

Análisis de la distribución de la precipitación y su incidencia en el peligro de incendio. Estudio de caso: Sierra de la Ventana, Argentina

Analysing precipitation distribution and its influence on forest fire risk: A case study in Sierra de la Ventana, Argentina

 **Maria Paula Michalijos**

mpmichalijos@uns.edu.ar

Universidad Nacional del Sur: Bahía Blanca, Argentina.

 **Alejandra Geraldí**

ageraldi@criba.edu.ar

Universidad Nacional del Sur: Bahía Blanca, Argentina.

 **Federico Barragan**

federicobarragan@gmail.com

Universidad Nacional del Sur: Bahía Blanca, Argentina.

Recepción: 16 junio 2022

Aprobación: 26 agosto 2022

Cita sugerida: Michalijos, M. P.; Geraldí, A. y Barragan, F. (2022). Análisis de la distribución de la precipitación y su incidencia en el peligro de incendio. Estudio de caso: Sierra de la Ventana, Argentina. *Párrafos Geográficos*, 21(1).

Resumen: El fuego es un factor natural que modela la estructura y funcionamiento de numerosos ecosistemas, el hombre al introducir alteraciones en el ambiente modificó los ciclos naturales del fuego aumentando el peligro de incendio y provocando una ocurrencia mayor con consecuencias cada vez más graves. Por ello, el análisis de las variables que intervienen en dichos procesos es de gran importancia, entre ellas, la precipitación dado que modifica la humedad relativa y de los combustibles. En Sierra de la Ventana el número de incendios aumenta anualmente, la falta de datos meteorológicos en altura dificulta su estudio y la aplicación de medidas de prevención. El objetivo del presente trabajo es estudiar las variables que inciden en el peligro de incendio en Sierra de la Ventana. Se pretende además, aplicar modelos tendientes al análisis de precipitación en áreas serranas y/o montañosas. Para analizar la distribución de las lluvias en dichas áreas se aplicó un modelo de regresión lineal múltiple. Para la representación espacial del problema se realizó la modelización topográfica en entorno SIG. El estudio se completa con el análisis del comportamiento de las precipitaciones según la orientación de las pendientes. Los resultados preliminares corroboran la influencia de la topografía sobre la variable estudiada, el sistema serrano modifica su distribución espacial y la humedad en el suelo con consecuencias directas en la cobertura de la vegetación y, por lo tanto, en el combustible disponible alterando el peligro de incendio.

Palabras clave: peligro de incendio - precipitación - regresión lineal múltiple - SIG

Abstract: Fire is a natural factor that models the structure and functioning of numerous ecosystems. By introducing alterations in the environment, human beings have modified fire natural cycles, increasing the risk of fire and causing a higher frequency with increasingly serious consequences. For this reason, the analysis of the variables involved in these processes is of great importance. One of these variables is precipitation, because it modifies relative humidity and fuel moisture. The number of forest fires in Sierra de la Ventana has been increasing annually, and the lack of meteorological data in the area makes it difficult to study these variables and to implement preventive measures to minimize the consequences. In this context, the aim of this study is to analyze the distribution of rainfall. To

achieve this, we propose using interpolation of data that estimates the value of a variable at a given point from known values at other positions. A multiple linear regression is established to obtain the missing data. Finally, the study is completed with the analysis of the rainfall behavior according to the orientation of the slopes. The research is carried out in an environment corresponding to a GIS. Preliminary results corroborate the influence of the topography on the variable studied, the mountain system modifies its spatial distribution and soil moisture which has direct consequences on the vegetation cover and therefore, on the availability of fuel, modifying the risk of fire.

Keywords: fire risk – precipitation - multiple linear regression, GIS

INTRODUCCIÓN

El fuego es un factor natural que modela la estructura y funcionamiento de numerosos ecosistemas manteniendo su diversidad y estabilidad (Bond et al., 2004; Bodí et al., 2008). La alternancia de períodos de crecimiento de la vegetación y de acumulación de combustible, con ciclos de sequías ha provocado la ocurrencia de incendios forestales naturales ocasionados generalmente por caídas de rayos. Esta dinámica se mantuvo en equilibrio hasta que el hombre introdujo modificaciones en el ambiente. La sociedad considera a los incendios como un fenómeno que se debe erradicar dado que producen grandes pérdidas económicas e incluso humanas (Vélez, 2000).

