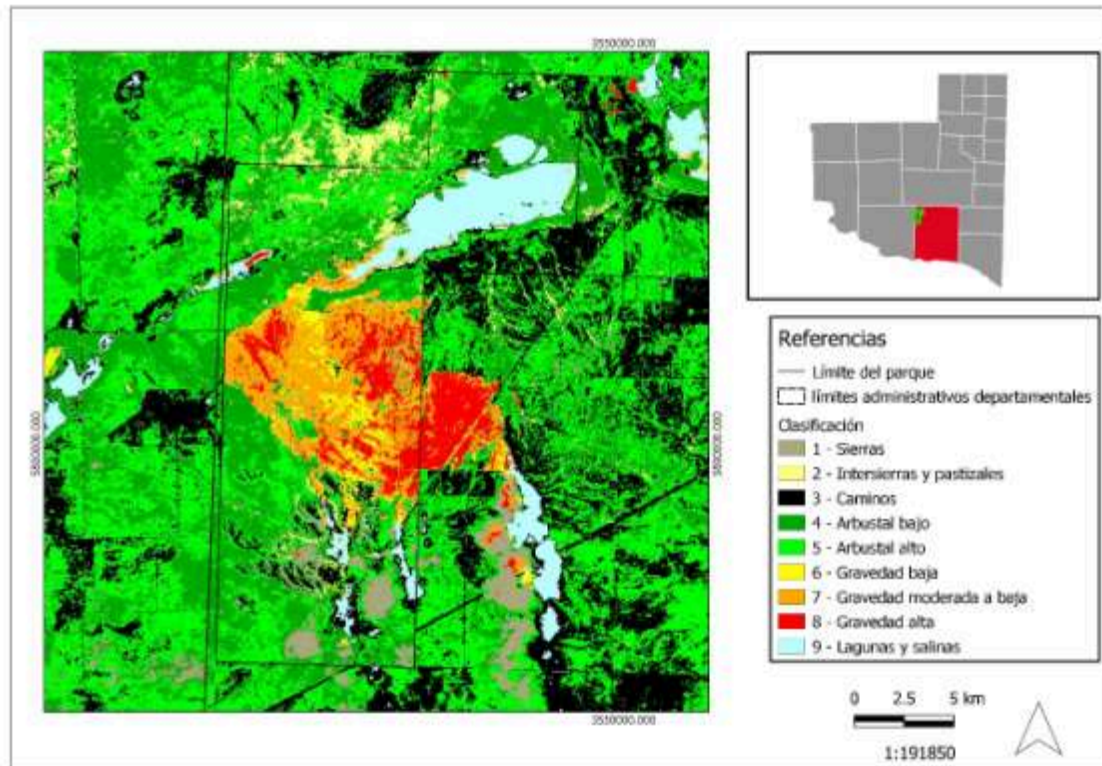
Fuente: Elaborado por Daila Pombo. IDE de la provincia de La Pampa, 2019. Instituto de Geografía. FCH-UNLPam.

Con respecto a la clasificación, se observaron errores de omisión, es decir, que se reconocieron pixeles quemados cuando no fueron afectados por el fuego, situación que se dio no solo dentro del área de interés sino en toda la imagen Como se mencionó

anteriormente, los sectores de escasa vegetación fueron clasificados como áreas quemadas.

La clasificación semi-automática delimitó y calculó el área quemada en 7734,51 ha., afectando un 24.7% del área total del Parque Nacional Lihué Calel.

*Figura 9. Clasificación semi-automática de los Ambientes del Parque Nacional Lihué Calel, febrero 2018.*



Fuente: Elaborado por Daila Pombo. IDE de la provincia de La Pampa, 2019. Instituto de Geografía. FCH-UNLPam.

## 5. CONCLUSIONES

Para el manejo integral de los Parques hay que generar conocimiento sobre las condiciones del ambiente en diferentes periodos y sobre el régimen de disturbios que lo afectan, resultando así de gran utilidad para obtener patrones de referencia que puedan aportar información para el desarrollo y el planeamiento de usos sustentables de los ecosistemas.

Como resultado de la aplicación de la metodología propuesta, se puede concluir que, para analizar áreas quemadas, en un sector serrano de clima templado con vegetación de pastizal, a escala media, es apropiada la utilización de imágenes satelitales Landsat 8



OLI, debido a su resolución temporal (16 días), espacial (30 metros) y radiométrica (bandas en el visible, infrarrojo cercano y medio).

