

Geomática aplicada al régimen de incendios en las Ecorregiones de la Provincia de Entre Ríos

Geomatics applied to the fire regime in the ecoregions of the Province of Entre Ríos

Lisandra P. Zamboni*, Fernando R. Tentor*, Rafael Villanueva Sánchez* y Virginia Piani*



Fecha de recepción: 11/10/2024

Fecha de aceptación: 29/11/2024

Resumen

La provincia de Entre Ríos está integrada por cuatro ecorregiones: la del Espinal (Espinal Entrerriano), la Pampa (Pampa Mesopotámica), la del Delta e Islas del Paraná y la de Esteros del Iberá. Mediante el uso de herramientas de geomática y teledetección, entre los años 2001 y 2021 se estudiaron las características de régimen de incendios en esas ecorregiones, mayormente desconocidas hasta entonces, cuyos resultados se sintetizan en este trabajo. Durante ese período se registraron 9.806 incendios que afectaron 1.764.750 hectáreas (23% del territorio). En su mayoría fueron de corta duración (45 horas o menos), si bien la ecorregión Delta e Islas del Paraná (donde se concentró el 93% de los mismos) registró los de mayor duración y tamaño promedio. Gran parte de esos incendios ocurrieron en ecorregiones vinculadas a cursos de agua, lo que refuerza la necesidad de gestión diferenciada según las características de cada ecorregión. Se subraya, por otra parte, la importancia de mejorar la precisión en la detección y monitoreo de incendios mediante plataformas como Google Earth Engine y el uso de productos MODIS MCD64A1. Se recomienda, por último, profundizar en la evaluación de la magnitud, recurrencia y estacionalidad de los incendios, además de implementar estrategias de restauración y control en zonas críticas.

Palabras clave: Área quemada; Globfire; Google Earth Engine; Series temporales.

Abstract

The province of Entre Ríos comprises four ecoregions: Espinal (Espinal Entrerriano), Pampa (Pampa Mesopotámica), Delta and Paraná Islands, and Esteros del Iberá. Through the use of

* Doctor en Ciencias para el Desarrollo, la Sustentabilidad y el Turismo; Profesor Investigador Titular A, Universidad Tecnológica de Bahía de Banderas, Blvd. Nuevo Vallarta 65, Col Nuevo Nayarit, Bahía de Banderas, México. Dirección de contacto: rvillanueva@utbb.edu.mx

* Centro Regional de Geomática, Facultad de Ciencia y Tecnología (FCyT-UADER) Ruta 11 Km 10.5, Oro Verde, Entre Ríos, Argentina. Dirección de contacto: zamboni.pamela@uader.edu.a

geomatics and remote sensing tools, between 2001 and 2021 the characteristics of the fire regime in these ecoregions were studied, until then largely unknown, the results of which are synthesized in this work. During that period, 9.806 fires were recorded that affected 1.764.750 hectares (23% of the territory). Most of them were of short duration (45 hours or less), although the Delta and Paraná Islands ecoregion (where 93% of them were concentrated) recorded the longest duration and average size. A large part of these fires occurred in ecoregions linked to watercourses, which reinforces the need for differentiated management according to the characteristics of each ecoregion. On the other hand, the importance of improving the precision in the detection and monitoring of fires through platforms such as Google Earth Engine and the use of MODIS MCD64A1 products is highlighted. Lastly, it is recommended to deepen the evaluation of the magnitude, recurrence and seasonality of the fires, in addition to implementing restoration and control strategies in critical areas.

Keywords. *Burned Area, Globfire, Google Earth Engine, Temporal series.*

Introducción

El aumento en la frecuencia e intensidad de fenómenos meteorológicos extremos, con el consecuente incremento de incendios, inundaciones y sequías, ha mostrado una aceleración sin precedentes en los últimos 50 años, si bien las velocidades de los cambios difieren entre regiones y países. Entre las principales causas de estas transformaciones aparecen el cambio en el uso de la tierra y el mar, la explotación directa de organismos, el cambio climático, la contaminación y la intrusión de especies invasoras, así como también ciertas pautas de comportamiento sociales, entre los que se incluyen los hábitos de producción y consumo, las dinámicas y tendencias de la población humana, el comercio, las innovaciones tecnológicas y los sistemas de gobernanza (IPBES, 2019). En este contexto, los incendios han sido caracterizados como uno de los fenómenos impulsores de cambio de importancia mundial con efectos tanto locales como globales (Artés et al., 2019), junto a otros agentes de transformación y degradación de la tierra (Egidi et al., 2020). Si bien se ha avanzado en la identificación y caracterización de los principales impulsores de cambio, las consecuencias de estos efectos en los ecosistemas son aún difíciles de predecir y permanecen aún poco estudiadas. En este escenario, estos temas ocupan un espacio cada vez más relevante en las agendas nacionales e internacionales.

En los últimos años nuestro planeta ha experimentado un aumento de anomalías en la superficie terrestre causadas tanto por factores naturales como por actividades humanas, entre las cuales se destaca la ocurrencia de incendios (Gao et al., 2024). Los incendios generan cambios físicos en los ecosistemas de acuerdo a la magnitud y frecuencia (escala espacial y temporal) en la que se manifiestan. El parámetro intensidad es definido como

el grado del cambio físico que ocurre en un área afectada por un incendio. Las diferencias en algunas características (espectrales, métricas) detectadas en situaciones previas y posteriores a un evento son indicadores de esta intensidad. Por su parte, la frecuencia es definida como la cantidad de registros (ocurrencia) de los eventos singulares en una serie temporal. Indicadores de estos cambios, como los índices de área quemada o los índices de vegetación afectada, son ampliamente empleados para evaluar estos parámetros, ya sea de forma directa a partir de álgebras de bandas, o bien mediante técnicas más sofisticadas que van desde la fusión de datos de diferentes sensores y resoluciones espaciales hasta la aplicación de métodos de clasificación automática (Del Valle et al., 2022).

