

# Impacto de la sequía en los incendios forestales en las Sierras de Córdoba, Argentina

S. Sánchez, R. Zanvettor, M. Grilli y A. Ravelo

## RESUMEN

En las Sierras de Córdoba, el fuego es un factor de perturbación importante, registrándose zonas con alta frecuencia de incendios. Si bien la mayoría de las igniciones responden a causas antrópicas, la actividad del fuego está determinada por una amplia gama de factores. Se analizó el impacto de la sequía, tanto en el corto como largo plazo sobre la actividad de los incendios a partir del Índice Estandarizado de Precipitación (SPI). Para ello, se reconstruyeron 20 años de historia de ocurrencia de incendios y se estimó la superficie quemada en las regiones Sierras del Norte y Sierras del Sur; a partir del producto de área quemada MCD64A1 de MODIS. En particular, se analizaron los años de mayor afectación por incendios (2009, 2013 y 2020), teniendo en cuenta las condiciones de humedad previas a 3, 12 y 24 meses. Diferencias estadísticamente significativas se hallaron entre la ocurrencia de sequías y los registros de incendios y área quemada. Los años más afectados por incendios fueron aquellos bajo condiciones de mayor déficit hídrico. Así lo demuestra la fuerte relación entre los incendios extremos del año 2020 y las condiciones de sequías actuales y antecedentes hídricos de hasta 24 meses.

**Palabras clave:** área quemada; estacionalidad; frecuencia de incendios; índice estandarizado de precipitación (SPI)

S. Sánchez, R. Zanvettor, M. Grilli and A. Ravelo, 2021 Impact of drought on forest fires in the Sierras of Córdoba, Argentina. RADA XII: 37-45

## SUMMARY

Fire is an important factor disturbance in the Sierras de Córdoba, there are areas with high frequency of fires. Although most ignitions respond to anthropogenic causes, fire activity is determined by a wide range of factors. The impact of drought, both in the short and long term, on fire activity was analysed based on the Standardized Precipitation Index (SPI). For this purpose, a 20-year history of fire occurrence and burned area in the Sierras del Norte and Sierras del Sur regions were reconstructed and the MCD64A1 MODIS burned area product was used. Particularly, years with the greatest fire damage (2009, 2013 and 2020) were analysed, taking into account the moisture conditions at 3, 12 and 24 months. Statistically significant differences were found between drought

occurrence and fire and burned area records. The most affected years by fires were preceded by conditions of higher water deficit. This is demonstrated by the strong relationship between extreme fires in 2020 and current and previous drought conditions 24 months ago.

**Key words:** burned area; seasonality; fire frequency; standardized precipitation index (SPI)

S. Sánchez, R. Zanvettor y A. Ravelo: CREAN-IMBIV-CONICET-FCA, Ing. Agr. Félix Aldo Marrone 746, Universidad Nacional de Córdoba, Ciudad Universitaria (CP 5000) Córdoba, Argentina. M. Grilli: CREAN-IMBIV-CONICET-FCA. Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Ciudad Universitaria (CP 5000) Córdoba, Argentina. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Correspondencia a: sofiasanchez@agro.unc.edu.ar

## INTRODUCCIÓN

La actividad de los incendios en las Sierras de Córdoba está controlada principalmente por los humanos (determinando la ignición) y las variables climáticas (determinando la disponibilidad y el contenido de humedad del combustible) (Argañaraz *et al.*, 2015b). Las características del combustible disponible a ser incendiado se rige por factores meteorológicos (Westerling *et al.*, 2006; Macías Fauria *et al.*, 2011). Esta dependencia de la actividad de los incendios en las condiciones meteorológicas a menudo se cuantifica utilizando índices meteorológicos de incendios, pero también utilizando técnicas estadísticas que relacionan directamente las condiciones meteorológicas observadas con la actividad de los incendios forestales (Thompson y Calkin, 2011).

El clima tiene un fuerte impacto en la variabilidad espacial e interanual de la actividad del fuego ya sea de manera directa, a través de las precipitaciones, o indirecta, a través de la cantidad y humedad de los combustibles (Westerling *et al.*, 2006; Van Der Werf *et al.*, 2008; Bradstock, 2010; Bravo *et al.*, 2010; Krawchuk y Moritz, 2011; Argañaraz *et al.*, 2016). La sequía, que combina altas temperaturas y falta de lluvia, aumenta el riesgo de incendios y esto ha sido demostrado en muchas regiones del mundo (Westerling *et al.*, 2006; Abatzoglou *et al.*, 2017; Turco *et al.*, 2017; Holden *et al.*, 2018). En condiciones cálidas y secas, los incendios son más fáciles de encender y propagar y la temporada de incendios se alarga. Esta tendencia podría ir en aumento debido al cambio climático, que ha provocado un aumento en la duración de la temporada de incendios forestales en gran parte del área terrestre (Jolly *et al.*, 2015).