Al comparar los resultados del NDVI y de la clasificación supervisada, se observa que el método que resulta más conveniente para cartografiar áreas quemadas es la aplicación de la clasificación, permitiendo una discriminación entre quemado y no quemado, mientras que el NDVI presentan diversas confusiones con otras coberturas, sobreestimando la superficie quemada total.

La dificultad que presentó el NDVI se debe a la distancia entre la fecha de la imagen y la del incendio. Pasados 45 días el pastizal ha comenzado a recuperarse, debido a que las gramíneas poseen respuestas morfológicas y funcionales específicas (alta capacidad de rebrote) que les permiten rebrotar fácilmente transcurrido el incendio; de esta manera la señal de la vegetación fue influenciada por la presencia del pastizal de las sierras. Además, las áreas quemadas presentan diversos grados de intensidad, lo que dificulta establecer fronteras nítidas entre lo afectado y no afectado por el fuego.

Con respecto a la clasificación, se observaron errores de omisión, es decir, que se reconocieron píxeles quemados cuando no fueron afectados por el fuego, situación que se dio no solo dentro del área de interés sino en toda la imagen.

En definitiva, el procesamiento digital de imágenes satelitales permite elaborar información derivada de las bandas originales, resaltando determinados tipos de cobertura, en este caso particular las áreas afectadas por incendios, las que son posibles discriminar con precisión en función de la respuesta espectral de la vegetación quemada.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

Atlas de la provincia de La Pampa (2016) *Atlas geográfico y satelital de la provincia de La Pampa*. Instituto de Geografía, Facultad de Ciencias Humanas, UNLPam.

Beck, U. (1992) *Risk Society. Towards a New Modernity*. London: Sage.

Boó R. (1990) Algunos aspectos a considerar en el empleo del fuego. *Revista de la Facultad de Agronomía*, Santa Rosa: UNLPam, N° 5, pp. 63-80.

Boó, R.; Peláez, D.; Bunting, S.; Mayor, S y Elía, O. (1997) Effect of fire on woody species in central semi-arid Argentina. *Journal of Arid Environments*, N°35, pp. 87-94.

Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140196385701358>.



- Cabrera, A. L. (1976) Regiones fitogeográficas argentinas. Bellón, C. A. (1976) *Enciclopedia Argentina de agricultura y jardinería*. Tomo 2, fascículo 1. Buenos Aires: Ed. Acme.
- Chebez, J. (2006) *Guías de las Reservas Naturales de la Argentina. Zona Centro*. Buenos Aires: Albatros.
- Chuvieco Salinero, E. (2008) *Teledetección ambiental. La observación de la tierra desde el espacio*. Barcelona: Ariel Ciencia.
- Decreto Nacional Creación de las Categorías de Reservas Naturales Silvestres y Educativas, Decreto 453/94. Cámara de Diputados y Senadores de la Nación Argentina, 24 de marzo de 1994.
- Diharce, M. C.; Herlein, M. y Dillon, B. (2018) Incendios en La Pampa: un análisis en el impacto territorial (2016-2018). Como enseñar estos contenidos en la escuela secundaria. *V Jornadas Nacionales de Investigación en Geografía Argentina*. Tandil, Buenos Aires.
- Dillon, B. (2017) *El porqué de los incendios en La Pampa. Ocurrencia y consecuencias geográficas*. Apuntes de cátedra: inédito.
- El Federal (2018) *Las llamas arrasaron el Parque Nacional Lihué Calel*. Recuperado de <http://www.elfederal.com.ar/la-pampa-las-llamas-arrasaron-el-parque-nacional-lihue-calel/>.
- Fuentes, M. E. y Bellini Saibene, Y. (2017) *Una visión de los incendios en La Pampa con herramientas satelitales*. Recuperado de [https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta\\_una\\_vision\\_de\\_los\\_incendios\\_en\\_la\\_pampa.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_una_vision_de_los_incendios_en_la_pampa.pdf).
- IDE (2018) *Infraestructura de Datos Espaciales de la provincia de La Pampa. Instituto de Geografía, Facultad de Ciencias Humanas, UNLPam*. Recuperado de <https://qgiscloud.com/IDEIGUNLPam/IDEIGUNLPAM/?e=0%2C0%2C0%2C0&crs=EPSG%3A3857>.
- Giddens, A. (1993) *Consecuencias de la modernidad*. Madrid: Alianza Universidad.
- Lell, J. (1990) Incendios de bosques en La Pampa. En *Revista Facultad de Agronomía*. Volumen 5. Número 1. 29-33. Santa Rosa: Universidad Nacional de La Pampa.
- Lerner, P. (2004) El Caldenal: dinámica de poblaciones de caldén y procesos de expansión de leñosas en pastizales. Arturi, M.; Frangi, J.; y Goya, J. (eds.) (2004) *Ecología y manejo de los bosques de Argentina*, La Plata: Editorial de la UNLP.