A los efectos del presente trabajo se entiende por incendio forestal "... al fuego que se extiende sin control sobre terreno forestal, afectando vegetación que no estaba destinada a arder. Se deduce de esta definición que el incendio forestal es un fuego de vegetación no agrícola y que no incluye la quema de rastrojos, salvo que se pase a un monte. Es esencial la falta de control para que un fuego sea considerado incendio" (Vélez, 2000:1.3).

En este contexto, la Comarca de la Sierra de la Ventana (Buenos Aires, Argentina), naturalmente registra incendios forestales, pero en los últimos 20 años la ocurrencia es mayor, incrementándose el peligro con consecuencias negativas para la sociedad. En el área de estudio, entre 2004-2014 se contabilizaron 45 incendios y el 50% del área se quemó por lo menos una vez durante el período. Por ello, su estudio es de gran importancia para comprender su comportamiento y poder aplicar medidas de prevención con el objetivo de minimizar esas consecuencias (Michalijos, 2018). La Sierra de la ventana aflora abruptamente de la llanura bonaerense que la circunda. Constituyen un plegamiento con vinculaciones gondwánicas con altitudes de algo más de 1200m sobre el nivel del mar.

La precipitación es un componente vital para los estudios ambientales. Existe un consenso en la comunidad científica acerca de profundizar los estudios sobre las precipitaciones, su variación, predicción y relación con otros parámetros ambientales (González-Hidalgo et al., 2001; Martelo, 2004; Ravelo et al., 2005; Vergara et al., 2008). Entre los elementos meteorológicos que son necesarios para analizar el peligro de incendio, la precipitación es la componente principal dado que modifica el contenido de humedad del suelo y la vegetación, y, por lo tanto, la humedad relativa y de los combustibles incidiendo en el peligro de propagación (Soares y

Batista, 2007; Dominguez Duarte, 2013; Soares et al., 2015). El clima regional donde se localiza la comarca serrana es húmedo sub-húmedo, mesotermal con pequeño a nulo déficit de agua con una precipitación anual de 896 mm que varía considerablemente en los diferentes pisos altitudinales.

Si bien actualmente, el número de estaciones meteorológicas en el Sudoeste bonaerense (área dentro de la cual se localiza la Comarca Serrana) se ha incrementado, no existen estaciones en altura al momento de la realización de la investigación, y, considerando que la precipitación tiene alta variabilidad con la altura su conocimiento para el peligro de incendios es fundamental. De acuerdo a esto los análisis de regresión múltiple cobran importancia en lugares de difícil accesibilidad o donde no se cuenta con estaciones meteorológicas. En el presente trabajo se abordará el estudio de las precipitaciones en áreas con falta de datos dado que contribuye a establecer el inicio, el final y la severidad de la temporada de incendios dado que su distribución espacial en las sierras y en pequeñas áreas es diferente en cuanto a cantidad e intensidad (Gil, 2009) (Núñez López et al., 2014). Para ello, se estudiará la distribución espacial de las precipitaciones teniendo en cuenta la altitud y la orientación de las pendientes.

Con respecto a la altitud, a medida que la altura aumenta se producen variaciones en la precipitación y la humedad disponible en el suelo, y a su vez disminuye la temperatura estableciendo límites para el desarrollo de la vegetación.

La orientación de las pendientes incide en la cantidad de radiación solar que recibe el suelo y la vegetación determinando efectos estructurales y fisiológicos en las plantas. Las laderas de solana reciben mayor radiación solar directa y difusa, por lo tanto, se produce mayor evaporación en el suelo, adaptaciones de las estructuras foliares y reducción del crecimiento y densidad de la vegetación. Los combustibles y el suelo presentan menor contenido de humedad.

