

Geografía y Sistemas de Información Geográfica (GEOSIG).
Revista digital del Programa de Docencia e Investigación en
Sistemas de Información Geográfica (PRODISIG). Universidad
Nacional de Luján, Argentina.

<http://www.revistageosig.wixsite.com/geosig> (ISSN 1852-8031)

Luján, Año 16, Número 30, 2024, Sección I: Artículos. pp. 1-18

LOS INCENDIOS Y SU IMPACTO SOBRE LAS COBERTURAS DE LA TIERRA EN LA RESERVA NATURAL IBERÁ, CORRIENTES

Laura Fabiana Gomez¹ – Osvaldo Daniel Cardozo^{1, 2}

¹Instituto de Investigación para el Desarrollo Territorial y el Hábitat Humano (IIDTHH - CONICET).

²Facultad de Humanidades (FaHum - UNNE).

agrimlauragomez@gmail.com

RESUMEN

A fines de 2021 y principios de 2022 la provincia de Corrientes sufrió una serie de incendios en buena parte del territorio provincial. La magnitud fue tal que a mediados de febrero de 2022 se estimaba en casi un millón las hectáreas afectadas. Una de las áreas que sufrió el mayor impacto fue la Reserva Natural Iberá, de gran relevancia por tratarse de un área protegida y alto valor de conservación debido a la diversidad de fauna, flora y paisajística que alberga, razón por la cual, se decidió circunscribir el análisis a los límites de esta. Para medir y cuantificar los efectos de los incendios, se utilizaron técnicas de comparación entre la cartografía de áreas quemadas y las coberturas de la tierra definidas en ESRI Land Cover, ambas generadas a partir de imágenes satelitales. Los resultados preliminares indican una afectación en torno al 24 % de la superficie de la Reserva, lo que representa un daño considerable teniendo en cuenta las coberturas más afectadas: pastizales, vegetación inundada y vegetación arbórea.

Palabras clave: Área quemada; Cobertura de la tierra, Incendios; Imágenes satelitales; Iberá.

ABSTRACT

At the end of 2021 and beginning of 2022, the province of Corrientes was affected for several fires series in a large part of their territory. The size of the damage was estimated at one million hectares in average. One of the main areas affected by were the Iberá Natural Reserve. Due to its high value in terms of diversity as a protected area, it was selected for this study. Comparison techniques were used between the mapping of burned areas and the land covers defined by ESRI, both generated from satellite images, to measure and quantify the effects of the fires. Initial results show a damage of 24 % of the Reserve's surface, which is a disturbing outcome because of its damage in grasslands, flooded vegetation and tree vegetation.

Keywords: Burned area; Land cover, Wildfire; Satellite imagery; Iberá.

INTRODUCCIÓN

Los incendios provocan una importante perturbación en el territorio y el ambiente (Jensen, 2018). La flora, la fauna, el suelo, la atmósfera y las aguas superficiales sufren los impactos negativos del avance incontrolado del fuego que, dependiendo de su magnitud, puede afectar además al sistema socio-productivo y las infraestructuras existentes, dejando como saldo cuantiosas pérdidas económicas y ambientales.

Particularmente, entre los efectos directos de los incendios se encuentran los que implican a las coberturas terrestres y sus consecuentes cambios. En este sentido, Parente *et al*, (2023) sostienen que los incendios son los principales impulsores de la dinámica en las coberturas y usos de la tierra (LULC), ya que, al quemar total o parcialmente la vegetación, tienen efectos devastadores para el ambiente, las infraestructuras, la vida silvestre y la salud humana.

Estos fenómenos irrumpen en los procesos de cambios en las coberturas de la tierra, su dinámica y complejidad, por lo que realizar una evaluación de sus consecuencias se convierte en una etapa fundamental en la gestión y manejo de los recursos naturales.

En este punto, se destaca a la Teledetección como una herramienta sólida que posibilita la detección y el monitoreo del área quemada, dada la posibilidad de obtener imágenes satelitales del área de interés en diferentes momentos. A partir de ellas es posible analizar los cambios en la reflectividad de las coberturas en momentos previos y posteriores a los incendios, y de esta manera generar la cartografía que muestre la distribución de las áreas afectadas por los incendios.

Para profundizar y ser más precisos en el análisis es necesario saber qué se ha quemado en los incendios. La posibilidad de contar con información geográfica sobre coberturas de la tierra¹ se convierte en un recurso de gran valor, pues las mismas se encuentran en constante cambio y los incendios pueden precipitarlos de forma drástica, provocando modificaciones extraordinarias en el paisaje y en la diversidad biológica (Mayaux *et al*, 2008). En este sentido, al integrarlos con la cartografía del área quemada, es posible localizar y cuantificar las coberturas afectadas por el fuego, generando resultados que contribuyan de manera efectiva en el ordenamiento, planificación, y gestión sostenible del territorio.

La información generada también guarda estrecha relación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) formulados por la Organización de Naciones Unidas (ONU), particularmente el objetivo número 13 que aboga por la gestión sostenible de los bosques, la lucha contra la desertificación, la detención e inversión de degradación de la tierra y la detención de la pérdida de la biodiversidad. Todos ellos pueden iniciarse a partir de un incendio.

La provincia de Corrientes sufrió entre los meses de diciembre de 2021 y febrero del 2022 incendios que afectaron a buena parte del territorio provincial, situación favorecida por

¹ Cuando hablamos específicamente de la cobertura de la tierra, hacemos referencia a las características físicas y biofísicas que se observan sobre la superficie terrestre, por lo tanto, en términos amplios, no solo describe la vegetación natural (arbórea, arbustiva, herbácea) y los elementos antrópicos de la actividad humana (cultivos, obras de infraestructura, edificios, canales, etc.) presentes en el territorio, también describen otras superficies como afloramientos rocosos, suelo desnudo, cursos y cuerpos de agua (Molo y Cardozo, 2021:136)

la escasez de precipitaciones y las altas temperaturas propias de la región en época estival. Según el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), a mediados del mes de febrero habían sido afectadas más de 934.000 ha, valor que representa aproximadamente el 11 % de la superficie de la provincia y para el 27 de febrero, este porcentaje ascendía al 11,7 %².

Respecto a las consecuencias del evento analizado en esta contribución, en la provincia de Corrientes “las áreas más severamente afectadas por los incendios fueron el Sector Norte, el corredor Mburucuyá-San Roque, Colonia Carlos Pellegrini, Lomada de Caá Catí a Mburucuyá y el Corredor Iberá-Mburucuyá. Estas áreas se caracterizan por la presencia de pastizales, y pajonales; además de los bosques de quebracho y palmares que aparecen en las lomadas”³. Aunque la situación descrita afectó a gran parte del territorio provincial y otras provincias vecinas, el análisis se circunscribe a los límites de la Reserva Natural Iberá debido a que, se trata de un área protegida con alto valor de conservación producto de la gran diversidad de fauna, flora y paisajística que alberga.

Por lo descrito, el objetivo principal de la presente contribución es analizar el impacto de la emergencia provocada por los incendios ocurridos hasta fin del mes de febrero del año 2022 en la Reserva Natural Iberá. Los objetivos particulares son: conocer la extensión y distribución del área quemada, así como determinar cuáles fueron las coberturas de la tierra más afectadas por dicho evento.