De este modo, el estudio y seguimiento de patrones temporales y espaciales de los incendios (Zamboni et al., 2013) utilizando productos globales desarrollados a partir de series temporales largas de datos derivados de sensores remotos, como los del Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) (Giglio *et al.*, 2018), cobran vital importancia para comprender las características del régimen de incendios en diferentes regiones del mundo. El desarrollo y disponibilidad de productos y recursos derivados de información provista por sensores remotos, así como de los servidores de datos geográficos y plataformas de computación y procesamiento de datos en la nube como Google Earth Engine (Gorelick et al., 2017) ha sido notable en los últimos años para diferentes aplicaciones: estudio de cambios de la cobertura y usos del suelo, deforestación y degradación del suelo, entre otros. Ha sido demostrado, asimismo, el potencial de estos recursos para la detección de anomalías empleando metodologías multiescales basadas en teledetección (Anaya Acevedo et al., 2018; Gao et al., 2024).

Entre los productos globales de mayor utilización como indicador de áreas quemada se encuentra la Colección MCD64A1 de MODIS, proporcionada por la NASA, disponible de forma libre y gratuita en la plataforma de datos en la nube Google Earth Engine (Colección JRC_GWIS_GlobFire_v2_DailyPerimeters) como parte del producto GlobFire (GF). Este producto está basado en un algoritmo que integra las relaciones espaciales y temporales de los parches de área quemada en una región (Artés et al., 2019), por lo que integra características del comportamiento de los incendios. Así, GF reconoce más de un punto de ignición inicial y delimita como un mismo parche a áreas quemadas que no se encuentran contiguas espacialmente, cobrando importancia en áreas fragmentadas y atendiendo aspectos contextuales que superan el análisis tradicional de “pixel a pixel” ampliamente utilizado. Áreas quemadas adyacentes se interpretan como incendios diferentes si la dis-

tancia temporal entre ellas de más de 5 días. Estas bondades de GF permiten caracterizar diferentes tipos de incendios mediante el análisis contextual y multiescalar del comportamiento del fuego.

A nivel regional se han logrado definiciones, marcos de trabajo y estimaciones cada vez más precisas a lo largo de las últimas décadas empleando de manera sinérgica información de sensores remotos y de terreno principalmente para algunas ecorregiones de la Provincia de Entre Ríos, como la del Delta e Islas del Río Paraná. Sin embargo, se requiere aún la adaptación y revisión de los productos globales, principalmente en lo que se refiere al estudio del régimen de incendios para diferentes ecosistemas de la provincia.

La provincia de Entre Ríos está representada por cuatro ecorregiones diferenciadas: la del Delta e Islas del Río Paraná, la de los Esteros del Iberá, la del Espinal, y la de la Pampa, cuyas características determinan las formas de manejo de la tierra, así como las dinámicas de los principales impulsores de cambio. De esta manera, el enfoque de trabajo por ecorregiones fortalece la mirada regional y funcional del territorio, contribuyendo a la toma de decisiones basada en información y el conocimiento de los ecosistemas en la medida en que se contemplen criterios como las unidades de paisaje y el clima (Burkart et al., 1999).

Si bien existe bibliografía sobre la relación entre los incendios y las ecorregiones de la provincia, y su relación con los procesos de cambio en el uso del suelo, el Espinal Entrerriano (Rodríguez et al., 2023), la Pampa Mesopotámica (Quignard et al., 2017) o la porción entrerriana de los Esteros del Iberá han sido poco estudiadas desde esta perspectiva. En el caso de la porción del Delta e islas del Paraná, en cambio, se registran importantes contribuciones (Aceñolaza et al., 2008; Sione et al., 2009; Marchetti y Aceñolaza, 2011; Ipiña et al., 2012; Salvia et al., 2012; Aceñolaza, Sirolli y Kalesnik, 2012; Zamboni et al., 2013, 2017; Castro Díaz et al., 2018; Kandus et al., 2019; Preliasco, 2019; MAyDS, 2020, entre otras).

Iniciativas como el Plan Integral Estratégico para la Conservación y Aprovechamiento Sostenible del Delta del Paraná (PIECAS-DP) y, en su ámbito de funcionamiento, el Programa Faros de Conservación (APN, 2021), así como documentos de Planes de Manejo de las áreas protegidas existentes en el territorio (Giacosa, 2019), aportan valiosos instrumentos para la evaluación e implementación de acciones coordinadas interjurisdiccionalmente para la gestión del territorio, siendo necesario garantizar su funcionamiento continuo.