Diversas investigaciones han constatado la asociación entre sequías e incendios a partir del estudio de las distintas características del régimen de incendios. Al efecto de representar la sequía, se han utilizado índices meteorológicos como el Índice Estandarizado de Precipitación (SPI) (McKee *et al.*, 1993) para predecir tanto la ocurrencia de incendios como la cantidad de área quemada (Alvarado *et al.*, 2017; Gudmundsson *et al.*, 2014).

En el centro de Argentina y, particularmente sobre el Bosque Chaqueño, el régimen de fuego es un factor de perturbación importante, registrándose zonas con alta frecuencia de incendios (Argañaraz *et al.*, 2015). La estación seca, sumada a un invierno templado, con temperaturas ocasionalmente altas y vientos fuertes en agosto y septiembre, resultan favorables para la ignición y propagación del fuego (Miglietta, 1994; Agencia Córdoba Ambiente, 2007). Estudios previos indican una asociación entre la superficie de área quemada y condiciones de sequía predominantes en el corto y mediano plazo. Asimismo, la mayor ocurrencia de incendios ha sido asociada a periodos anteriores de mayor humedad utilizando datos de precipitación anual (Argañaraz *et al.*, 2015b; 2016).

La hipótesis de este trabajo es que los periodos con sequías severas y extremas incrementan el riesgo y los daños de la temporada de incendios siempre considerando el carácter antrópico del inicio de los incendios. Para ello, se ha investigado el impacto de las sequías en la actividad de los incendios durante el periodo 2001-2020 y, en particular, los años de mayor afectación (2009, 2013 y 2020) en las Sierras de Córdoba, Argentina.

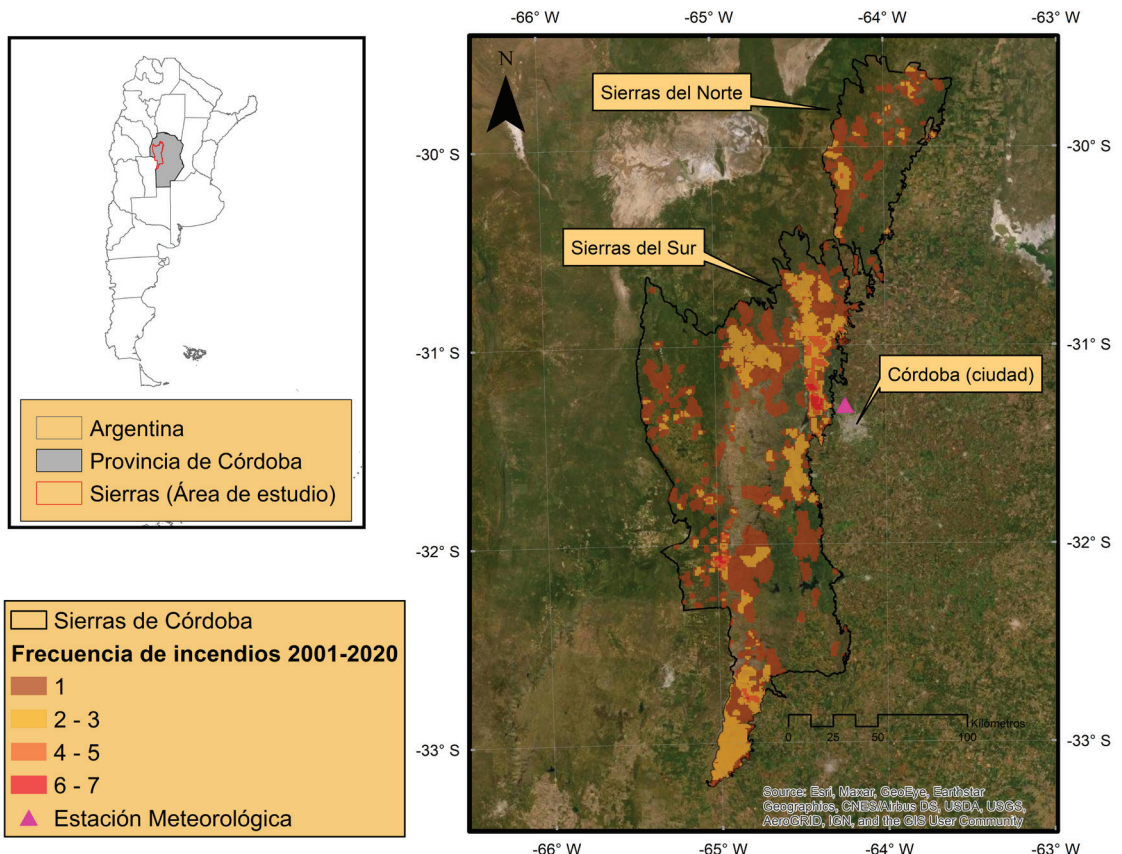
## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