ANTECEDENTES

El impacto que generan incendios de las magnitudes ocurridas repercute directamente sobre la superficie terrestre. Una de las formas de analizar sus consecuencias es por medio de las coberturas y usos de la tierra. Así de manera indirecta podremos conocer el alcance sobre el medio natural, las actividades económicas y las infraestructuras.

En particular, los cambios en las coberturas de la superficie terrestre producto de alteraciones en la cubierta vegetal debido a la acción humana o natural, tienen múltiples consecuencias en el territorio sobre la erosión de los suelos, los procesos hidrológicos, la fragmentación del paisaje, cambios en el uso de la tierra, modificaciones en los nutrientes del suelo, infiltración en las cuencas, pérdida de hábitat, entre otros (Aramburu Maqua y Escribano Bombín, 2006). Son algunos ejemplos que ponen en evidencia la importancia de realizar estudios que permitan describirlos.

La generación de cartografía a partir de productos satelitales que permita el estudio sobre las coberturas y usos de la tierra es objeto de investigación de larga data. Desde entonces se continúan generando mapas temáticos a diferentes niveles de detalle y escalas - llegando actualmente a la cobertura global-, que reflejan estados pasados, actuales y los cambios.

En la actualidad, haciendo uso de imágenes satelitales de las misiones Sentinel-2, se ha generado información referida a cubiertas terrestres que conjugan alta resolución espacial y cobertura a nivel global. La empresa ESRI en su ArcGIS Living Atlas of the World ofrece en forma abierta, gratuita y periodicidad anual desde 2017, un dataset ráster con

² <https://www.argentinaforestal.com/2022/03/09/informe-inta-los-incendios-en-corrientes-afectaron-al-12-del-territorio-de-la-provincia/>

³ <https://www.conicet.gov.ar/incendios-en-corrientes-evaluaran-los-efectos-a-mediano-plazo-sobre-la-biodiversidad/>

pixel de 10 m para 9 categorías generado mediante un modelo clasificatorio basado en inteligencia artificial. Por su parte, la Agencia Espacial Europea (ESA) pone a disposición datasets de coberturas terrestres discriminadas en 11 categorías (FAO-ONU), también a escala global y 10 m de resolución espacial, para los años 2020 y 2021 en base en imágenes Sentinel-1 y Sentinel-2.

Existen estudios que permiten afirmar una fuerte relación entre los cambios en las coberturas terrestres y los incendios en Europa (Parente *et al.*, 2023, Lampin-Maillet *et al.*, 2011) y la influencia de tales cambios sobre la frecuencia e intensidad de los incendios y sus posibles consecuencias (Vilar *et al.*, 2021; Bowman *et al.*, 2011). Asimismo, se han descrito y cuantificado métricas específicas que muestran la dinámica entre diferentes clases de coberturas y uso de la tierra (Parente *et al.*, 2023).

A escala regional, Quignard, Sione y Maldonado (2017) analizaron la relación entre las coberturas terrestres y la distribución en tiempo y espacio de los incendios en la cuenca del Río Gualeguay a partir de imágenes Landsat y datos de focos de calor del sensor MODIS en los satélites Aqua y Terra.

Cabe especial mención, los antecedentes a nivel provincial como así también para el área de estudio propuesto. En este sentido, Saucedo, Perucca y Kurtz (2023) cuantificaron por un lado las superficies afectadas por los incendios de principios del año 2022, a nivel provincial y departamental haciendo uso de imágenes Sentinel-2 procesadas con *Google Earth Engine*; y por otro lado, calcularon las coberturas vegetales afectadas por los incendios tomando como antecedentes para la delimitación de coberturas vegetales, trabajos realizados por el grupo de investigación de INTA Corrientes y coberturas de bosques cultivados provistas por las Dirección de Recursos Forestales del Ministerio de la Producción de Corrientes. Los resultados muestran que la superficie afectada por los incendios a nivel provincial rondó el 12 % para finales de febrero de 2022, siendo los departamentos más afectados Ituzaingó y Santo Tomé. Cabe mencionar también que, en relación a la superficie departamental, San Miguel fue la mayor superficie afectada (33%). En relación a las coberturas vegetales afectadas, se encontró que la más afectada al finalizar estos incendios fue la de esteros y otros bañados. Particularmente, identificaron que en el Parque Nacional Iberá se quemó el 57% de la cobertura vegetal.

Por su parte, Smichowski y Contreras (2024) analizaron la severidad de los incendios discriminando el análisis para la Reserva por un lado, y para los portales que forman parte del Parque Iberá por otro. A partir del uso índice NBR en imágenes Sentinel 2A y *Google Earth Engine*, determinaron que las superficies afectadas por los incendios de principios de 2022 en el Parque y en la Reserva Nacional Iberá rondaron el 50 % y el 20 % respectivamente.

ÁREA DE ESTUDIO

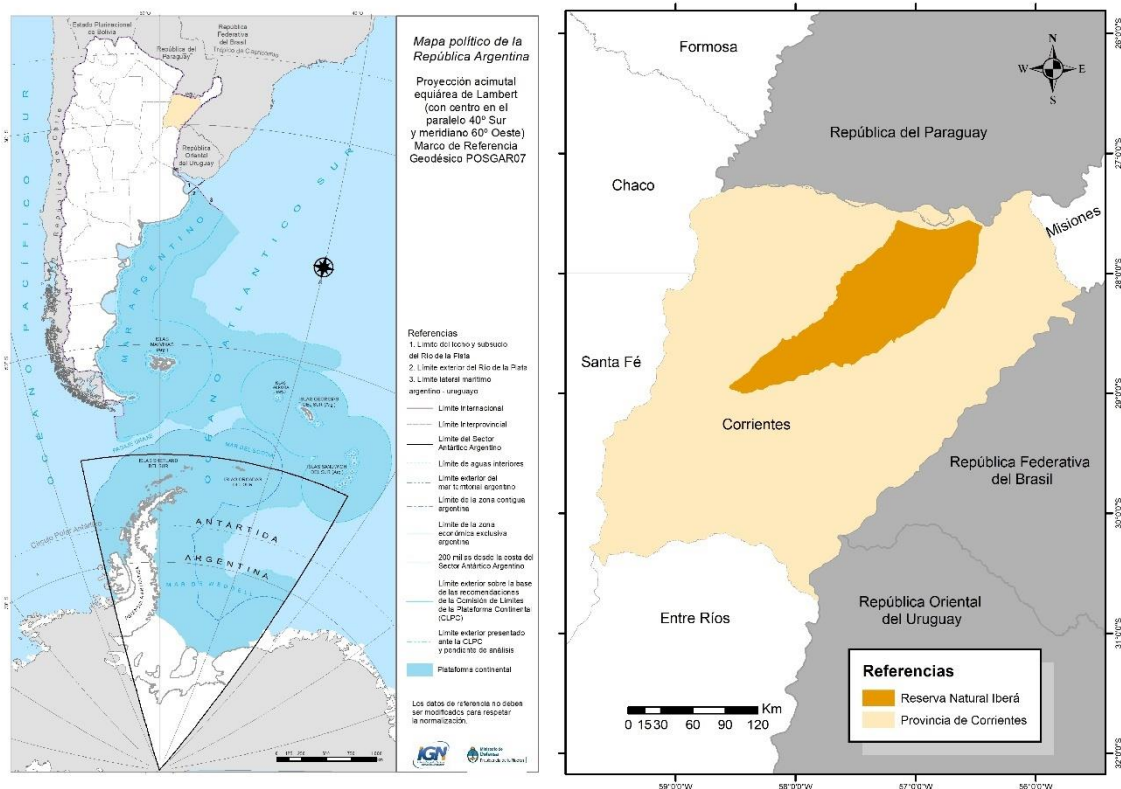
El macrosistema Iberá comprende un sistema hídrico complejo compuesto por esteros, bañados, lagunas y cursos fluviales interconectados. Su extensión territorial excede los límites de la República Argentina, tomando el nombre de Esteros de Ñeembucú en la República del Paraguay con una superficie total de 45.000 km² (Orfeo, 2012).