En cuanto al estudio de los incendios, para la ecorregión del Delta e islas del Río Paraná en su tramo inferior, también conocido como Complejo Fluvio Litoral del Río Para-

ná (CFLRP), el enfoque de análisis contextual a partir de la agrupación de datos de diferentes sensores remotos de anomalías térmicas permitió comprender a grandes rasgos los principales patrones espaciotemporales de los incendios (Zamboni et al., 2013). De acuerdo a estos autores, para el período 2004-2008 los eventos de incendios se caracterizaron por su corta duración (tiempo entre el primer y el último foco de calor detectado para un grupo: entre 1 y 35 horas, con un promedio de 2 horas para los incendios en temporadas normales, y alcanzando las 100 hs en temporadas extraordinarias como en 2008) y pequeño tamaño (cantidad de focos de calor contabilizados para un grupo: entre 1 y 500, siendo el promedio 4 en temporadas normales y 12 en temporadas extraordinarias como en 2008), con un patrón primavero-estival de ocurrencia. Cabe señalar que por temporada normal se entiende a aquellos años en los que el número de eventos identificados y la temporalidad de ocurrencia no superan los valores máximos históricos registrados. Para el CFLRP, el año 2008 se caracterizó como extraordinaria (Zamboni et al., 2013). Del mismo modo, MAyDS (2020) registró un total de más de 300.000 Ha quemadas entre enero y septiembre de 2020 para todo el territorio, con más del 50% del área quemada correspondiendo a territorios incluidos en áreas naturales protegidas y cerca de 2000 Ha de bosque nativo. Para el Delta del Paraná entre julio y diciembre de 2020 se quemaron 243.957 Ha (Del Valle et al., 2022).

Materiales y Métodos

Área de Estudio

El trabajo se llevó adelante en la Provincia de Entre Ríos, desde una perspectiva regional y considerando como unidades de análisis y delimitación territorial a las ecorregiones delimitadas para la Argentina (Burkart et al., 1999). Se distinguen, de acuerdo al mencionado autor, cuatro ecorregiones para el territorio provincial (Figura 1):

Ecorregión Delta e Islas del Paraná

Abarca la porción media e inferior del Río Paraná desde la desembocadura del Río Paraguay hasta el estuario del Río de la Plata, formando el corredor fluvial Paraná-Paraguay (SAyDS, 2013; Minotti, 2018; Preliasco, 2019). El componente fluvial se presenta en esta ecorregión como el principal factor modelador, preponderando sobre los factores continentales (clima, geología) de la región (ecorregión azonal). En cuanto a su fisonomía,

esta ecorregión está conformada por un paisaje dominado por islas bajas e inundables, conectadas por los cauces principales de grandes ríos y cursos de agua menores, a los que se suman grandes cuerpos de agua que generan microclimas que han permitido el establecimiento de comunidades con representantes subtropicales. La vegetación presenta un patrón típico con bosques y arbustales en los albardones o zonas más altas, mientras que en zonas más bajas se distribuyen pajonales, pastizales, hidrófitas y macrófitas. Los bosques son generalmente de baja diversidad o monoespecíficos (Aceñolaza et al., 2008) y la fauna asociada es rica en comparación a las ecorregiones aledañas como la Pampa o el Espinal, destacándose la importancia de la ictiofauna.

En la provincia de Entre Ríos esta ecorregión se encuentra ampliamente representada, formando parte del Complejo Fluvio Litoral del Río Paraná, caracterizado por la influencia fluvial y mareal.

Espinal

En la provincia de Entre Ríos esta ecorregión posee una amplia representación. Rodeando a la Pampa, se encuentra representado por una llanura plana/suavemente ondulada con bosques bajos, sabanas y pastizales, con un alto grado de transformación debido a un uso de suelo agrícola intensivo. Dada la extensión de esta ecorregión, el clima es variable: con zonas cálidas y húmedas en su extremo norte, y templado y seco hacia el suroeste. Por tal motivo se diferencian claramente subregiones o distritos; el correspondiendo a la provincia de Entre Ríos es el distrito del Ñandubay, también denominado Espinal mesopotámico. La vegetación característica está representada por bosques bajos, con especies leñosas xerófilas, y sabanas alternando con pastizales principalmente de origen pampeano. La fauna de esta ecorregión se asocia a la de la ecorregión pampeana.

El espinal mesopotámico es una de las regiones de mayor tasa de transformación en cuanto al uso del suelo asociado a la expansión de la frontera agrícola. Esto ha generado el aumento de la fragmentación de sus ecosistemas, la disminución de áreas de bosque y la introducción de especies exóticas invasoras (fenómeno de alta relevancia). Sumado a esto, la frecuencia y severidad de disturbios como los incendios, se han intensificado. En este contexto, si bien existen parches en buen estado de conservación, las tasas de mortalidad de árboles en bosques nativos en esta ecorregión, así como sus causas, no han sido suficientemente estudiadas, poniendo de manifiesto la necesidad de contar con recursos para la evaluación de las prácticas de manejo de los bosques (Rodríguez et al., 2023).