El sector serrano de la provincia de Córdoba forma parte del sistema de las Sierras Pampeanas. Comprende las Sierras del Norte (500 a 1000 msnm), entre los 29° 30' y 30° 40' de Lat. Sur y entre los 63° 45' y 64° 30' de Long. Oeste, y las Sierras del Sur (550 a 2.790 msnm), entre los 30° 45' y 33° 10' de Lat. Sur y entre los 64° 20' y los 65° 25' de Long. Oeste (Figura 1). El clima en las montañas de Córdoba está asociado en gran medida con el gradiente de elevación. En los sectores más elevados la precipitación media anual supera los 900 mm, mientras que en sectores más bajos hay un gradiente regional de lluvia desde el este (precipitación anual 700-800 mm) hacia el oeste (precipitación anual 500-600 mm), concentradas en los meses más cálidos (Capitanelli, 1979). Para delimitar el área de estudio se utilizó como base el mapa "Regiones Naturales de la Provincia de Córdoba" (SAyCC, 2018) (Figura 1).

### Datos de incendios

Para determinar los incendios durante el periodo 2001-2020 se utilizaron dos productos satelitales diferentes, ambos derivados del sensor MODIS a bordo de los satélites AQUA y TERRA de la NASA. El producto de área quemada MODIS MCD64A1, emplea un algoritmo híbrido que utiliza tanto los cambios de reflectancia como las anomalías térmicas asociadas con la quema de biomasa (Giglio *et al.*, 2009). Este procedimiento clasifica cada píxel como quemado o sin quemar, y no se asigna ninguna calificación en caso que no haya suficientes datos disponibles para determinar alguno de los estados anteriores (Giglio *et al.*, 2018). Este producto se procesa desde el año 2000 hasta la actualidad, es de escala mensual, y presenta un cuadrículado global de 500 metros (m). Se utilizaron un total de 480 imágenes correspondientes a los mosaicos H12V12 y H12V11, obtenidas en forma gratuita a partir de la oficina del Servicio Geológico estadounidense (U.S. Geological Survey, 2020). Para validar las



**Figura 1.** Área de estudio y frecuencia de incendios para el periodo 2001-2020 en la región Sierras (Norte y Sur) de la provincia de Córdoba.

áreas detectadas se utilizó, además, el producto de focos de calor de MODIS (MCD14DL) (Giglio *et al.*, 2016). La ubicación geográfica de las fuentes de calor y los datos vectoriales son distribuidos por NASA FIRMS.

A los fines de este trabajo, un evento de incendio se definió al polígono o parche de área quemada mayor a 14 ha. En base a las imágenes mensuales MCD64A1 se creó un compuesto anual y se identificó el mes en que cada incendio ocurrió mediante superposición de los polígonos de áreas quemadas de cada año con los focos de calor de MODIS, a cada polígono se le adjudicó el mes de quema de dicho punto. Finalmente, se determinó la cantidad de incendios mensuales (OI) y el área quemada mensual (AQ) para el periodo en estudio 2001-2020 (N=240).

También se analizó la frecuencia de incendios (número de veces que un mismo sitio se quemó durante los 20 años estudiados). El mapa de frecuencia de incendios se elaboró mediante la superposición de las capas vectoriales de área quemada anual sobre una grilla de 1 km x 1 km, donde a cada celda con alguna parte de su área quemada se le designó "1" y se asignó "0" a las celdas con ninguna proporción de área quemada. Todos los procedimientos y acciones ejecutadas con datos espaciales se realizaron utilizando ArcGis 10.2 (ESRI, 2013).

### Datos climáticos

Los datos de extremos hídricos fueron adquiridos del Centro de Relevamiento y Evaluación de Recursos Agrícolas y Naturales (CREAN). El Índice Estandarizado de Precipitación (SPI), que se basa en una probabilidad estadística de ocurrencia de precipitación, fue propuesto como un indicador temporal y espacial de la sequía (McKee *et al.*, 1993). El SPI se calcula mediante registros de precipitaciones de un período suficientemente largo, cuya distribución de frecuencia es primero ajustada a una distribución Gamma, dado que es la que mejor representa a las series de precipitaciones mensuales. A posteriori, la probabilidad acumulada obtenida con la distribución Gamma es transformada a una distribución normal con una media igual a cero y una desviación estándar igual a uno. El SPI puede ser obtenido para diferentes escalas de tiempo: 3, 6, 12 y 24 meses, lo cual permite evaluar los déficits de precipitación. Los niveles de humedad y de sequedad proporcionados por el SPI mensual en todas sus escalas se asocian con las categorías establecidas en el Atlas de Sequía de la República

Argentina (Ravelo *et al.*, 2014). Los valores considerados normales oscilan entre 0,5 a -0,5; valores entre 1 y 1,5 indican humedad moderada; entre 1,5 y 2, humedad excesiva, y superior a 2, humedad extrema. Los valores negativos denotan períodos secos; -0,5 a -1, sequía incipiente; -1 a -1,5, sequía moderada; -1,5 a -2, sequía severa y valores menores a -2, sequía extrema.