La Reserva Natural Iberá se localiza en el sector centro-norte de la provincia de Corrientes (ver Figura N° 1), y fue creada el 15 de abril de 1983 mediante la Ley N° 3.771 para la protección del sistema de Esteros y Lagunas del mismo nombre, la conservación y

recuperación de especies nativas, la expulsión de aquellas introducidas que alteran el ecosistema local, y la preservación de sus principales características fisiográficas. Comprende parte de seis departamentos, Ituzaingó, San miguel, Concepción, Mercedes, San Martín, San Roque y Santo Tomé (Lípori y De Oto, 2012). Sus límites definen una superficie aproximada de 1.300.000 ha, donde se afectan al dominio público del Estado provincial las tierras que no sean de propiedad privada, en cumplimiento de lo que establece el Art. 2340 inc.3 del Código Civil de la República Argentina.

Además, en 1993 se crea el Parque Provincial Iberá que “protege tierras bajas e inundables (...) incluyendo todos los cursos y cuerpos de agua del Iberá”, abarcando inicialmente una superficie de 550.000 ha, la cual fue ampliada en 2016 (Fundación Flora y Fauna Argentina, 2019:83).

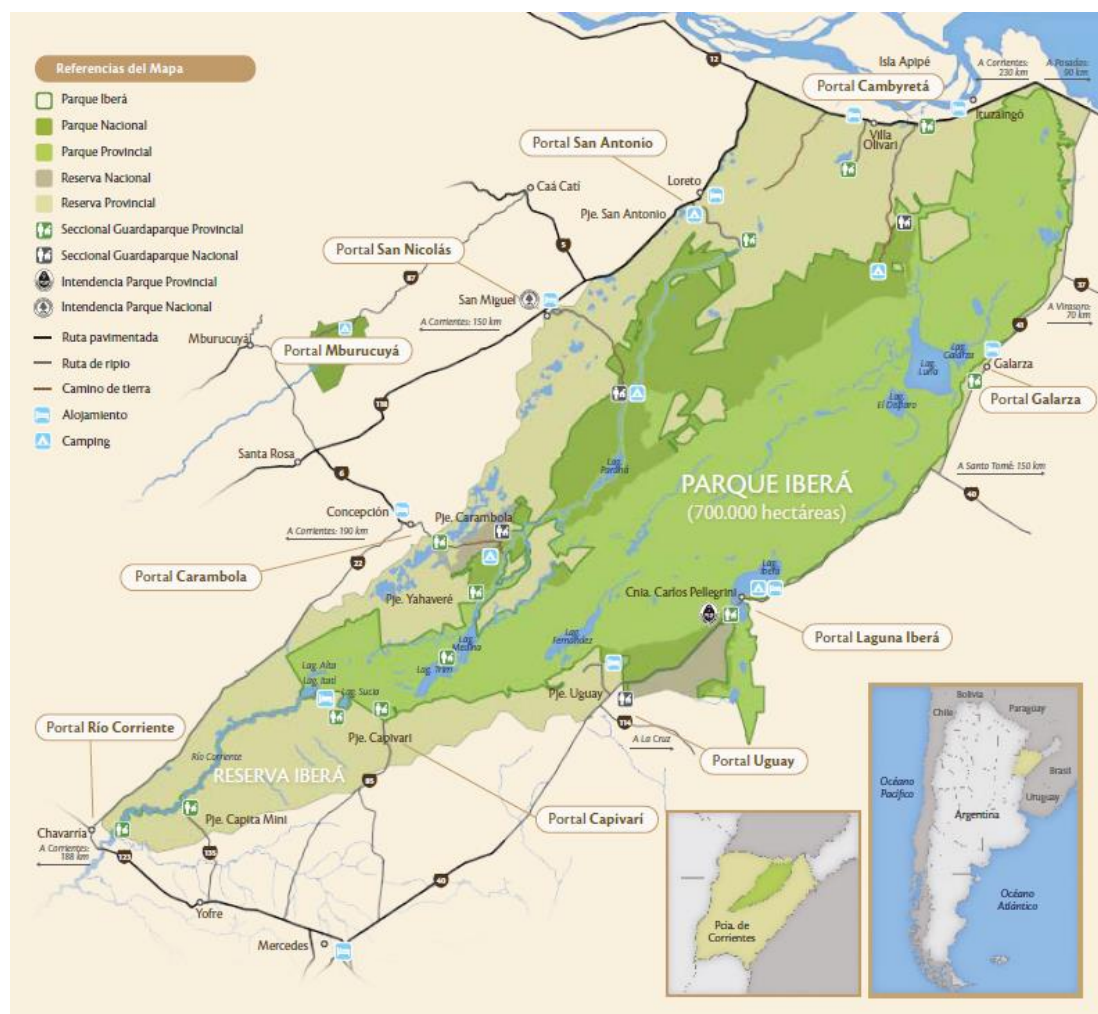
Figura 1. Localización del área de estudio en la Provincia de Corrientes.



Fuente: Elaboración propia sobre la base de archivos vectoriales del Instituto Geográfico Nacional (IGN)

El Parque Nacional Iberá, dentro de la Reserva Natural Iberá, ocupa parte de los departamentos Ituzaingó, Concepción, Mercedes y San Miguel. Fue creado en el año 2018 mediante la Ley Nacional N° 27.481 con una superficie total de 183.500 ha, e incluye dos categorías de manejo: Reserva Nacional y Parque Nacional. El Parque Nacional se compone de cuatro núcleos de conservación que no poseen continuidad territorial entre ellos, sino que están conectados a través del Parque Provincial. La Figura 2 permite observar la localización de las diferentes áreas geográficas definidas.

Figura 2. Delimitación de las jurisdicciones y formas de administración que coexisten en los Esteros del Iberá.



Fuente: Fundación Flora y Fauna Argentina, 2019:12.

Más allá de la traza que delimita el Parque, el Iberá como sistema natural excede los límites del mismo. Se trata de un complejo sistema fluvio-lacustre formado por el hundimiento de un bloque -graben- que, junto a la escasa pendiente, formaron un extenso humedal de lento escurrimiento en dirección NO-SE. El paisaje se caracteriza por la alternancia cuerpos y cursos de agua de poca profundidad (esteros, bañados, lagunas y arroyos), y lomas arenosas donde se desarrollan pastizales y montes nativos, albergando una diversa flora y fauna con especies endémicas vulnerables y amenazadas (Bruniard, 1997).