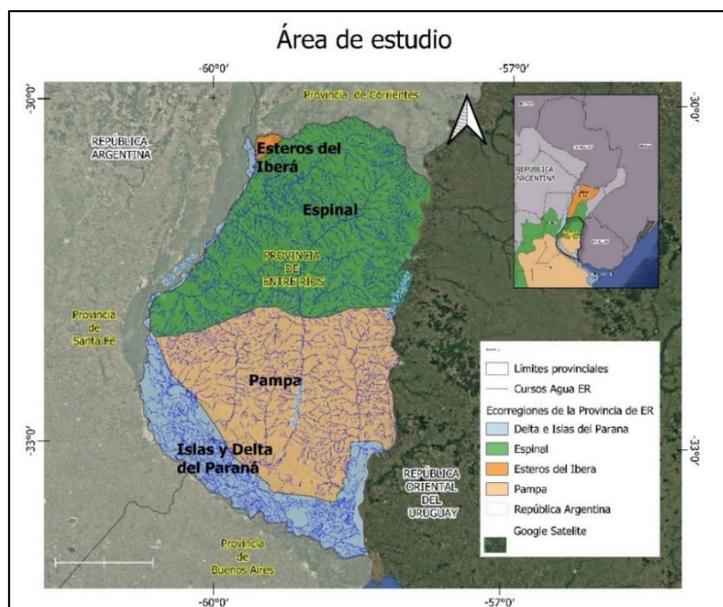
Pampa

En la provincia de Entre Ríos esta ecorregión posee una amplia representación. Se caracteriza por su relieve suave principalmente en la provincia de Entre Ríos. Presenta un clima templado húmedo a subhúmedo. Posee la red hidrográfica con mayor desarrollo en la provincia de Entre Ríos y en la porción norte de la ecorregión (sistema del río Salado). Los suelos poseen una alta aptitud agrícola, con zonas de drenaje deficiente debido a la gruesa textura del suelo. Originalmente la formación vegetal característica es la del pastizal denominada flechillar, si bien se distinguen zonas con especies halófitas. La porción entrerriana se denomina Pampa Entrerriana o Pampa Mesopotámica y se caracteriza por la asociación con árboles. La fauna se destaca por la presencia de grandes herbívoros, actualmente con un alto grado de reducción.

Esteros del Iberá

En la provincia de Entre Ríos esta ecorregión posee una escasa representación, que se reduce a una depresión asociada al paleocauce del Río Paraná y a los esteros del Iberá y otros esteros, así como a ecosistemas de humedales y acuáticos, como embalsados, lagunas, bañados. Los suelos son hidromórficos al igual que en la ecorregión de Delta e Islas del Paraná. La vegetación está dominada por pirizales y vegetación palustre, praderas de herbáceas acuáticas y bosques de la selva paranaense. La fauna presenta una alta riqueza con la presencia de especies paranaenses y chaqueñas.

Figura 1. Área de estudio: provincia de Entre Ríos y sus ecorregiones y principales cursos de agua

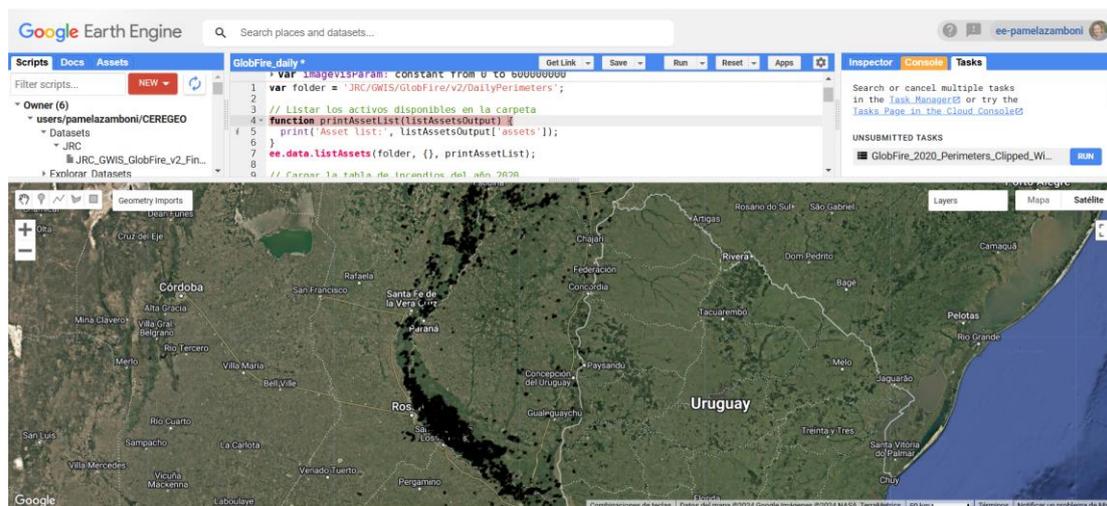


Metodología

Plataformas y datos utilizados

El principal entorno de trabajo para la captura y procesamiento de datos fue la plataforma de datos en la nube Google Earth Engine (GEE) (Gorelik et al., 2017), tal como se observa en la Figura 2. La base de datos geográfica (BDG) se construyó a partir de la colección MCD64A1 empleando el *script*, criterios y metodologías de GlobalFire (Artés et al., 2019). Los parámetros definidos por defecto (para delimitar las áreas quemadas de acuerdo a criterios de continuidad espacio-temporal descritos en la introducción) fueron utilizados y se recortó el procesamiento para el área de estudio. Se obtuvo una base de datos de AQ para el período 2001 a 2021 con información sobre la superficie y duración de cada evento. Los resultados fueron exportados en formato vectorial a un repositorio donde se descargaron y almacenaron.

Figura 2. Entorno de trabajo mediante la plataforma GEE. Se aprecia en detalle la colección de datos analizada, el *script* de procesamiento y los procesos (consola de tareas)



Se utilizaron datos auxiliares ingestados como geoservicios WFS desde un proyecto de Sistema de Información Geográfica (SIG), utilizando el software de libre distribución QGIS. Se utilizó como sistema de referencia el EPSG5347 (Posgar F5). Se importaron así al proyecto SIG capas de ecorregiones (IDE Ambiente- Subsecretaría de Ambiente de la Nación), cursos de agua, límites provinciales (Instituto Geográfico Nacional), entre otras. Del mismo modo, se utilizaron capas base como Google Satélite. Se realizaron análisis espaciales, se aplicaron herramientas de edición, se comprobó la topología y se aplicaron técnicas de geoestadística en el entorno del proyecto SIG- QGIS (QGIS, 2024). Se elaboró cartografía temática empleando el editor de mapas de QGIS.

A los fines de analizar posibles patrones espaciales de ocurrencia de incendios, se generó un área buffer para la capa de cursos de agua de la provincia, considerando un área de 300 mts a cada lado de la línea que representa dicho curso. Se analizó la ocurrencia de incendios en estas áreas.