Se analizaron los datos mensuales del SPI para el período 2001-2020 (N= 240) obtenidos por el CREAN para la estación Córdoba Observatorio del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), cuya ubicación se presenta en la Figura 1. El SPI3 se utilizó para describir la condición hidrológica actual; en tanto el SPI12 y el SPI24 para expresar la condición a mediano y largo plazo, respectivamente.

### Análisis estadísticos

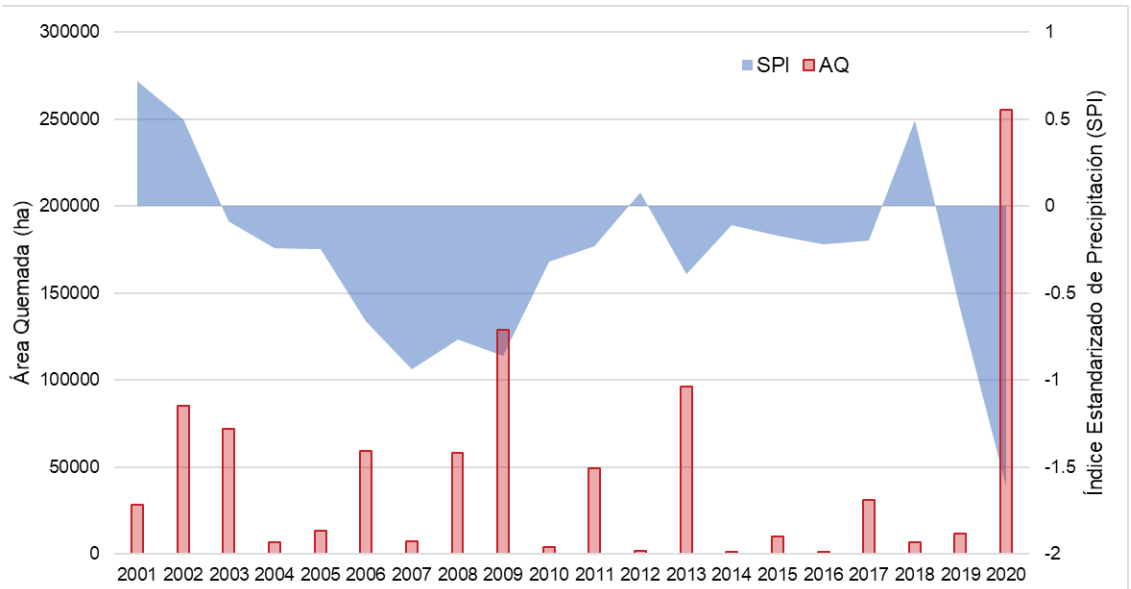
Se exploró y analizó las variables de incendios mensuales (OI y AQ) para caracterizar la región y los años de estudio. Se determinó la estacionalidad de incendios, a partir de un análisis de la varianza no paramétrica de Kruskal Wallis. Se llevaron a cabo sucesivas correlaciones entre los índices de sequía y las variables de incendios. Como los datos no respondían a una distribución normal, se utilizó la prueba no paramétrica de correlación de rango de Spearman, mediante la función `rcorr` del paquete `cor.test` del software estadístico R 3.6.1 (Development Core Team, 2019).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Estacionalidad y frecuencia de incendios

Durante el periodo 2001-2020 se produjeron en las Sierras cordobesas 324 eventos de incendios (superiores a las 14 ha cada uno) que quemaron aproximadamente 900.000 ha. Los años de mayor afectación por incendios fueron 2009, 2013 y 2020 con 128.876, 96.223 y 255.500 ha de área quemada, respectivamente, seguidos por 2002 (85.305 ha), 2003 (71.850 ha), 2006 (59.136 ha) y 2008 (58.098 ha). Los años 2014, 2016 y 2018 fueron los de menor superficie afectada anual con 1.022, 1.150 y 6.409 ha, respectivamente (Figura 2).

La correlación de Spearman (Rs) resultó significativamente alta entre los valores mensuales de área quemada y ocurrencia de incendios (Rs = 0,87,  $p < 0,0001$ , N=240). Esto quiere decir que, los meses con mayor número de incendios (OI) se



**Figura 2.** Superficie total de área quemada anual y valor promedio anual de SPI3 para la Región Sierras de la provincia de Córdoba durante el periodo 2001-2020.

correspondieron a los meses con mayor cantidad de superficie quemada (AQ). La variación que existe entre meses, tanto para AQ como para OI, permitió definir una temporada de incendios para toda la provincia que va desde el mes de julio a noviembre inclusive. Además, agosto, septiembre y octubre, fueron los meses más afectados en cuanto a superficie quemada total y también los meses que mayor dispersión de datos mostraron, indicando la variabilidad que existe entre años (Figura 3). Para el mes de diciembre, existe una gran variabilidad en cuanto a OI, dependiendo del año. Esto puede estar relacionado al comienzo de la época de lluvias, indicando el control que ejerce la humedad sobre la extensión de los mismos. Estudios previos también han indicado una mayor actividad de incendios en Córdoba, entre agosto y octubre, época que, además, se caracteriza por presentar déficit hídrico, ocasionalmente altas temperaturas acompañadas por fuertes vientos y baja humedad relativa (Miglietta, 1994; Bravo *et al.*, 2010; Fischer *et al.*, 2012; Argañaraz *et al.*, 2015b).