Desde el punto de vista económico, involucra a 20 municipios. Estas particularidades se reflejan entre los objetivos de su creación y evidencian la relevancia del mismo, a saber “contribuir a la protección integral del macrosistema Iberá, complementando las medidas de protección que otorga el Parque Provincial con la incorporación de ambientes que no están incluidos dentro del mismo; fortalecer las políticas públicas tendientes a la conservación del macrosistema Iberá y al desarrollo sustentable de las comunidades asociadas; minimizar las repercusiones de las actividades humanas que se realizan en las inmediaciones del área protegida, complementando el Parque Nacional con una Reserva Nacional adyacente a sus límites; propender a la conservación de la biodiversidad, el

aumento poblacional de las especies amenazadas de extinción, y de todas aquellas especies de flora y fauna autóctonas; asegurar los procesos ecológicos y evolutivos con alta biodiversidad y resiliencia, recuperando los ambientes naturales y áreas degradadas mediante estrategias de restauración tales como la reintroducción y el reasilvestramiento de especies extintas” (Plan de Gestión Parque Nacional Iberá, 2017:15-16)⁴.

MATERIALES Y MÉTODOS

Datos y Fuentes

Para concretar el objetivo planteado se utilizaron, por un lado, imágenes del satélite Landsat-9 con 30 m de resolución espacial descargadas⁵ de la página web del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), a partir de las cuales se generó la cartografía temática referida al área afectada por los incendios. Teniendo en cuenta la recomendación de Chuvieco (2008) sobre las categorías en la cartografía de incendios -vegetación sana, quemada, y sombras-, y las características del área de estudio, se optó por considerar las siguientes: área quemada, área no quemada y cuerpos de agua.

Los Path/Row y fechas de adquisición se detallan a continuación:

Tabla 1. Características de las imágenes.

Path/Row	Fecha
225/079	04/03/2022
225/080	04/03/2022
226/079	23/02/2022
226/080	23/02/2022

Fuente: Elaboración propia.

De igual fuente, se utilizaron imágenes Sentinel-2 con resolución espacial de 20 m, para la etapa de validación de la cartografía generada de área quemada⁶.

Por otro lado, como información también de base para analizar el impacto de los incendios, se utilizó un mapa global del año 2020 de coberturas y uso de la tierra (LULC sigla correspondiente a la traducción en inglés) producido por *Impact Observatory Microsoft* y ESRI, con una resolución espacial de 10 m y un sistema de 9 clases de cubiertas: agua, vegetación arbórea, vegetación inundada, cultivos, suelo desnudo, nieve/hielo, nubes, áreas construidas y pastizales (Figura 3). Esta capa fue generada a partir de la clasificación de imágenes Sentinel-2 con un modelo de clasificación de aprendizaje profundo entrenado con más de cinco mil millones de píxeles y utilizando 6 bandas⁷.

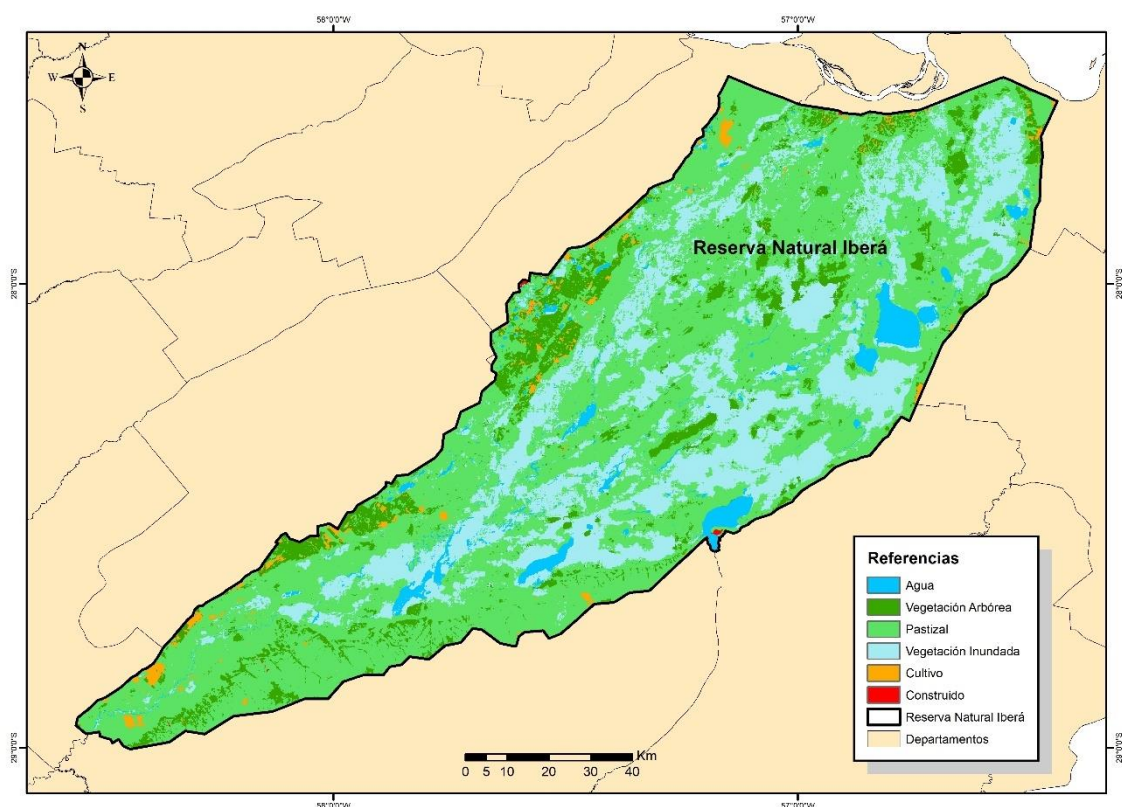
⁴ Recuperado de: [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://sib.gob.ar/archivos/PG_PNIbera.pdf](https://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://sib.gob.ar/archivos/PG_PNIbera.pdf)

⁵ Fecha de descarga 10/03/2022.

⁶ Fecha de descarga de Sentinel: 22/04/22.

⁷ <https://www.arcgis.com/home/item.html?id=cfc7609de5f478eb7666240902d4d3d>

Figura 3. LC en la Reserva Natural Iberá. Año 2020.



Fuente: Elaboración propia en base a archivos vectoriales del Instituto Geográfico Nacional (IGN) y Land Cover de ESRI.

También se usaron geodatos (provincias, departamentos, áreas protegidas y Reserva Natural) de acceso libre y gratuito disponibles en el sitio web del IGN, que fueron utilizados en distintos geoprocesos y en la elaboración cartográfica.

En este sentido, la Tabla 2, indica los repositorios y servidores de información geográfica consultados:

Tabla 2. Repositorios de datasets y link de acceso

Repositorio	Organismo	Link
WorldCover	ESA, UE	https://worldcover2020.esa.int/
Land Cover	ESRI, USA	https://livingatlas.arcgis.com/landcover/
EarthExplorer	USGS, USA	https://earthexplorer.usgs.gov
Capas SIG	IGN, Argentina	https://www.ign.gob.ar/NuestrasActividades/InformacionGeoespacial/CapasSIG

Fuente: Elaboración propia.

METODOLOGÍA

La metodología desarrollada se describe a continuación, organizada en fases sucesivas que permitan clarificar la secuencia de actividades llevadas a cabo.

En una *primera fase* del trabajo se procedió a la obtención de las imágenes satelitales Landsat a partir de las cuales se confeccionó posteriormente un mosaico que incluyera toda la extensión de la reserva.

La *segunda fase* consistió en el recorte de las imágenes satelitales por el área de estudio, utilizando como límite la capa de áreas protegidas obtenida de los geodatos del IGN. Se concretó este paso haciendo uso de la herramienta *extract by mask* en el software QGIS 3.x. El mismo tratamiento se realizó sobre el dataset de cobertura de la tierra, que sería usado como base de comparación en etapas posteriores.