Análisis estadísticos

Se obtuvieron y analizaron los estadísticos descriptivos básicos (media, mediana, coeficiente de variación - CV). Se realizaron pruebas para analizar la homocedasticidad (prueba de Shapiro Wilks modificada). Las variables presentaron una distribución no normal de la varianza ($p < 0.001$) por lo que fueron analizadas mediante la prueba de Kruskal Wallis para determinar la existencia o no de diferencias significativas ($p < 0.001$; alfa = 0.05). Se utilizó para todos los análisis estadísticos el software Infostat (Licencia CeReGeo).

Resultados y Discusión

Cantidad de incendios y superficies quemadas

De acuerdo a los datos extraído de GlobFire, en la provincia se registraron 9.806 incendios en el período 2001 -2021 (Tabla 1 y Figura 3). Para la ecorregión del Delta e Islas del Paraná se registraron más de 5.700 de esos eventos, siendo éstos de un tamaño medio de 229 Ha (con un mínimo de 0,004 Ha y tamaño máximo de 75.072 Ha), una duración promedio de 47 horas (con un mínimo de menos de 1 hora y un máximo de 1.464 horas). En el período estudiado se quemó el 94% del territorio, si bien algunas áreas presentaron recurrencia, lo que significa que un mismo sitio se quemó más de una vez. Los tamaños de incendios de esta ecorregión fueron significativamente mayores al resto (KW: $n = 9.806$, $H = 294$, $p < 0,001$; $\alpha = 0,05$). Las ecorregiones del Espinal (2.134 eventos, tamaño medio de AQ de 95 Ha, una duración máxima de 576 hs y un 6% de la superficie quemada) y de la Pampa (1.874 eventos, tamaño medio de AQ de 127 Ha, una duración máxima de 744 hs y un 8% de la superficie quemada) resultaron relativamente similares en sus patrones. La ecorregión de Esteros del Iberá, si bien escasamente representada en la provincia (Figura 3), presentó un 33% de su territorio quemado (equivalente a 12.944 Ha) con 74 eventos.

El área quemada en la provincia de acuerdo a los datos de GlobFire para 2001-2021 fue de 1.764.750 Ha, representando el 23% del territorio provincial. El 74% (1.311.356 Ha) de las áreas quemadas corresponde a la ecorregión del Delta e Islas del Paraná, y el 13%,

11% y 3% respectivamente a las ecorregiones de la Pampa, el Espinal y los Esteros del Iberá (véase la Tabla 1).

Tabla 1. Cantidad y tamaño de incendios para el total de la Provincia de Entre Ríos, por ecorregión

Ecorregión	Superficie en % superficie provincial (Ha)	Cantidad de Incendios	Superficie Quemada (Ha)			
			Tamaño Medio de AQ (Ha)	Tamaño Mínimo AQ (Ha)	Tamaño Máximo AQ (Ha)	Total AQ (Ha)
<i>Delta e Islas del Paraná</i>	1.398.153	5.724	229	0,004	75.072	1.311.356
<i>Espinal</i>	3.428.774	2.134	95	0,1	3.002	202.924
<i>Esteros del Iberá</i>	39.726	74	175	2	2.316	12.944
<i>Pampa</i>	2.971.729	1.874	127	0,001	15.497	237.526
Total Pcia. ER	7.838.382	9.806	180	0,0013	75.702	1.764.750

Datos extraídos de GlobFire para el período 2001-2021

Tabla 2. Cantidad y duración de incendios para el total de la Provincia de Entre Ríos, por ecorregión

Ecorregión	Superficie en % superficie provincial (Ha)	Cantidad de Incendios	Duración (horas)			
			% de ecorregión afectada	Media (horas)	Mínima (horas)	Máxima (horas)
<i>Delta e Islas del Paraná</i>	1.398.153	5.724	94	47	<1	1.464
<i>Espinal</i>	3.428.774	2.134	6	43	<1	576
<i>Esteros del Iberá</i>	39.726	74	33	56	<1	576
<i>Pampa</i>	2.971.729	1.874	8	42	<1	744
Total Pcia. ER	7.838.382	9.806	23	45	<1	1.464

Datos extraídos de GlobFire para el período 2001-2021

Duración de los incendios

Los incendios en la provincia de Entre Ríos se caracterizan por tener una duración corta a mediana, siendo en promedio de 45 hs (CV 185) con una duración mínima de 1 hora y una duración máxima de 1.464 hs (aproximadamente 61 días), sin presentar diferencias significativas entre las ecorregiones (KW: n= 9806, H= 9,94, p=0,9926; α =0,05) (Tabla 2). En la ecorregión del Delta e Islas del Paraná, los incendios con una duración de 24 hs o menos alcanzan el 67% del total de eventos allí registrados. En el Espinal el porcentaje es del 63% y en la Pampa del 66%, mientras que en los Esteros del Iberá es de un 53% y un

15% restante registra una duración de 48 hs o menos. Estos resultados coinciden con lo manifestado para el CFLRP (Zamboni et al., 2013). Resulta de especial interés el análisis de la ocurrencia temporal y espacial de los incendios que, por su duración, se encuentran por encima de estos valores umbrales. Este resultado refleja la existencia de eventos de larga duración principalmente en la ecorregión del Delta e Islas del Paraná, que requieren un mayor nivel de atención para su gestión. Es crucial la identificación espaciotemporal de estos eventos.