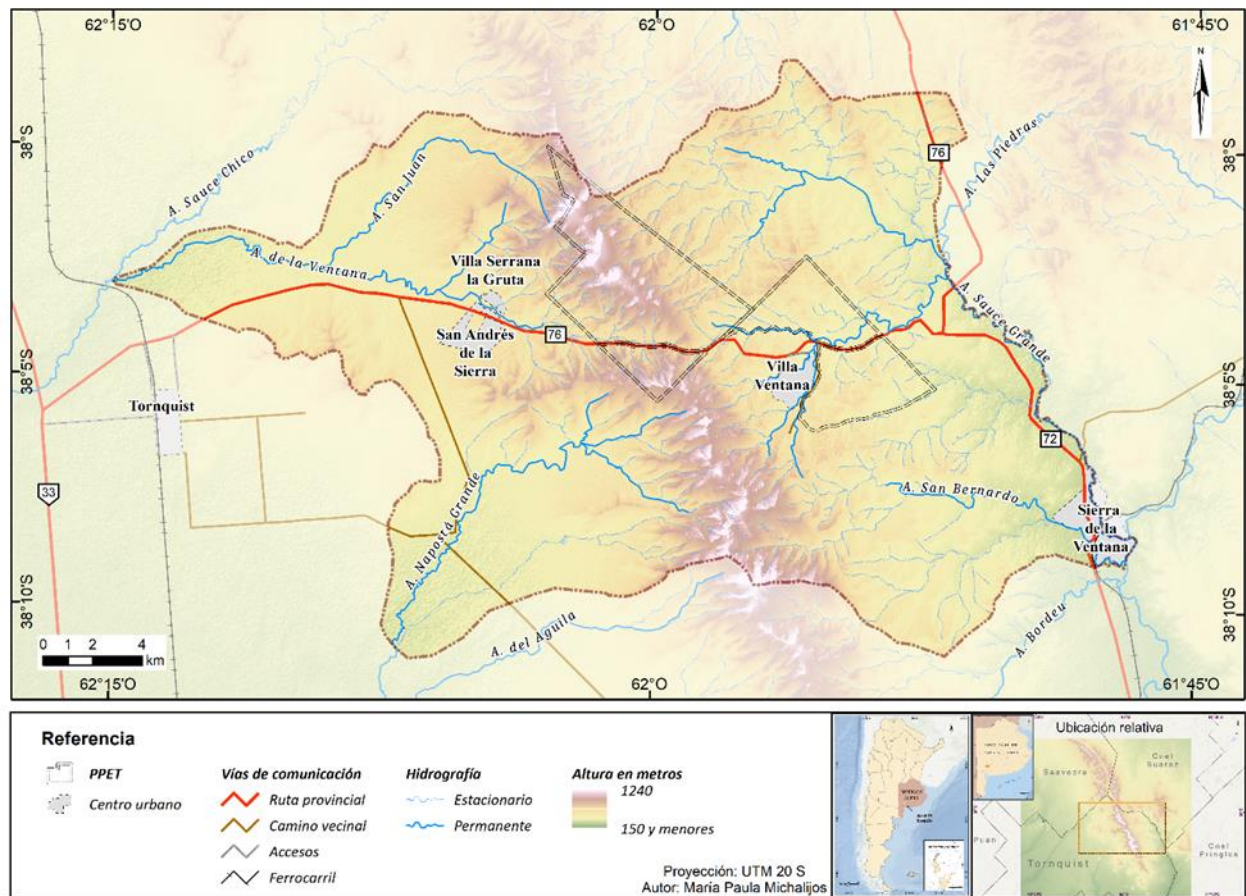
Para analizar la distribución de las lluvias en altura que, en el área de estudio se ve dificultada por la escasez de datos meteorológicos, se propone la interpolación de datos para estimar el valor de una variable de un punto determinado a partir de valores conocidos en otras posiciones. Se establece una regresión lineal múltiple para obtener los datos faltantes. Este método fue utilizado y validado por Álvarez Rogel (2000) en la Sierra Espuña (España), quien diseñó un modelo en entorno Sistema de Información Geográfica (SIG) para el estudio y prevención del riesgo de incendios forestales. También Núñez López, Treviño Garza, Reyes Gómez, Muñoz Robles, Aguirre Calderón y Jiménez Pérez (2014) utilizaron este método en la Cuenca del Río Conchos (México) en áreas serranas y próximas a la costa donde el uso del agua para las actividades domésticas, agrícolas e industriales es de vital importancia. Por su parte, Luna Romero y Lavado Casimiro (2015) evaluaron diferentes métodos y concluyeron que la regresión lineal múltiple presentó los mejores resultados para la estación Llapa, ubicada en la cordillera de los Andes, en la cuenca del Río Jequetepeque (Perú).