La *tercera fase* consistió en el mejoramiento visual de las imágenes para distinguir claramente las superficies quemadas de las no quemadas. En ese caso se ensayaron diferentes posibles composiciones falso color en base a la lectura de bibliografía específica, alcanzando el mejor detalle y discriminación de las coberturas de interés en la composición 6-5-4 para plataformas Landsat-8/9. Cabe mencionar aquí que las regiones del NIR y SWIR son fundamentales para estudios de incendios (Chuvieco, 2016; Jensen, 2018).

En la *cuarta fase* se realizó la clasificación supervisada mediante un algoritmo de *Random Forest* para generar la cartografía de área quemada. Para ello, previamente se adquirieron muestras de las tres clases consideradas de utilidad: área quemada, área no quemada y cuerpos de agua, a partir de las cuales se entrenó el algoritmo, que luego se utilizó para llevar a cabo la clasificación de los incendios en la imagen satelital.

En una *quinta etapa* se validó el producto obtenido en la clasificación, usando como “verdad de terreno” imágenes Sentinel-2 de mayor resolución espacial. En este sentido, Mayaux *et al.*, (2008) comentan que, para grandes extensiones territoriales, diferentes factores dificultan la posibilidad de considerar datos levantados del terreno como valores verdaderos de referencia, y los mismos, pasan a ser reemplazados por datos satelitales extraídos de imágenes de resolución espacial más fina que la cartografía objeto de análisis. Entonces, se procedió a realizar un muestreo de puntos que serían evaluados posteriormente a través de una matriz de confusión⁸, y de esta forma, obtener métricas que permitan evaluar la confiabilidad del resultado cartográfico.

Se optó por un muestreo de tipo aleatorio estratificado procurando obtener una muestra representativa de la población, en la que no se dejará de considerar las categorías definidas -en este caso utilizadas como “estratos”- con menor número de píxeles en el dataset de land cover. El tamaño de la muestra adquirida fue de 140 puntos, repartidos en forma proporcional en función del tamaño de cada categoría. Dicho valor fue calculado a partir de la expresión $n = \frac{z^2 pq}{E^2}$ utilizada para determinar el acierto o error en una variable binomial como es este caso, donde p representó un 90% de aciertos, q un 10% de errores,

⁸ Esta matriz así formada, presenta una visión general de las asignaciones, tanto de las correctas representada por los elementos de la diagonal, como de las migraciones o fugas indicada por los elementos fuera de la diagonal (Pina, 2015).

E un error máximo permitido de $\pm 5\%$ y z la abscisa de una curva normal para una probabilidad del 95 % (Chuvieco, 1996; Mas *et al.*, 2003).

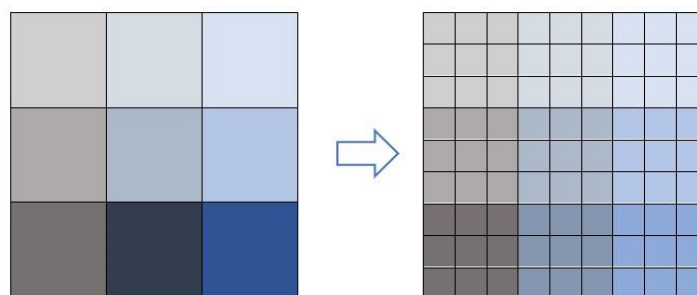
La matriz de confusión permitió determinar la fiabilidad estimada del producto a partir de la asignación correcta de píxeles en cada clase, respecto al total de píxeles muestreados. De forma similar, es posible obtener la robustez del mapa por cada clase. En base a la medida de fiabilidad global y con sustento de la teoría del muestreo, se obtienen intervalos de confianza dentro de los cuales se encontraría la exactitud real de la clasificación, considerando un determinado valor de probabilidad.

Sobre las métricas expuestas en el párrafo anterior, Olaya (2020:551) sostiene que “(...) no reflejan la naturaleza de la modificación que se produce entre las capas (o en el caso de utilizarse para validar una clasificación, la naturaleza del error cometido) por lo que pueden encontrarse alternativas más elaboradas”, como por ejemplo el cálculo del índice *Kappa*, que basa su análisis en la comparación directa pixel a pixel buscando la correspondencia entre cada par de mapas. El valor de *Kappa* varía entre -1 y 1, donde -1 indica una correlación en sentido inverso, 1 una correlación perfecta en sentido directo, mientras que los valores próximos a 0 indican ausencia de relación.

En este sentido, Landis y Koch (1977) proponen una escala para interpretar los valores de *kappa* obtenidos, y que representan la fuerza del acuerdo al comparar dos mapas con datos categóricos: $K < 0$, fuerza de acuerdo “pobre”; $0 \leq K \leq 0,2$, fuerza de acuerdo “ligera”; $0,21 \leq K \leq 0,4$, fuerza de acuerdo “justa”; $0,41 \leq K \leq 0,6$, fuerza de acuerdo “moderada”; $0,61 \leq K \leq 0,8$, fuerza de acuerdo “sustancial”; y $0,81 \leq K \leq 1$, fuerza de acuerdo “casi perfecta”.

En la sexta etapa, con el fin de asegurar la consistencia del análisis comparativo, se decidió armonizar la resolución espacial de los insumos cartográficos: área quemada con 30 m y land cover con 10 m, para lo cual se optó por un proceso de *resampling* llevando el tamaño de píxel del land cover dataset a 30 m. Esto significa el agrupamiento en píxeles de mayor tamaño, que representan el mismo valor temático, como se indica en la siguiente imagen.

Figura 4. Proceso de generalización de un píxel, aumentando su resolución espacial.



Fuente: Elaboración propia.

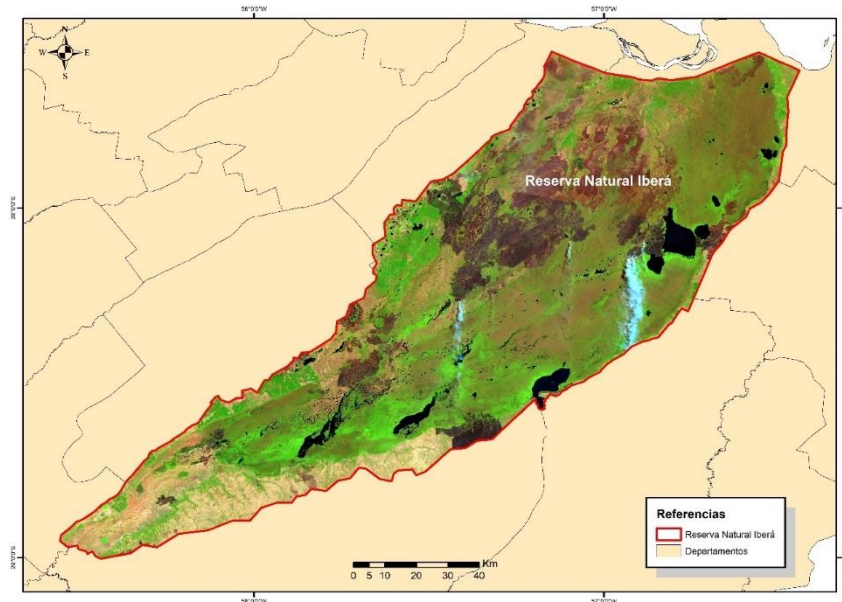
A partir de este material modificado, se extrajo la información correspondiente a la superficie quemada y se comparó con la información presente del land cover dataset. Por último, se realizaron análisis derivados de tales comparaciones.