Tamaño de los incendios

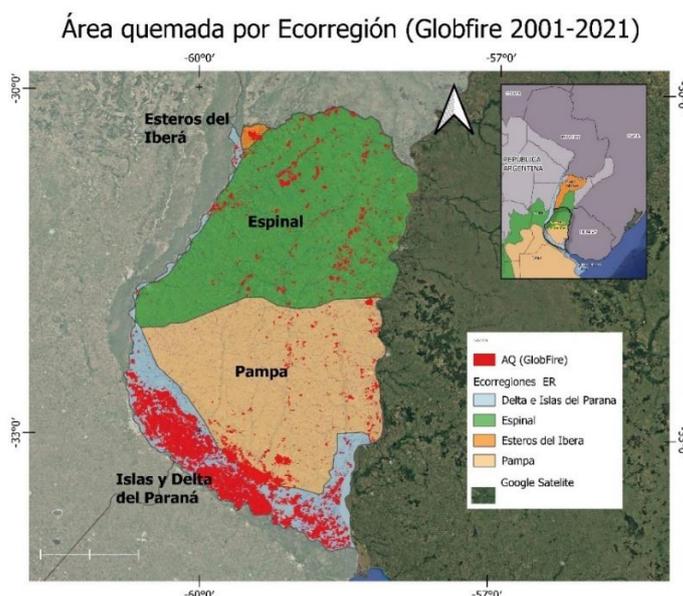
Los tamaños de los incendios, representados mediante la superficie de área quemada de cada polígono diferente en cada ecorregión analizada, difirieron significativamente tal como se mencionó previamente. Para la provincia el tamaño medio de AQ fue de 180 Ha, mientras que para la ecorregión del Delta e Islas del Paraná el tamaño medio fue de 229 Ha (con un CV de 0,07 Ha) y para la ecorregión de Esteros del Iberá fue de 175 Ha (CV=0.02 Ha). Las restantes ecorregiones presentaron tamaños medios inferiores a las 130 Ha. Estos resultados muestran que las dos ecorregiones asociadas a sistemas fluviales presentan incendios de mayor tamaño. De todos modos, cabe destacar lo expresado por Del Valle y colaboradores (2022) sobre la sobreestimación de áreas con niveles fluctuantes de agua, ya que éstas pueden ser clasificadas erróneamente como quemadas debido a la similitud espectral entre suelos oscuros ricos en materia orgánica y carbón. La vegetación de la ecorregión de Delta e Islas del Paraná (Aceñolaza et al., 2004) presenta ciertas características, como la presencia de bosques en zonas altas, menos conectadas a los cursos de agua, que en determinadas condiciones (sequía) o situaciones de manejo del suelo (ausencia de ganadería, etc.) pueden contribuir a la ocurrencia de incendios, si bien el combustible no presenta una alta calidad (Zamboni et al., 2017).

Patrones espaciales – relación entre la ocurrencia de incendios y cursos de agua

Para un área buffer de 300 mts. a cada lado de las líneas que representan los principales cursos de agua de la provincia, se realizó un conteo de las áreas quemadas contenidas parcial o totalmente en estas superficies. Se registraron 748 incendios en estas zonas, con 71.921 Ha quemadas. De éstos, 603 eventos (70.085 Ha, es decir, un 93% del AQ) se asociaron a la ecorregión del Delta e Islas del Paraná. Cabe destacar que 467 incendios se asociaron a arroyos como los A° Laureles, Tigre, Dorado, de las Lechiguanas, Paranacito, entre

otros; 96 estuvieron asociados a ríos como el Paraná Pavón, Paraná Guazú, Ibicuy y Victoria, y 31 a canales de riego. En la ecorregión del Espinal se identificaron 101 incendios, con un AQ de 3.350 Ha, destacándose el Arroyo Feliciano con más de 3.000 Ha quemadas con un tamaño medio de 32 Ha por incendio. En la ecorregión de la Pampa se registraron 43 incendios con un AQ total de 1.477Ha, asociadas a arroyos y canales de riego.

Figura 3. Cartografía de incendios (Área Quemada) de acuerdo a Globfire, por ecorregión. Las áreas quemadas representan un único evento de incendio y su delimitación responde a criterios contextuales espaciotemporales



Consideraciones finales

Los resultados de este trabajo brindan valiosa información desde una perspectiva regional y multiescalar para caracterizar el régimen de incendios en diferentes ecorregiones de la Provincia de Entre Ríos empleando herramientas y recursos de geomática. Se sintetizan a continuación algunos de los principales aportes y consideraciones finales.

En cuanto al régimen de incendios en la Provincia de Entre Ríos, para el período 2001-2021 se registraron 9806, eventos, de acuerdo al producto MCD64A1 procesado con el *script* de GlobFire mediante la plataforma de procesamiento de datos en la nube Google Earth Engine, que afectaron un total de 1.764.750 hectáreas (23% del territorio provincial). La ecorregión Delta e Islas del Paraná fue el escenario del 93% de estos incendios, con una duración y un tamaño promedio mayores que el resto. La duración promedio fue de 45 horas o menos en las 4 ecorregiones, por lo que en general se caracterizan como incendios de corta duración, si bien en la mencionada ecorregión se registraron incendios de larga duración. Estos resultados coinciden con lo expresado en contribuciones previas principal-

mente para la ecorregión del Delta e Islas del Paraná en cuanto a las características de los incendios y al tipo de combustible.

En relación a los patrones espaciales de los incendios, la mayor parte estuvo asociada a las ecorregiones vinculadas a humedales o cursos de agua, si bien una pequeña proporción de los eventos se registraron en la proximidad de los mismos (300 mts a cada lado de la línea que representa el curso de agua).