La frecuencia de incendios representa el número de veces que se quemó un mismo sitio o pixel en 20 años (Figura 1). En las Sierras del Sur, si bien la mayor parte del área quemada se quemó una sola vez, se registraron sitios que se quemaron hasta siete veces. La mayoría de los grandes incendios ocurrieron en agosto y septiembre. Asimismo, la frecuencia de incendios en las Sierras del Norte no fue mayor a dos. Según Argañaraz *et al.* (2015a) la recurrencia del fuego en la región serrana se debe tanto a factores biofísicos como antrópicos,

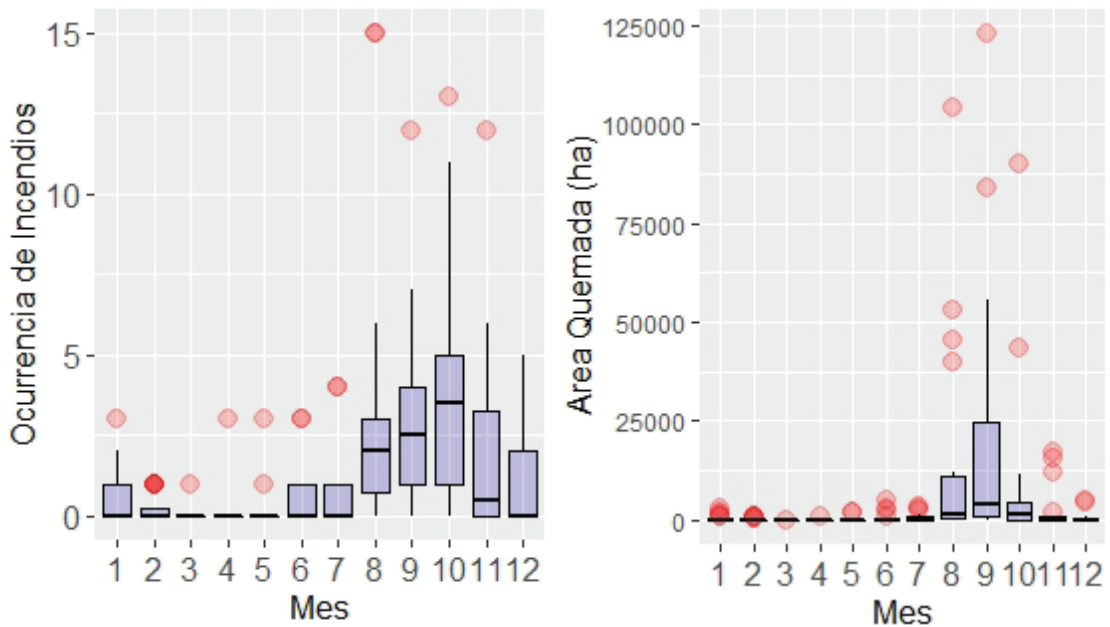
señalando al clima y la geomorfología como los factores más importantes que limitan la ignición y / o propagación del fuego.

### Incendios y Sequías

Durante los 20 años de estudio y para la temporada de incendios (julio a noviembre) el número de incendios mensuales (OI) se correlacionó de manera significativa y negativa con el SPI3 ( $R_s = -0,20$ ,  $p = 0,049$ ,  $N = 100$ ). De la misma manera ocurrió con el área afectada (AQ) ( $R_s = -0,19$ ,  $p = 0,053$ ,  $N = 100$ ). Esto quiere decir que se registró una mayor actividad de incendios cuando la condición de sequía del mismo año fue mayor (valores de SPI3 más negativos). Las condiciones de sequía promedio anual pueden observarse en la Figura 2. Si bien la relación encontrada resulta débil, la dependencia de los incendios a las condiciones meteorológicas se puede utilizar para derivar pronósticos de la actividad de los incendios a largo plazo. Muchos pronósticos se basan en índices meteorológicos de incendios derivados de técnicas estadísticas que relacionan las condiciones meteorológicas actuales con la actividad de incendios en el futuro (Westerling *et al.*, 2002; Preisler y Westerling, 2007; Thompson y Calkin, 2011).