RESULTADOS

Cartografía de Área Quemada generada y su validación

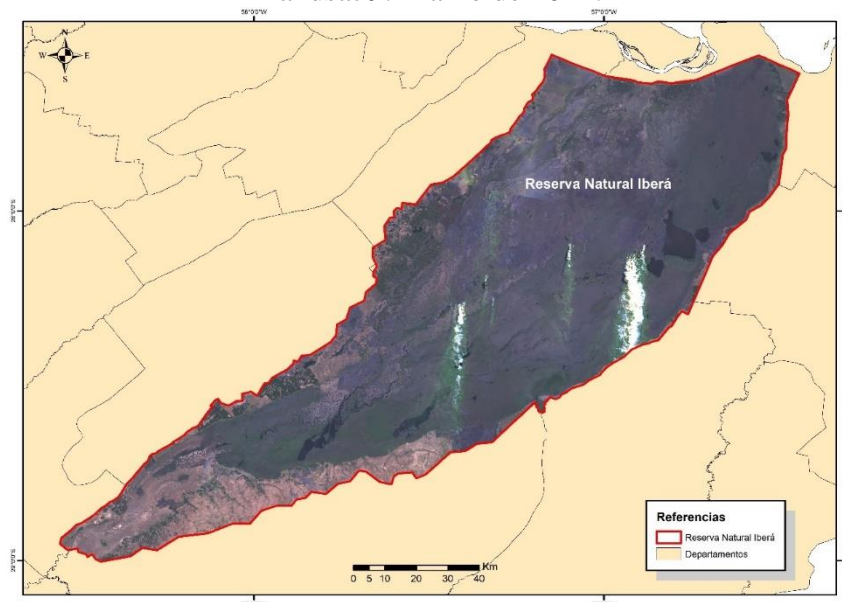
En primera instancia, se exponen los recortes de la composición falso en color de las bandas 6-5-4 (Figura 4) y la composición color verdadero (Figura 5), en las que a través de una primera apreciación visual es posible distinguir claramente la distribución de las superficies afectadas por los incendios, así como la presencia de columnas de humo que evidencian focos de incendio activos al momento de la toma de las imágenes.

Figura 4. Reserva Natural Iberá. Composición Falso Color a partir de imágenes Landsat-9. Marzo de 2022.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5. Reserva Natural Iberá. Composición color verdadero a partir de imágenes Landsat 9. Marzo de 2022.

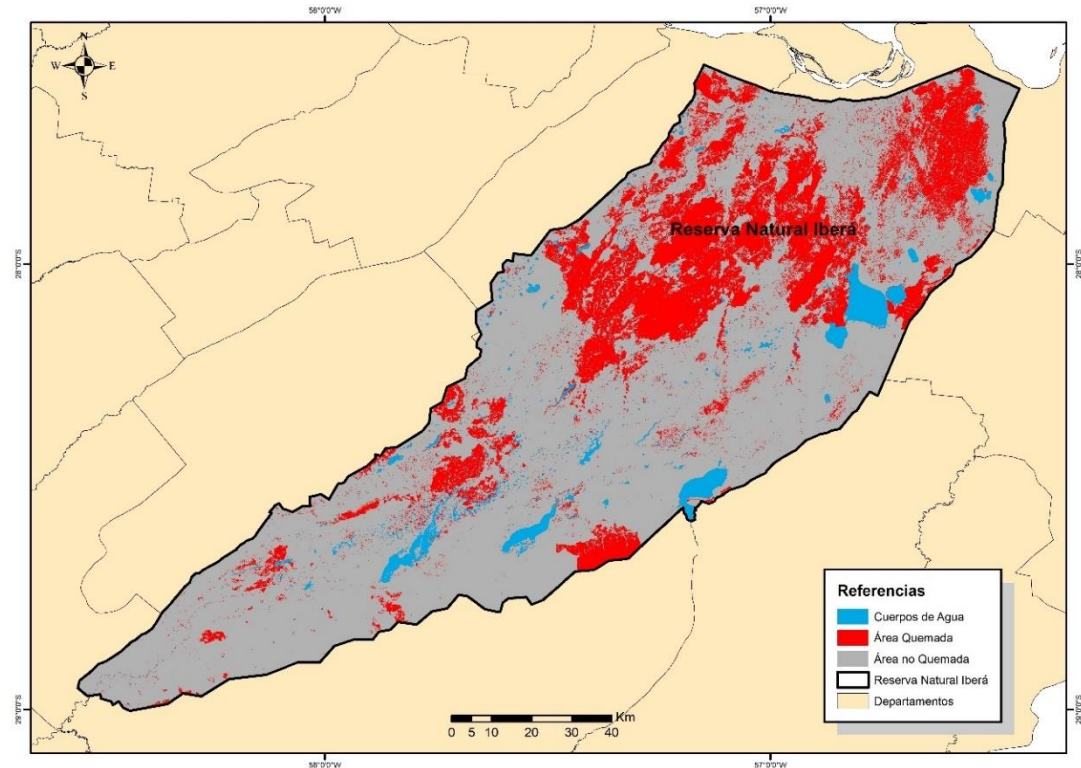


Fuente: Elaboración propia.

A partir de la composición en falso color y aplicando un proceso de clasificación, se generó la cartografía temática (Figura 6) con las clases mencionadas en la metodología (Área quemada, Área no quemada y Cuerpos de agua) a la cual, se aplicó un proceso de resampling para lograr coincidencia geométrica con el land cover dataset

La distribución espacial de las áreas quemadas muestra una mayor concentración en el sector centro-norte del área de estudio. También es posible observar áreas quemadas de menor superficie distribuidas de manera irregular en el resto de la reserva.

Figura 6. Áreas afectadas por incendios en la Reserva Natural Iberá. Marzo de 2022.



Fuente: Elaboración propia.

A partir de esta cartografía fue posible determinar que el área quemada total equivale en términos absolutos a 291.468,58 ha, lo que representa el 23 % de la superficie de la reserva. Por su parte, cabe señalar que aproximadamente el 73 % de la reserva no fue afectada por los incendios, mientras que el resto corresponde a cuerpos de agua (Tabla N° 2).

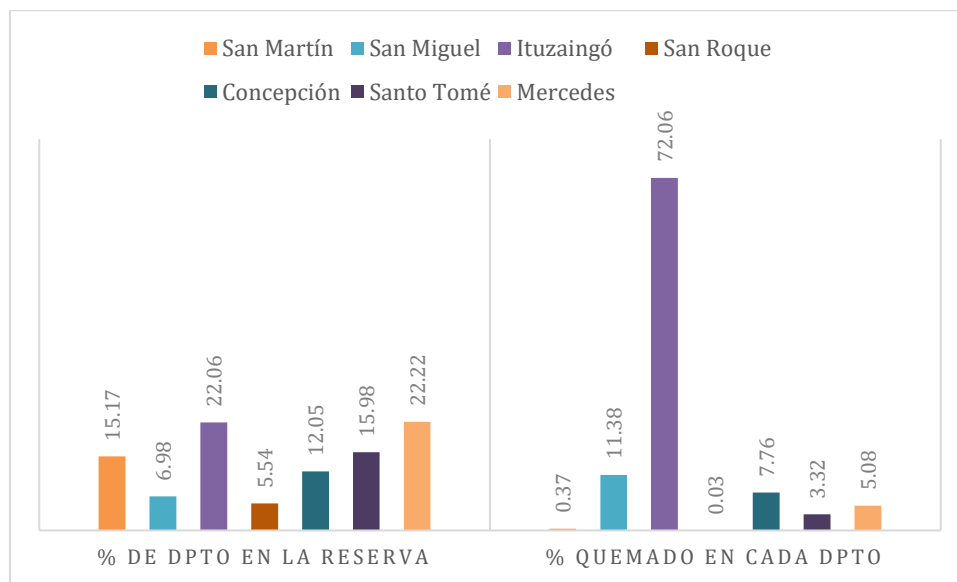
Tabla 2. Superficie de cada clase en la Reserva Natural Iberá. Marzo del 2022