Si bien el análisis realizado ha mostrado patrones y características de interés, es imprescindible profundizar en el estudio de aspectos como la magnitud, recurrencia, frecuencia y estacionalidad del régimen de incendios en cada una de estas ecorregiones. En este sentido, cabe destacar la importancia de las herramientas de geomática y teledetección para la identificación y monitoreo de incendios, empleando plataformas como Google Earth Engine y productos como MODIS MCD64A1, lo cual permite un análisis detallado a nivel multiescalar. Sin embargo, es necesario mejorar la precisión en las técnicas de detección y cartografía de AQ, principalmente para detectar y evaluar aquellos eventos de gran magnitud y duración. El notable desarrollo de productos, entornos, metodologías y plataformas de procesamiento de datos en la nube posibilita la adopción de nuevos enfoques de trabajo con alto interés para dar profundidad al estudio de la intensidad de los incendios en diferentes ecorregiones de la provincia de Entre Ríos.

Como parte de este trabajo se han identificado zonas críticas a partir de las cuales es posible diseñar e implementar estrategias de evaluación y control, así como de restauración. Las características identificadas permiten comprender las diferencias de las ecorregiones y su vulnerabilidad, reflejando las variaciones en factores impulsores de cambio, como el tipo de formaciones vegetales, el uso del suelo y las estrategias de gestión del territorio. Queda en evidencia la necesidad de gestión diferenciada de las diferentes ecorregiones de la provincia; es decir de políticas de gestión del fuego adaptadas a las características específicas de cada ecorregión, especialmente en el Delta del Paraná, dado su régimen de incendios y la vulnerabilidad asociada a su proximidad a cuerpos de agua.

Bibliografía citada

- ❖ Aceñolaza P.G, L.P. Zamboni, W.F. Sione y F. Kalesnik. 2008. “Caracterización de la región superior del Complejo Litoral del Río Paraná: grandes unidades de ambiente” (pp. 293-308), Serie Misc *INSUGEO* 17(2).

- ❖ Administración de Parques Nacionales (APN), 2021. GUARDIANES DEL DELTA Guía visual para la identificación de especies del Delta del Paraná. PROGRAMA FAROS DE CONSERVACIÓN. Dirección Nacional de Conservación, 28 pp.
- ❖ Anaya Acevedo, J. A; Rodriguez, A. y W. F. Sione, 2018. “Identificación de áreas quemadas mediante el análisis de series de tiempo en el ámbito de computación en la nube” (pp. 61-73). *Revista de Teledetección* 51.
- ❖ Andela, N.; Morton, D. C.; Giglio, L. y J. T. Randerson, 2019. *Global Fire Atlas with Characteristics of Individual Fires, 2003-2016*. ORNL DAAC, Oak Ridge, Tennessee, USA. <https://doi.org/10.3334/ORNLDAAC/1642>
- ❖ Artés T.; Oom, D.; de Rigo, D.; Durrant, T. H.; Maianti, P.; Libert, G. y J. San-Miguel-Ayanz, 2019. A Global Wildfire dataset for the análisis of fire regimes and fire behaviour. *Nature* 6: 296. | <https://doi.org/10.1038/s41597-019-0312-2>.
- ❖ Burkart, R.; Bárbaro, N.; Sánchez, R. O. y D. A. Gómez, 1999. *Eco-regiones de la Argentina*, CABA, Secretaria de Ambiente y Desarrollo Sustentable-ANP, 42 pp.
- ❖ Castro Díaz, R.; Zamboni, L. P.; Sione, W. y P. G. Aceñolaza, 2018. “Elementos territoriales claves para la gestión del fuego en el Paraná medio” (pp. 28-30). *El Ojo del Condor* 9.
- ❖ Del Valle, H.; Sione, W. F. y P. G. Aceñolaza, 2022. “Fire Assessment and Monitoring in the Paraná River Delta, Using Radar and Optical Data for Burnt Area Mapping”. *Fire* 2022 5, 190. <https://doi.org/10.3390/fire5060190>
- ❖ Gao, S.; Zhang, J.; Duan, Y. y Q. Wang. 2024. “A Universal Method for Quantitatively Measuring Land Surface Anomaly Intensity Using Multiscale Remote Sensing Features”. *Remote Sens* 16(23), 4397. <https://doi.org/10.3390/rs16234397>
- ❖ Giacosa, B. R., 2019. Plan de Manejo del Sitio Ramsar Delta del Paraná. En: Marta Andelman y David Marcelo Balderrama (eds.) - 1a ed. - Buenos Aires: Fundación para la Conservación y el Uso Sustentable de los Humedales, 352 pp.
- ❖ Giglio, L.; Boschetti, L.; Roy, D. P.; Humber, M. L. y C. O. Justice, 2018. “The Collection 6 MODIS burned area mapping algorithm and product. Remote Sens” (pp. 72-85), *Environ* 217.