El análisis de las precipitaciones a partir de la orientación de las pendientes se realiza a través de la elaboración de un modelo de variables espacializadas en un entorno correspondiente a un SIG.

Materiales y métodos

El área de estudio corresponde al sector Sur de las Sierras Australes de la provincia de Buenos Aires (Argentina), abarca la cuenca del arroyo de La Ventana, el Noroeste de la cuenca alta del arroyo Napostá Grande y el Noroeste de la cuenca alta del río Sauce Grande. Comprende las localidades de Villa Serrana La Gruta, Villa Ventana, Sierra de la Ventana y el Parque Provincial Ernesto Tornquist (PPET) (Fig. 1).

FIGURA 1
Localización del área de estudio



Fuente: Michalijos, 2018.

El sector forma parte del corredor turístico en torno a la ruta provincial 76, denominado Comarca Serrana, constituye uno de los ambientes de mayor calidad ambiental de la provincia, posee una creciente actividad turística acompañada de una importante infraestructura y equipamiento. Por consiguiente, esta es la principal actividad antrópica del área, en este sentido es uno de los principales destinos turísticos de la provincia de Buenos Aires.

La zona sufre periódicamente incendios forestales, la mayor ocurrencia se produce durante la época estival, cuando se registran las temperaturas más elevadas, los vientos son altamente deshidratantes y la afluencia turística es mayor. La principal causa es por negligencia (37,8%) y luego natural ocasionados por caída de rayos durante las tormentas eléctricas (20%) (Michalijos, 2018).

El 25% de los incendios desarrollados durante el período 2004-2014, se iniciaron entre las 12.00 y 16.00 hs., cuando la humedad del combustible y del ambiente es mínima, el 22% durante la mañana (8:00-12.00 hs.), el 15% por la noche (a partir de las 20 hs.), el 13% por la tarde (16:00-20.00) y el 25% restante se desconoce. Con respecto a la dimensión, el 64% son incendios pequeños (menores a 100 ha.), el 7% corresponden a incendios grandes (mayores a 500 ha) y 5% son medianos (entre 100 y 500 ha). No se dispone información de 11 eventos (24% del total) (Michalijos, 2018).

El relieve del área está determinado por el sistema de las Sierras Australes de la provincia de Buenos Aires, conjunto de elevaciones bien definidas, en sentido noroeste-sureste, de 175 km de longitud y una anchura máxima de 50 km (Fig. 1). Las sierras alcanzan las máximas alturas de la provincia, su nivel de cumbre oscila entre 900 y 1.000 m (Harrington, 1947).