Clase	Superficie (ha)	Superficie (%)
Área Quemada	291.468,58	23,41
Área No Quemada	909.913,43	73,05
Cuerpos de Agua	44.146,15	3,54
Total	1.245.528,16	

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 7b se puede observar la distribución del Área Quemada entre los departamentos incluidos en la Reserva. Se evidencia que el departamento más afectado fue Ituzaingó, donde el 72,06 % de su superficie -unas 210.043 ha- fueron quemadas, mientras que en San Miguel y Concepción solo afectó el 11,38 y 7,76 % respectivamente, sumando casi 56.000 ha. El resto de los departamentos fueron afectados en menor proporción: Mercedes el 5,08 %, Santo Tomé el 3,32 %, San Martín el 0,37 % y San Roque el 0,03 %, lo cual representan otras 35.000 ha aproximadamente. Sin embargo, estos valores deben ser interpretados de forma relativa, considerando los porcentajes de cada departamento incluidos en la Reserva (Figura 7a).

Figura 7. (a) Porcentaje de cada departamento afectado por la Reserva Iberá. (b) Porcentaje de cada departamento de la Reserva afectado por los incendios.



Fuente: Elaboración propia.

En relación con la validación del producto cartográfico de área quemada, la Tabla 3 muestra la matriz de confusión construida para determinar la confiabilidad del mismo. Al respecto es importante destacar los altos valores de coincidencia -presentes en la diagonal principal de la matriz-, lo cual indica altos valores de exactitud, tanto del productor como del usuario. Sin embargo, debemos mencionar la presencia de cierta confusión en la asignación de píxeles, correspondientes al área no quemada que fueron clasificados como quemados (13).

Los valores de la matriz de confusión muestran una asignación correcta de 125 píxeles sobre un total de 140, lo cual permite afirmar que, en base a la muestra considerada, la cartografía tiene una confiabilidad del 89,29 %. Además, respaldados en la teoría del muestreo, se puede afirmar con un nivel de confianza del 95 % que, la fiabilidad real de la cartografía generada se encuentra entre el 84,17 % y el 94,41 %.

Tabla 3. Matriz de Confusión (valores expresados en números de píxeles).

CATEGORÍAS		Área quemada	Cuerpo de Agua	Área no quemada	TOTAL	Error por comisión	Exactitud del Usuario
Verdad Terreno	Área quemada	31	0	2	33	6,06 %	93,94 %
	Cuerpo de Agua	0	5	0	5	0 %	100 %
	Área no quemada	13	0	89	102	12,75 %	87,25 %
	TOTAL	44	5	91	140		
	Errores por Omisión	30 %	0 %	2 %			
	Exactitud del Productor	70 %	100 %	98 %			

Fuente: Elaboración propia.

Por último, el valor de *Kappa* obtenido fue de 76,25 % lo cual puede interpretarse como una cartografía 76 % mejor que otra obtenida mediante una clasificación realizada al azar y, en término de Landis y Koch (1977), una fuerza de acuerdo “sustancial”.

Análisis comparativo

El *land cover dataset* ofrecido por ESRI (Figura 3 *up supra*) permite obtener información detallada referida al tipo y superficies de cada cobertura incluida en la reserva. Esta información presentada en la Tabla 4, destaca el predominio del Pastizal (59 %), seguido por Vegetación Inundada y Vegetación Arbórea (26,3 % y 9 % respectivamente); el resto de las coberturas representan un porcentaje residual (apenas el 5,2 %).

Tabla 4. Superficie de cada categoría de uso y cobertura de la tierra. Año 2020 (valores expresados en hectáreas y en porcentajes).

Clase	Superficie (ha)	%
Pastizal	741.154,01	59,55
Vegetación Inundada	327.437,98	26,31
Vegetación Arbórea	112.184,62	9,01
Agua	45.341,64	3,64
Cultivo	17.593,51	1,41
Área Construida	837,73	0,06

Fuente: Elaboración propia.

La superposición espacial de los *dataset land cover* y área quemada extraídas de la cartografía generada por medio de clasificación supervisada (Figura 7), permitió obtener la información detallada en la Tabla 5 respecto al grado en que los incendios afectaron a dichas coberturas. En este sentido, las coberturas más perjudicadas fueron Pastizal (67 %) y Vegetación Inundada (24,6 %), en tanto que las restantes fueron afectadas en menor proporción: Vegetación Arbórea (6,7 %), Agua (0,7 %), y Cultivos (0,6 %), mientras que Área Construida no registro afectación dentro de la reserva.

Tabla 5. Clases afectadas por los incendios. Marzo del 2022 (valores expresados en hectáreas y porcentajes).

Clase	Superficie afectada (ha)	%
Agua	2.163,09	0,74
Vegetación Arbórea	19.641,44	6,71
Vegetación Inundada	71.969,50	24,60
Cultivos	1.704,60	0,58
Área Construida	6,73	0,0
Pastizales	197.028,75	67,36

Fuente: Elaboración propia.

Estos valores, refuerzan la idea de que las categorías Pastizal y Vegetación Inundada fueron las más afectadas, debido a que -en términos relativos- son las que presentan mayor superficie dentro de la Reserva Natural del Ibera.

CONSIDERACIONES FINALES

Aunque los incendios producidos a finales de 2021 y principios de 2022 tuvieron un alcance regional, su mayor impacto se produjo en la Provincia de Corrientes debido a lo extenso en duración y la superficie afectada, particularmente en la Reserva Natural Iberá. En este sentido, cabe señalar que el 23 % de la superficie de la Reserva fue afectada por los incendios.

La distribución de esa superficie entre los departamentos incluidos en la Reserva, indica que los más afectados fueron Ituzaingó y San Miguel con el 72 % y el 11 % respectivamente. Con valores menores al 8 %, la superficie restante afectada por los incendios se distribuye entre los departamentos Concepción, Mercedes, Santo Tomé, San Martín y San Roque.

Retomando uno de los objetivos planteados referido a las coberturas de la tierra más afectadas por los incendios, se puede afirmar que fueron: Pastizal (67,4 %), Vegetación Inundable (24,6 %) y Vegetación Arbórea (6,7 %). Estas proporciones guardan estrecha relación con las coberturas que mayor superficie tienen dentro de la Reserva. Es posible realizar estas afirmaciones en base a que la cartografía de área quemada generada goza de un 89 % de confiabilidad.

Con las lluvias posteriores al evento y disminución de las temperaturas por el cambio de estación, la vegetación mostro cierta recuperación. Sin embargo, los efectos sobre la fauna autóctona son difíciles de evaluar -no es observable por medio de imágenes satelitales-, aunque se podría inferir teniendo en cuenta que las coberturas más afectadas (pastizal y área inundable) representaron casi el 92 % de la superficie quemada, y son el hábitat natural de numerosas especies aéreas, terrestres, anfibia y acuáticas.