- ❖ Gorelick N.; Hancher, M.; Dixon, M.; Ilyushchenko, S.; Thau, D. y R. Moore, 2017. “Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone” (pp. 18-27). *Remote Sensing of Environment* 202 (1): <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>
- ❖ IPBES, 2019. Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. S. Díaz, J. Settele, E. S. Brondízio E.S., H. T. Ngo, M. Guèze, J. Agard, A. Arneth, P. Balvanera, K. A. Brauman, S. H. M. Butchart, K. M. A. Chan, L. A. Garibaldi, K. Ichii, J. Liu, S. M. Subramanian, G. F. Midgley, P. Miloslavich, Z. Molnár, D. Obura, A. Pfaff, S. Polasky, A. Purvis, J. Razzaque, B. Reyers, R. Roy Chowdhury, Y. J. Shin, I. J. Visseren-Hamakers, K. J. Willis, and C. N. Zayas (eds.). IPBES secretariat, Bonn, Germany, 56 pages.
- ❖ Ipiña, A.; Salum, G.; Crinó, E. y R. Piacentini, 2012. “Satellite and ground detection of very dense smoke clouds produced on the islands of the Paraná river delta that affected a large region in Central Argentina” (pp. 966–977), *Adv. Space Res.* 49.
- ❖ Kandus P. y P. Minotti. 2014. Indicadores Georreferenciados de Sustentabilidad Ambiental (ISAg) en humedales, en el Delta del Paraná. Disponible en: https://www2.unsam.edu.ar/humedales/pdf/clima/clima_impacto/ISAg%20IMPACTO_Variabilidad%20y%20cambio%20Climatico.pdf
- ❖ Kandus, P.; Minotti, P.; Morandeira, N. y M. Gayol, 2019. *Inventario de Humedales de la Región del Complejo Fluvio-Litoral del Bajo Paraná. Programa Corredor Azul*. Fundación Humedales / Wetlands International y Universidad Nacional de San Martín. Buenos Aires, Argentina, 202pp.
- ❖ Marchetti, Z. Y. y P. G. Aceñolaza, 2011. “Evaluation of the relationships between floristic heterogeneity of *Panicum prionitis* Ness tal grasslands and the fire history, hydrological regime and soil texture in the Paraná River floodplain, Argentina” (pp. 600–607), *Interciencia* 36.
- ❖ MAyDS, 2020. *Informe de superficies afectadas por incendios en el Delta e islas del Río Paraná Enero – Septiembre 2020*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la Nación, 31 pp. Disponible en: https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/informe_superficies_afectadas_por_incencios_2020_piecas-dp_final.pdf

- ❖ Minotti, P., 2018. The Paraná-Paraguay Fluvial Corridor (Argentina) (pp. 785-796). En: Finlayson, C. M.; Milton, G.; Prentice, R. y N. C. Davidson (Eds.); *In The Wetland Book*, Springer: Dordrecht, The Netherland.
- ❖ Multiscale Remote Sensing Features. *Remote Sens.* 2024 16, 4397. <https://doi.org/10.3390/rs16234397>
- ❖ Preliasco, S., 2019. *Programa Corredor Azul: conectando gente, naturaleza y economías a lo largo del sistema de humedales Paraná-Paraguay*. Wetlands International, 101 pp.
- ❖ QGIS, 2024. Development Team. QGIS Geographic Information System. Open Credit Geospatial Foundation. Available online: <http://qgis.osgeo.org>
- ❖ Quignard, I.; Sione, W. y F. D. Maldonado, 2017. “Análisis multitemporal de la distribución espacial de incendios en la cobertura vegetal de la cuenca del río Gualeguay, Entre Ríos, Argentina” (pp. 33-51), *Geoambiente* 28.
- ❖ Rodríguez, S. A.; Zamboni, P. y P. Aceñolaza, 2023. “Mortalidad de árboles en bosques nativos, un proceso cada vez más relevante” (pp. 31-38). *Revista Científica Agropecuaria* 26.
- ❖ Salvia, M. M.; Ceballos, D.; Grings, F. M.; Karszenbaum, H. y P. Kandus, 2012. “Post-Fire effects in wetland environment: Landscape assessment of plant coverage and soil recovery in the Paraná River Delta marshes, Argentina” (pp. 17-37). *Fire Ecology* 8(2), Association for Fire Ecology.
- ❖ Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, 2013. Proyecto GEF 4206 PNUD ARG 10/003. *Inventario de los humedales de Argentina: sistemas de paisajes de humedales del corredor fluvial Paraná Paraguay*. Ed. Laura Benzaquén y colaboradores, 1a ed., 376 pp.
- ❖ Sione W.; Aceñolaza, P.; Zamboni, L. P.; del Valle, H. F.; Serafini, M. C. y J. F. Gallardo, 2009. “La Aplicación de la teledetección en la estimación de las emisiones extraordinarias de CO₂ por quemas de áreas insulares en el Complejo Litoral del Río Paraná (R. Argentina)” (255- 272). En: J. F. Gallardo Lancho (Coord.), *Emisiones de gases con efecto invernadero en ecosistemas Iberoamericanos*. Red Iberoamericana de Física y Química Ambiental, Salamanca.

- ❖ Sirolli H. y F. A. Kalesnik, 2012. “Effects of fire on a forest-grassland ecotone in De La Plata River, Argentina” (pp. 689-700), *Plant Ecology*.
- ❖ Zamboni, L. P.; Tentor, F. R.; Sione, W. F.; Hardtke, L. A.; del Valle, H. F.; Quignard, I. y P. G. Aceñolaza, 2013. “Ecología del fuego en el Complejo Litoral del Río Paraná: estimación de la ocurrencia de incendios a partir de mapas de focos de calor” (pp. 634-641), *Interciencia* 38.
- ❖ Zamboni L. P.; Sione, W. F.; Tentor, F. R. y P. G. Aceñolaza, 2017. “Cartografía de modelos combustibles en el Complejo Fluvio Litoral del Río Paraná a partir de datos de terreno y derivados de sensores remotos” (pp. 65-72), *Scientia Interfluvius* 8 (2).

Cita: Zamboni, L. P.; Tentor, F. R.; Villanueva Sánchez, R. y V. Piani, 2024. “Geomática aplicada al régimen de incendios en las ecorregiones de la Provincia de Entre Ríos” (pp. 85-101), *@rchivos de Ciencia y Tecnología* N° 5, FCyT-UADER, Oro Verde.