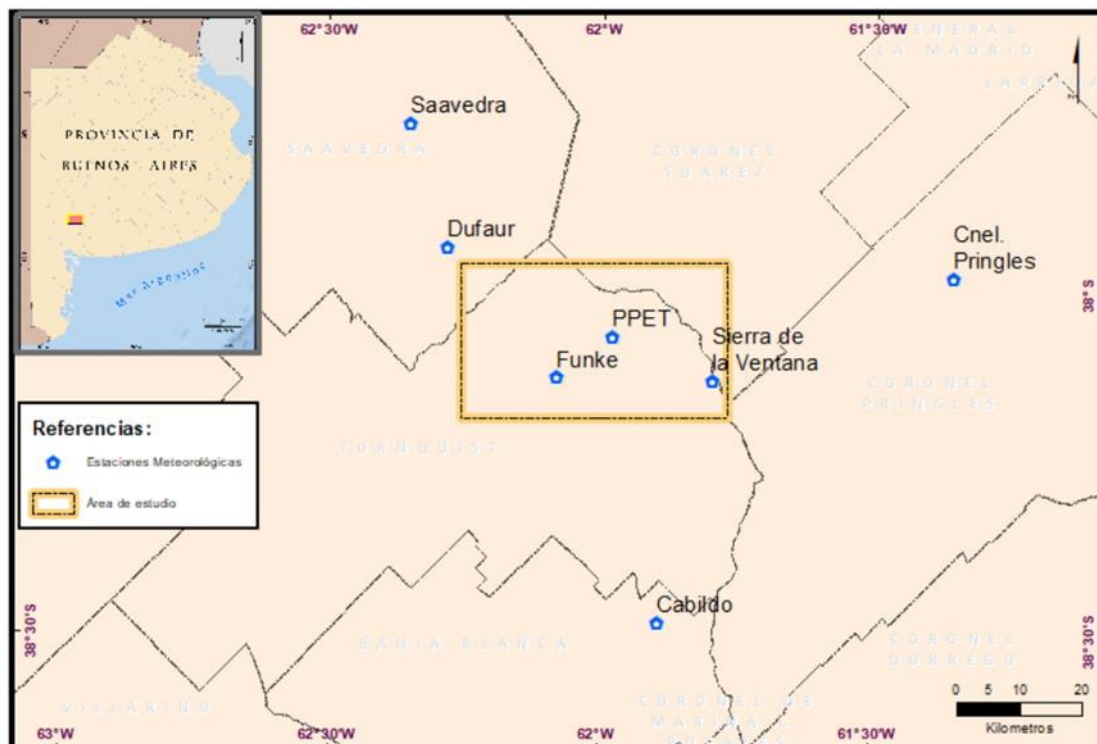
Con respecto al clima, la temperatura media en el verano es de 20° C, con máximas absolutas de 35° C a 40° C, en invierno la temperatura media es de 8° C (Gil y Campo, 2000). La precipitación media anual es de 610 mm, presenta una gran variabilidad interanual que comprende valores máximos anuales de 1056 mm y mínimos de 396 mm. Las lluvias se concentran en los meses de octubre a marzo. Sin embargo, en marzo y en abril se registran los valores mensuales más altos (283 mm y 204 mm, respectivamente) (Gil y Campo, 2000). Los vientos en la provincia de Buenos Aires siguen una dirección NE-SO, perpendicular al sistema serrano donde predominan a lo largo del año los vientos del Norte, en menor medida del Sur, NO y O. Durante el verano los vientos del Norte (altamente deshidratantes) y Sur son frecuentes, mientras que las calmas predominan en invierno (Frangi y Bottino, 1995).

La vegetación está representada por una estepa gramínea con predominio del género *Stipa*, *Piptochaetium*, *Festuca* y *Briza* (Barrera y Frangi, 1997) que están siendo invadidos por especies introducidas de rápida propagación y elevada combustibilidad (cardos, coníferas, eucaliptos y retamas), las que compiten por el nicho ecológico con las nativas.

En el área de estudio la ausencia de datos meteorológicos en altura dificulta las tareas de prevención y combate, por ello, es necesario recurrir a la simulación para predecir dichos datos. Se propone el análisis de regresión lineal múltiple (Álvarez Rogel, 2000), este método permite modelar, examinar, explorar relaciones espaciales y predecirlas, además de explicar los factores que existen detrás de los patrones observados. En este caso, el método se utiliza para prever, se creó un modelo de predicción consistente y preciso de valores de precipitación.

El análisis de la distribución espacial de la precipitación y la simulación se realiza a partir de los datos correspondientes al mes de diciembre de 2014 de las estaciones meteorológicas más cercanas: Hogar Funke, PPET, Sierra de la Ventana, Saavedra, Dufaur, Coronel Pringles y Cabildo (Fig. 2 y 3). Los datos fueron modelados y geoprocesados en entorno del SIG ArcGIS 10.1® y luego analizados.

FIGURA 2
Estaciones meteorológicas utilizadas en la simulación de datos



Fuente: elaboración propia, 2022.

FIGURA 3

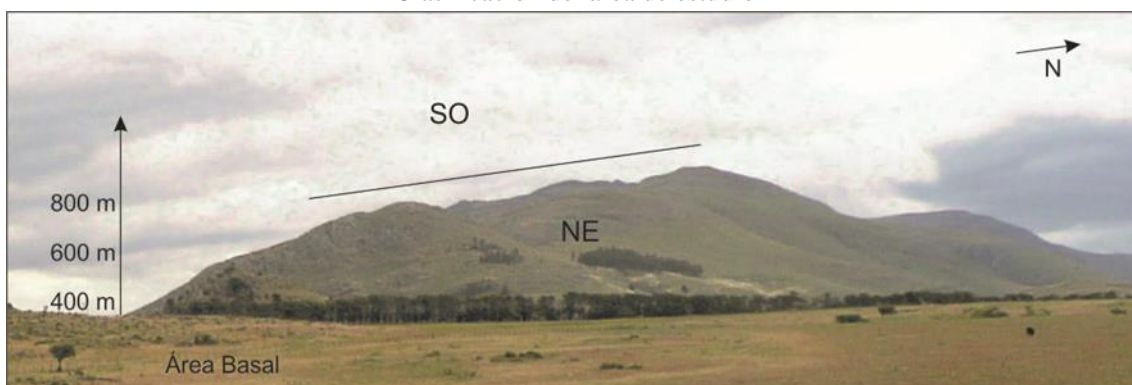
Precipitación mensual en milímetros de las estaciones meteorológicas analizadas (diciembre de 2014)