Para comprender mejor la relación entre la sequía y los incendios, se analizaron los años más afectados por incendios (2009, 2013 y 2020), teniendo en cuenta la sequía actual (SPI3)





**Figura 3.** Ocurriencia de incendios mensual (izq.) y Área quemada mensual (der.) para el periodo 2001-2020 en la Región Sierras de la provincia de Córdoba. El gráfico muestra la mediana, los valores extremos (outliers) y la distribución de datos de las variables descriptas.

y antecedente a mediano (SPI12) y largo plazo (SPI24) (datos mensuales,  $N=12$ ). Para el año 2009, el AQ y la OI se relacionaron de manera significativa y positiva con la condición de sequía actual (Tabla 1). La relación positiva hallada entre variables del mismo año se debe a que la primavera de 2009 fue relativamente húmeda, con valores de SPI que se aproximaron a la normalidad. La OI se relacionó de manera significativa y negativa con el SPI24, pero no se obtuvo significancia con el AQ, pese a que la relación también fue alta. Desde fines de 2007, todo el 2008 y hasta principios de 2009, se produjeron eventos extremos de deficiencia hídrica en gran parte del territorio provincial. Las sequías severas y extremas precedentes parecen haber favorecido la ocurrencia de incendios que se sucedieron en 2009. Sin embargo, la falta de significancia hallada con el AQ, estaría sugiriendo que la sequía a largo plazo no jugó un rol importante en la extensión de los incendios.

Para el año 2013 no se encontraron relaciones significativas que pudieran explicar la relación entre las sequías actuales y los incendios. Sin embargo, la relación hallada entre OI y SPI12 permite inferir que las condiciones de sequía severas y extremas registradas durante 2012 influyeron en la actividad de los incendios de 2013. Ravelo *et al.* (2014) reportaron extensas áreas con sequías severas y

extremas, particularmente en los años 2009 y 2012 en gran parte del territorio provincial.

Para el año 2020, el año más afectado por incendios de toda la serie de tiempo aquí analizada, todas las relaciones resultaron negativas, altas y con significancia. Durante el invierno y la primavera de ese año se registraron valores de sequías severas, lo que probablemente contribuyó a la actividad de los incendios registradas en la temporada 2020. Asimismo, las relaciones halladas sobre las condiciones antecedentes a mediano y largo plazo pueden haber contribuido para que se sucediera el peor escenario de incendios de los últimos tiempos. Si bien las condiciones promedio de los años 2018 y 2019 no fueron extremas, Zanvettor (2020) indicó para el año 2018, periodos importantes con sequías moderadas y severas para la zona centro y norte de la provincia.

La relación entre la sequía y la incidencia de incendios fue estadísticamente significativa utilizando el SPI3. Las relaciones halladas no son lo suficientemente robustas, y esto podría deberse a que la estación Córdoba Observatorio no representa de manera adecuada las condiciones meteorológicas de los sectores Norte y Sur de las Sierras de Córdoba. Si se contara con datos meteorológicos más precisos, podría realizarse un análisis más exhaustivo y específico, inclusive a

**Tabla 1.** Relación entre incendios y sequía meteorológica en las Sierras de Córdoba. Rs: coeficiente de correlación de Spearman; p: valor de probabilidad (p-valor); área quemada mensual (AQ) y ocurrencia de incendios mensual (OI); índice estandarizado de precipitación a tres (SPI3), 12 (SPI12) y 24 (SPI24) meses. Las relaciones significativas ( $p < 0,05$ ) se resaltan en negrita.

Año	Variable	OI		AQ	
		Rs	p	Rs	p
N = 12					
2009	SPI3	<b>0,60</b>	0,037	<b>0,59</b>	0,043
	SPI12	-0,39	0,213	-0,39	0,207
	SPI24	<b>-0,57</b>	0,052	-0,46	0,131
2013	SPI3	0,14	0,6675	-0,25	0,432
	SPI12	<b>-0,77</b>	0,0033	-0,53	0,074
	SPI24	0,34	0,2850	0,05	0,870
2020	SPI3	<b>-0,71</b>	0,0095	<b>-0,68</b>	0,014
	SPI12	<b>-0,62</b>	0,031	<b>-0,66</b>	0,019
	SPI24	<b>-0,73</b>	0,0071	<b>-0,81</b>	0,001

menor resolución espacial. En diferentes regiones de Europa, también se ha demostrado que la actividad de incendios está significativamente relacionada con la sequía meteorológica, utilizando el índice SPI de diferentes escalas temporales y espaciales (Gudmundsson *et al.*, 2014; Parente *et al.*, 2019). Asimismo, la sequía precedente de hasta un año ha demostrado ejercer un impacto significativo en la actividad de incendios forestales en Grecia (Dimitrakopoulos *et al.*, 2011). Este índice ha resultado ser el predictor más fuerte de área quemada durante la temporada de ignición en las sabanas de Brasil (Alvarado *et al.*, 2017). Aunque la sequía no es la única responsable de la ocurrencia de incendios y el área quemada, los resultados aquí obtenidos estarían sugiriendo la importancia de estos índices como posibles pronosticadores de la gravedad de la temporada de incendios.