En general, se puede afirmar que localizar y cuantificar el área quemada y las coberturas afectadas por el fuego, pueden ayudar a los decisores en la gestión sostenible de estos espacios de conservación, de cara a sus posibilidades de recuperación y de prevención ante eventos de similares características. Esto sin dudas, debe darse en el marco de políticas nacionales y provinciales destinadas al ordenamiento y planificación del territorio.

Con respecto a las futuras líneas de trabajo consideramos que, podría ser de interés analizar los focos de calor por medio de imágenes de alta resolución temporal -MODIS por ejemplo-, en la búsqueda de patrones que ayuden a comprender la dinámica de los incendios. Estos resultados podrían tener un impacto favorable en los modelos de comportamiento y predicción del fuego desarrollados en distintas partes del mundo.

AGRADECIMIENTOS

PI 21H009 SGCyT-UNNE: Empleo de Tecnologías de la Información Geográfica para la generación y análisis de las coberturas de la tierra en la Provincia de Chaco para 1990 y 2020. Resol. 776/21-CS UNNE.

BIBLIOGRAFÍA

Aramburu Maqua, M.P. y Escribano Bombín, R. (2006). Guía para la elaboración de estudios del medio físico. *Ministerio de Medio Ambiente*. Editorial Secretaría General Técnica, Centro de Publicaciones. Madrid, España. 904 p.

Bowman DM, Balch J, Artaxo P, Bond WJ, Cochrane MA, D'Antonio CM, Defries R, Johnston FH, Keeley JE, Krawchuk MA, Kull CA, Mack M, Moritz MA, Pyne S, Roos CI, Scott AC, Sodhi NS, Swetnam TW, Whittaker R (2011). The human dimension of fire regimes on Earth. *J Biogeogr.* Dec; 38(12): 2223-2236.

Chuvieco, E. (1996). *Fundamentos de Teledetección Espacial*. 2^{da}. edición. Rialp, Madrid. 450 p.

Chuvieco, E. (2008). Earth Observation of Global Change. The Role of Satellite Remote Sensing in Monitoring the Global Environment. *Dordrecht*, Netherlands: Springer. doi: 10.1007/978-1-4020-6358-9.

Chuvieco, E. (2016). *Fundamentals of Satellite Remote Sensing. An environmental approach*. 2nd Edition. CRC Press Taylor & Francis Group. Boca Raton, USA. 478 p.

Fundación Flora y Fauna Argentina (2019). Gran Parque Iberá. Planificación y gobernanza 2019-2029.

Bruniard, E. (1997). Atlas Geográfico de la Provincia de Corrientes. Tomo I: El Medio Natural. *Geográfica 8. Revista del Instituto de Geografía*. Facultad de Humanidades. Universidad Nacional del Nordeste. Resistencia, República Argentina.

Jensen, J. R. (2018). *Introductory Digital Image Processing*. 4th Edition. Pearson. 623 p.

Lampin-Maillet, C, Long-Fournel, M, Ganteaumea, A, Jappiot M, and J.P. Ferrier, J (2011). Land cover analysis in wildland–urban interfaces according to wildfire risk: A case study in the South of France. *Forest Ecology and Management*, 261, 2200–2213.

Landis, R. y Koch, G. (1977) The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. *Biometrics*, Vol. 33, N°1, pp. 159-174. Disponible en: <https://www.jstor.org/stable/2529310>.

Lípori, M. y De Oto, L. (2012). Características Ambientales y Áreas Protegidas de la Ecorregión Esteros del Iberá. En: Instituto Geográfico Nacional (Ed) *El Ojo del Cóndor*, 2, Abril 2012, 14-20. ISSN: 1853-9505

Mas, J. F., Reyes Díaz-Gallegos, J. y Pérez Vega, A. (2003). Evaluación de la confiabilidad temática de mapas o de imágenes clasificadas: una revisión. *Investigaciones Geográficas*, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM, Núm. 51, pp. 53-72

Mayaux, P., Hugh, E., Brink, A., Achard, F and Belward, A (2008). Remote Sensing of Land-Cover and Land-Use Dynamics. In: Chuvieco, E (Ed) *Earth Observation of Global Change. The Role of Satellite Remote Sensing in Monitoring the Global Environment*. Department of Geography, University of Alcalá, Spain. Springer. Pp:85-108

Molo, C. y Cardozo, O. (2021). Análisis de la dinámica de las coberturas de la tierra en el este chaqueño entre 2015 y 2019. *Revista Geográfica Digital*, 2021, Vol. 18, N° 36, 135-148 pp.

Olaya, V. (2020). Sistemas de Información Geográfica. ISBN: 978-1-71677-766-0. Creative Commons (CC BY). 642 p. <https://volaya.github.io/libro-sig/>

Orfeo, O (2012). Las Aguas Brillantes de Corrientes. En: Instituto Geográfico Nacional (Ed) *El Ojo del Cóndor*, 2, Abril 2012, 7-9. ISSN: 1853-9505

Parente, J., Tonini, M., Stamou, Z., Koutsias, N., Pereira, M. (2023). Quantitative Assessment of the Relationship between Land Use/Land Cover Changes and Wildfires in Southern Europe. *Fire*, 6, 198.

Pina, A. (2015). Técnicas Estadísticas aplicadas a la Calidad de Productos Cartográficos. Presentación realizada en el marco de la carrera Doctorado en Agrimensura de la Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas de la Universidad Nacional de Catamarca (UNCa). San Fernando del Valle de Catamarca, Catamarca. 1 al 3 de septiembre de 2015.

Quignard, I., Sione, W. y Maldonado, F. (2017). Análisis Multitemporal de la Distribución Espacial d Incendios en la Cobertura Vegetal de la Cuenca del Río Gualaguay, Entre Rios, Argentina. *Geoambiente On-Line. Revista Eletrônica do Curso de Geografia*. 28, 33-51.

Saucedo, G.I., Perucca, A.R. y Kurtz, D.B. (2023). Las causas de los incendios de principios del año 2022 en la provincia de Corrientes. *Ecología Austral*, 33(1), 273–284. <https://doi.org/10.25260/EA.23.33.1.0.2020>

Smichowski, H. y Contreras, F.I. (2024). Aplicación de Google Earth Engine en el análisis preliminar de la severidad de incendios en la Reserva y Parque Nacional, Argentina. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 27(1). <https://doi.org/10.31910/rudca.v27.n1.2024.2464>

Vilar, L., Herrera, S., Tafur-García, E., Yebra, M., Martínez-Vega, J., Echavarría, P. y Martín, M. P. (2021). Modelling wildfire occurrence at regional scale from land use/cover and climate change scenarios. *Environmental Modelling and Software*, 145. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2021.105200>

© Laura Fabiana Gómez y Osvaldo Daniel Cardozo.

Gómez, L.F.; Cardozo, O.D. (2024). Los incendios y su impacto sobre las coberturas de la tierra en la Reserva Natural Iberá, Corrientes. ***Geografía y Sistemas de Información Geográfica (GeoSIG)***. 16(30) Sección I:1-18

On-line: www.revistageosig.wixsite.com/geosig

Recibido: 29 de junio de 2024

Aceptado: 23 de octubre de 2024