Estación	Precipitación (mm)
Saavedra	122
Dufaur	83
Coronel Pringles	45
Cabildo	21
Hogar Funke	40
Parque Provincial Ernesto Tornquist	55
Sierra de la Ventana	35

Para estudiar la distribución en altura se utilizó la clasificación propuesta por Michalijos (2018) que divide el área de estudio en cuatro sectores en función de las diferencias en la humedad del combustible. Ellos son: sitios inferiores a los 400 m (área basal), de 400 a 600 m (área baja), de 600 a 800 m (área intermedia) y alturas superiores a 800 m (área alta y cumbres) (Fig. 4).

FIGURA 4

Clasificación del área de estudio



Fuente: Michalijos, 2018.

La formulación matemática de la ecuación de regresión lineal está compuesta por la variable dependiente, las explicativas y los coeficientes de regresión. La variable dependiente es la que se pretende modelar para predecir su comportamiento en altura. Las independientes y/o explicativas son las que permiten explicar y

predecir a la dependiente, siendo ésta una función de las variables explicativas. Las independientes son la altura, la latitud y la longitud. La primera, altitud pondera los condicionamientos locales y la latitud y longitud, ponderan la influencia de la ubicación espacial de las estaciones. Cada variable independiente tiene asociado un coeficiente de regresión que indica la intensidad y la dirección de la relación entre las variables independiente y dependiente. Esta relación puede ser positiva o negativa, expresándose con un signo positivo o negativo respectivamente. Cuando existen relaciones débiles los coeficientes se acercan a cero; β_0 es la intercepción de la regresión.

La ecuación de regresión es:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 \quad (1)$$

Donde β_0 , β_1 , β_2 y β_3 son los coeficientes; Y es la precipitación; X_1 es la latitud; X_2 la longitud y X_3 la altura.

Para estimar los coeficientes se tomaron todas las variables a las alturas antes citadas. La formulación matemática, que para el cálculo de las constantes se realizó en base a la fórmula para una altura constante, es:

$$Y = \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 \quad (2)$$

Para estimar β_1 , β_2 y β_3 con las “n” mediciones de lluvia se tiene:

$$\begin{aligned} Y(1) &= \beta_1 X_1(1) + \beta_2 X_2(1) + \beta_3 + \varepsilon(1) \\ Y(2) &= \beta_1 X_1(2) + \beta_2 X_2(2) + \beta_3 + \varepsilon(2) \end{aligned} \quad (3)$$

$$Y(n) = \beta_1 X_1(n) + \beta_2 X_2(n) + \beta_3 + \varepsilon(n)$$

En forma matricial:

$$Y = A * X + \varepsilon \quad (4)$$

Donde Y (lluvia) es un vector de nx1 que posee las n mediciones de lluvia, $A = (\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3)^T$ y X es una matriz de nx3 que contiene las n mediciones de latitud y longitud en las dos primeras columnas y un vector de n unos en la tercer columna, ε es el vector de errores de la estimación. El cálculo del vector A se obtiene mediante el método de mínimos cuadrados:

$$A = (X^T * X)^{-1} X^T Y \quad (5)$$

Donde X^T es la matriz transpuesta de X

La ecuación general es:

$$Y = \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 \quad (6)$$

De manera similar (2), (6) se escribe también en forma matricial como en (4), donde ahora $A = (\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3)^T$ y X es una matriz de $n \times 4$ que contiene las n mediciones de la latitud, la longitud y la altitud en las tres primeras columnas y un vector de n unos en la cuarta columna. El cálculo del vector A se obtiene como en (5) (Draper y Smith, 1981).