## CONCLUSIONES

Durante el periodo 2001-2020 se quemaron en total, alrededor de un millón de hectáreas de las Sierras de Córdoba. Si bien el clima de la región posee características que lo hacen propenso al fuego, no existe una única condición que determine la ocurrencia ni extensión de los incendios. El análisis presentado muestra que la actividad de incendios está significativamente relacionada con la sequía meteorológica actual y antecedente. Los años más afectados por incendios (2009, 2013 y 2020) tuvieron, además, periodos de diferente duración bajo condiciones de sequía severas. Esto estaría demostrando el efecto, aunque estadísticamente débil, de las sequías sobre la

actividad de incendios. La sequía meteorológica expresada a través del SPI no es una variable suficiente para valorar la contingencia relacionada con los incendios. Sin embargo, la dependencia de los incendios a las condiciones meteorológicas se puede utilizar para derivar pronósticos de riesgo de incendios a largo plazo.

El mapeo de la recurrencia de incendios y la identificación de áreas con frecuencia media y alta podrían ayudar en la construcción de mapas de riesgo de incendios para los distintos escenarios de sequía, actualmente pronosticados por el CREAN. Los resultados aquí expuestos, pretenden aportar información aun no publicada y representan una línea de investigación futura indispensable para la comprensión de la relación sequía-incendio en la región más afectada de la provincia de Córdoba.

## BIBLIOGRAFÍA

- Abatzoglou, J.; C. Kolden, A. Williams, J. Lutz and A. Smith, 2017. Climatic influences on interannual variability in regional burn severity across western US forests. *International Journal of Wildland Fire* 26 (4): 269–275. <https://doi.org/10.1071/WF16165>.
- Agencia Córdoba Ambiente, 2017. Manejo rural sin fuego. Guía para productores de la Provincia de Córdoba. En Manejo rural sin fuego. Guía para productores de la Provincia de Córdoba.
- Alvarado, S.; T. Fornazari, A. Cóstola, L. Morellato and T. Silva, 2017. Drivers of fire occurrence in a mountainous Brazilian cerrado savanna: Tracking long-term fire regimes using remote sensing. *Ecological Indicators* 78: 270–281. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.02.037>.
- Argañaraz, J.; G. Gavier-Pizarro, M. Zack, M. Landi and L. Bellis, 2015a. Human and biophysical drivers of fires in Semiarid Chaco mountains of Central Argentina. *Science of the Total Environment* 520: 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.02.081>.
- Argañaraz, J.; M. Landi, S. Bravo, G. Gavier-Pizarro, C. Scavuzzo and L. Bellis, 2016. Estimation of Live Fuel Moisture Content From MODIS Images for Fire Danger Assessment in Southern Gran Chaco. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing* 9 (12): 5339–5349. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2016.2575366>.
- Argañaraz, J.; G. Gavier-Pizarro, M. Zack, M. Landi and L. Bellis, 2015b. Fire regime, climate, and vegetation in the Sierras de Córdoba, Argentina. *Fire Ecology* 11 (1): 55–73. <https://doi.org/10.4996/fireecology.1101055>.
- Bradstock, R.A., 2010. A biogeographic model of fire regimes in Australia: Current and future implications. *Global Ecology and Biogeography* 19 (2): 145–158.