- Ley de Prevención y lucha contra incendios en zonas rurales, Ley N° 1354. Cámara de Diputados de la provincia de La Pampa, 14 de noviembre de 1991.
- Ley Nacional Parque Nacional Lihué Calel, Convenio, Ley N° 25.755. Congreso de la Nación Argentina, 16 de julio de 2003.
- Llorens, E. y Frank, E. (1999) *Aspectos ecológicos del estrato herbáceo del caldenal y estrategias para su manejo*. Anguil: AACREA, Subsecretaría de Asuntos Agrarios-Provincia de La Pampa, INTA.
- Martínez Carretero, E. (1995) Los incendios forestales en Argentina. *Multequina*. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo>.
- Martín, M. P. y Chuvieco, E. (2001) Propuesta de un nuevo índice para cartografía de áreas quemadas: aplicación a imágenes NOAAVHRR y Landsat-TM. *Revista de Teledetección*, N° 16, p. 57-64. Recuperado de <http://www.aet.org.es/revistas/revista16/AET16-10.pdf>.
- Medina A.; Dussart, E.; Estelrich, H. y Morici, E. (2000) Reconstrucción de la frecuencia de fuego en un bosque de *Prosopis caldenia* Burkart, de Arizona, sur de la Provincia de San Luis. *Multequina* N°9, pp. 91-98. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/285380152\\_Reconstruccion\\_de\\_la\\_historia\\_del\\_fuego\\_en\\_un\\_bosque\\_de\\_Prosopis\\_caldenia\\_Burk\\_de\\_Arizona\\_sur\\_de\\_la\\_provincia\\_de\\_San\\_Luis](https://www.researchgate.net/publication/285380152_Reconstruccion_de_la_historia_del_fuego_en_un_bosque_de_Prosopis_caldenia_Burk_de_Arizona_sur_de_la_provincia_de_San_Luis).
- Mermoz, M.; Pérez, A.; Romero, M. y Ramilo, E. (2004) *Informe sobre las consecuencias ecológicas de los incendios ocurridos en el Parque Nacional Lihue Calel en Noviembre y Diciembre de 2003*. La Pampa: Administración de Parques Nacionales.
- Pinilla Ruiz, C. (1995) *Elementos de Teledetección*. Madrid: RA-MA.
- Plan b (2018) *Parque Lihué Calel: se originó un incendio por una motoniveladora*. Plan b noticias. Recuperado de <http://www.planbnoticias.com.ar/index.php/2018/01/06/parque-lihue-calel-se-origino-un-incendio-por-una-motoniveladora/>.
- Prevención Desastres (2018) *Incendios Forestales*. Recuperado de <https://prevenciondesastres.wordpress.com/causas-fases-y-tipos-de-un-incendio/>.
- Subsecretaría de Ecología (2004) *Subsecretaría de Ecología, Gobierno de La Pampa*. Recuperado de <https://www.lapampa.gob.ar/informacion-historica-civica-y-geografica-de-la-provincia-de-la-pampa.html>.

USGS (2018) *Earth Explorer – U.S. Geological Survey*. Recuperado de <https://earthexplorer.usgs.gov/>.

Vázquez, P. (2018) *Prevención de incendios en la provincia de La Pampa pronóstico temprano de la peligrosidad. Periodo noviembre 2018-marzo 2019*. Recuperado de <https://inta.gob.ar/documentos/pronostico-temprano-de-peligrosidad-de-incendios-2018-2019>.

Villagra, P.; C. Giordano, J.; Álvarez, J.; Cavagnaro, R.; Guevaro, R.; Evert, C.; Aranzazú Sartor, C.; Passera, y S. Greco (2011) Ser planta en el desierto: estrategias de uso de agua y resistencia al estrés hídrico en el Monte Central de Argentina. *Ecología Austral*, vol. 21, núm.1, pp. 21-42. Recuperado de [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\_arttext&pid=S1667782X2011000100004: 05 de marzo de 2014].