Una vez obtenidos los coeficientes para cada altura se juntaron todas las matrices para estimar esta función que sirve para todos los niveles:

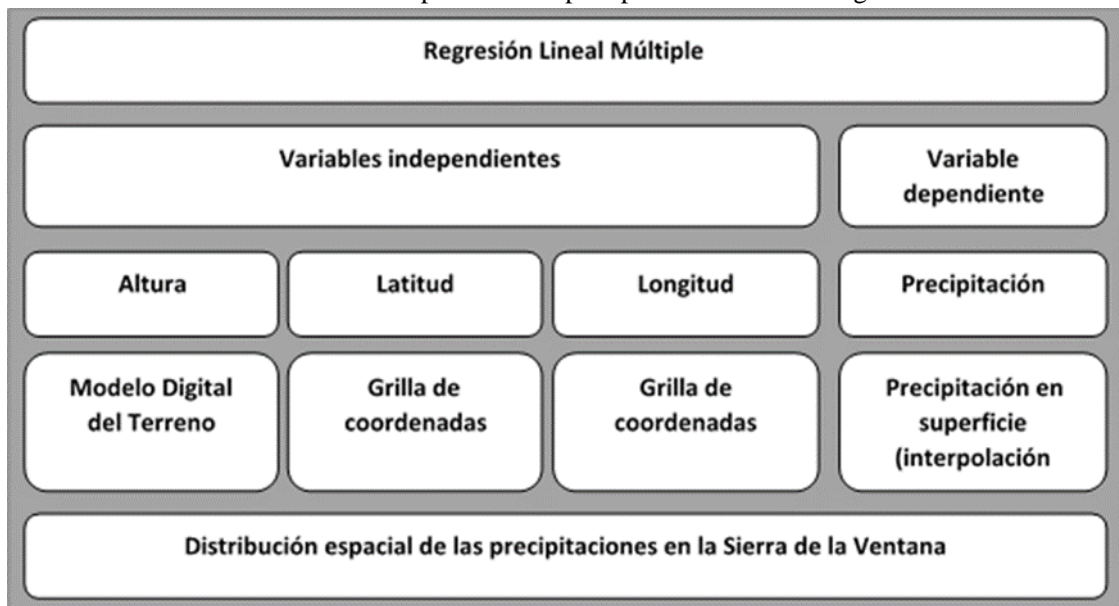
$$Y = \beta_0 X_1 + \beta_1 X_2 + \beta_2 X_3 + \beta_3 \tag{7}$$

Para aplicar la ecuación de regresión (Fig. 5) se construyeron las tres variables independientes. La altura se trabajó a partir del modelo digital del terreno (MDT) donde el valor de cada pixel que representa una altitud se multiplica por su constante. Para la latitud y la longitud se construyeron matrices con coordenadas UTM del mismo tamaño y característica donde cada pixel tiene su valor longitudinal y latitudinal, los cuales se multiplicarán por sus constantes. Estas matrices se generan a partir de coordenadas extremas que permiten definir una malla.

Con los datos de las siete estaciones meteorológicas disponibles se cartografió la precipitación en superficie. Para ello, se aplicó la técnica de la interpolación geoestadística (kriging) la cual asume que el fenómeno estudiado toma valores en toda la superficie analizada, es decir, que posee una continuidad espacial, crea una superficie de valores estimados (Moreno Jiménez, 2007).

Finalmente se realizó el análisis espacial a partir de la superposición (overlay) entre el MDT, las grillas de latitud y longitud y la precipitación en superficie cuyo resultado es la distribución de la precipitación en altura.

FIGURA 5
Distribución espacial de las precipitaciones: metodología



Fuente: elaboración propia, 2022.