- <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2009.00512.x>.
- Bravo, S.; C. Kunst, R. Grau and E. Aráoz, 2010. Fire-rainfall relationships in Argentine Chaco savannas. *Journal of Arid Environments* 74 (10): 1319–1323. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2010.04.010>.
- Capitanelli, J., 1979. Clima. En J. Vázquez, R. Miatello, y M. Roqué (Eds.), *Geografía Física de la Provincia de Córdoba*, Boldt, pp. 213–296.
- Collins, D.; P. Omi and P. Chapman, 2006. Regional relationships between climate and wildfire-burned area in the Interior West, USA. *Canadian Journal of Forest Research* 36 (3): 699–709. <https://doi.org/10.1139/x05-264>.
- Dimitrakopoulos, A.; M. Vlahou, Anagnostopoulou and I. Mitsopoulos, 2011. Impact of drought on wildland fires in Greece: Implications of climatic change? *Climatic Change* 109 (3–4): 331–347. <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0026-8>.
- Fischer, M.; C. Di Bella and E. Jobbágy, 2012. Fire patterns in central semiarid Argentina. *Journal of Arid Environments* 78: 161–168.
- Giglio, J.; L. Boschetti, D. Roy Hoffman and M. Humber, 2018. Collection 6 MODIS Burned Area product User Guide. Nasa, August, pp. 1–26.
- Giglio, L.; T. Loboda, D. Roy, B. Quayle and C. Justice, 2009. An active-fire based burned area mapping algorithm for the MODIS sensor. *Remote Sensing of Environment* 113 (2): 408–420. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2008.10.006>.
- Giglio, L.; W. Schroeder and C. Justice, 2016. The collection 6 MODIS active fire detection algorithm and fire products. *Remote Sensing of Environment* 178: 31–41. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.02.054>.
- Giorgis, M.; M. López, D. Rivero and A.M. Cingolani, 2015. Cambios climáticos en las sierras de Córdoba (Argentina) durante el holoceno. Aportes a las reconstrucciones climáticas a través del análisis de silicofitolitos del sitio arqueológico El Alto. *Bol. Soc. Argent. Bot.* 50 (3): 361–375.
- Gudmundsson, L.; F. Rego, M. Rocha and S. Seneviratne, 2014. Predicting above normal wildfire activity in southern Europe as a function of meteorological drought. *Environmental Research Letters* 9 (8). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/9/8/084008>.
- Holden, Z.; A. Swanson, C. Luce, W. Jolly, M. Maneta, J. Oyler, D. Warren, R. Parsons and D. Affleck, 2018. Decreasing fire season precipitation increased recent western US forest wildfire activity. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 115 (36): E8349–E8357. <https://doi.org/10.1073/PNAS.1802316115>.
- Jolly, W.; M. Cochrane, P. Freeborn, Z. Holden, T. Brown, G. Williamson and D. Bowman, 2015. Climate-induced variations in global wildfire danger from 1979 to 2013. *Nature Communications* 6 (May): 1–11. <https://doi.org/10.1038/ncomms8537>.
- Krawchuk, M. and M. Moritz, 2011. Constraints on global fire activity vary across a resource gradient. *Ecology* 92 (1): 121–132. <https://doi.org/10.1890/09-1843.1>.
- Littell, J.; D. Peterson, K. Rille, Y. Liu and C. Luce, 2016. A review of the relationships between drought and forest fire in the United States. *Global change biology* 22 (7): 2353–2369. <https://doi.org/10.1111/gcb.13275>.
- Macias Eauria, M.; S.T. Michaletz and E.A. Johnson. 2011. Predicting climate change effects on wildfires requires linking processes across scales. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change* 2 (1): 99–112.
- Mc Kee, T.B.; N.J. Doesken and J. Kleist, 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. *Proceedings of the Eighth Conference on Applied Climatology*. American Meteorological Society. Boston, Massachusetts, pp. 179–184.
- Miglietta, S., 1994. Patrón de ocurrencia de incendios y su efecto sobre la vegetación en el Bosque Serrano de Córdoba. MScThesis. Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, 60 pp.
- Parente, J.; M. Amraoui, I. Menezes and M. G. Pereira, 2019. Drought in Portugal: Current regime, comparison of indices and impacts on extreme wildfires. *Science of the Total Environment* 685: 150–173. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.298>.
- Preisler, H.K. and A.L. Westerling, 2007. Statistical Model for Forecasting Monthly Large Wildfire Events in Western United States. *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 46 (7): 1020–1030. <https://doi.org/10.1175/JAM2513.1>.
- Ravelo, A.C.; Zanvetor, R.E. and P.E. Boletta, 2014. Atlas de Sequías de la República Argentina (CREAN. Universidad Nacional de Córdoba), 18 pp.
- Thompson, M.P. and D. Calkin, 2011. Uncertainty and risk in wildland fire management: A review. *Journal of Environmental Management* 92 (8): 1895–1909. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.03.015>.
- Turco, M.; J. von Hardenberg, A. Aghkouchak, M.C. Llasat, A. Provenzale and M. Trigo, 2017. On the key role of droughts in the dynamics of summer fires in Mediterranean Europe. *Scientific Reports* 7 (1): 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-00116-9>.
- Van Der Werf, G.; J. Randerson, L. Giglio, N. Gobron, and A. Dolman, 2008. Climate controls on the variability of fires in the tropics and subtropics. *Global Biogeochemical Cycles* 22 (3): 1–13. <https://doi.org/10.1029/2007GB003122>.
- Westerling, A.; A. Gershunov, T. Brown, D. Cayan and M. Dettinger, 2003. Climate and wildfire in the western United States. *Bulletin of the American Meteorological*



- Society 84 (5): 595–604+548. <https://doi.org/10.1175/BAMS-84-5-595>.
- Westerling, A.; H. Hidalgo, D. Cayan and T. Swetnam, 2006. Warming and earlier spring increase Western U.S. forest wildfire activity. *Science* 313 (5789): 940–943. <https://doi.org/10.1126/science.1128834>.
- Westerling, A.L.; A. Gershunov, D.R. Cayan and T. Barnett, 2002. Long lead statistical forecasts of area burned in western U.S. wildfires by ecosystem province. *International Journal of Wildland Fire* 11 (4): 257–266. <https://doi.org/10.1071/WF02009>.
- Xiao, J. and Q. Zhuang, 2007. Drought effects on large fire activity in Canadian and Alaskan forests. *Environmental Research Letters* 2 (4): <https://doi.org/10.1088/1748-9326/2/4/044003>.
- Zanvetto, R.E., 2020. Detección, Evaluación y Pronóstico de Sequías y Excesos Hídricos en Argentina. Tesis Presentada en la Escuela de Posgrado de la Fac. Cs. Agropecuarias de la UNC. 277 pp.