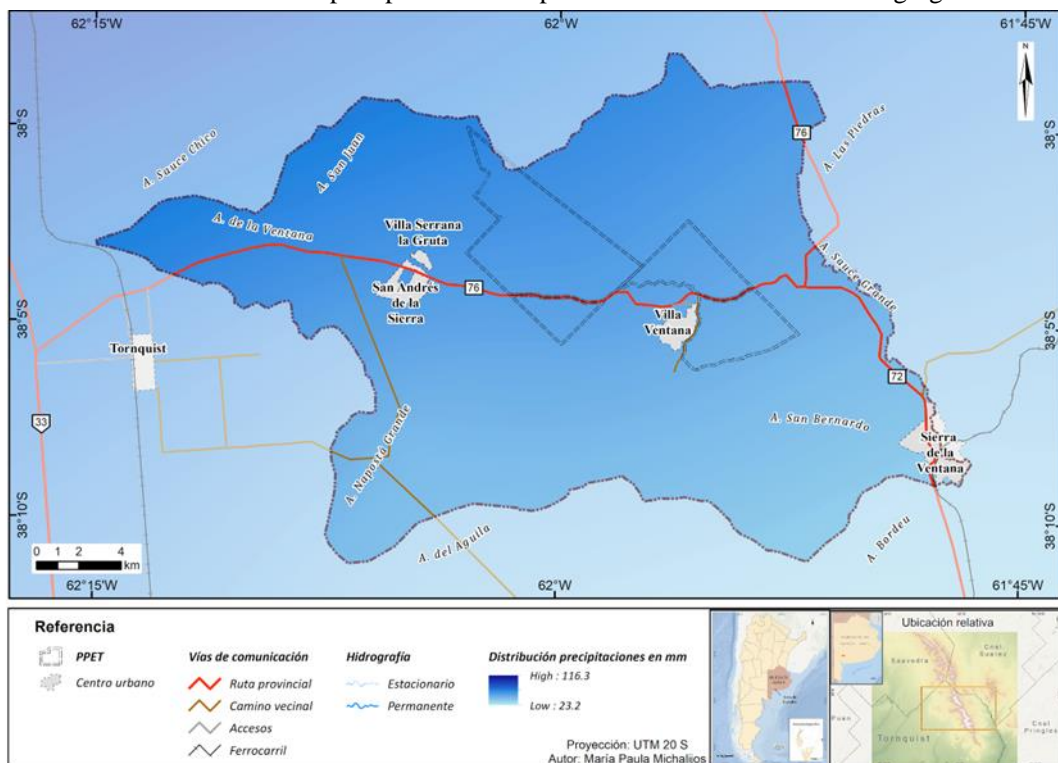
Por último, el análisis de la distribución de las precipitaciones se completó con el estudio de la influencia de la orientación de las pendientes sobre dicha variable. Para ello, se modeló la orientación de las pendientes en el entorno de un SIG. Su modelado permite la obtención de esta característica del relieve y, además, analizar las relaciones espaciales existentes entre distintas variables e integrarlas para obtener una representación simplificada de la realidad, es decir, un modelo espacial (Fernández García, 2007).

Se parte del modelo digital del terreno (MDT) el cual visualiza fácilmente los rasgos más sobresalientes del relieve y permite obtener variables de gran influencia sobre el medio. Para la cartografía de la orientación de las pendientes se utiliza la función de análisis de superficies de ArcGIS 10.1®.

Resultados y discusión

El sudoeste de la provincia de Buenos Aires está bajo la influencia de diferentes masas de aire producto de la presencia de centros anticiclónicos permanentes y semipermanentes que por su desplazamiento estacional definen las características climáticas (Campo de Ferreras et al., 2004). Por un lado, la circulación responsable de generar las precipitaciones son los flujos de aire del norte, cálidos y húmedos, provenientes del Anticiclón del Atlántico Sur y favorecido por el centro de baja presión del litoral pampeano. Estos flujos de aires son los responsables de las precipitaciones desde el noreste del país hasta la provincia de Buenos Aires flujo que retorna al océano luego de descargar las últimas precipitaciones en la Sierras de la Ventana. El sector Sur de las sierras tiene mayor influencia del anticiclón del Pacífico Sur, que favorece el ingreso de flujos de aire en sentido Suroeste - Noreste, siendo este frío y seco. Estos movimientos de masas de aire determinan el comportamiento de las precipitaciones en el área de estudio. Sin embargo, la altitud y la pendiente asociada a la orientación juega un papel importante al modificar el efecto de las masas de aire, aumentando la precipitación en altura. En la figura 6 se muestra la distribución de la precipitación en superficie obtenida a partir de las estaciones meteorológicas disponibles. Se observa que los valores oscilan entre 116 y 23 mm, los máximos se presentan en el extremo Noroeste de la imagen y los valores mínimos en el Sur de la misma. Es importante destacar que no se evidencia la presencia de las sierras, por ello es necesario realizar el ajuste teniendo en cuenta las variaciones del relieve.

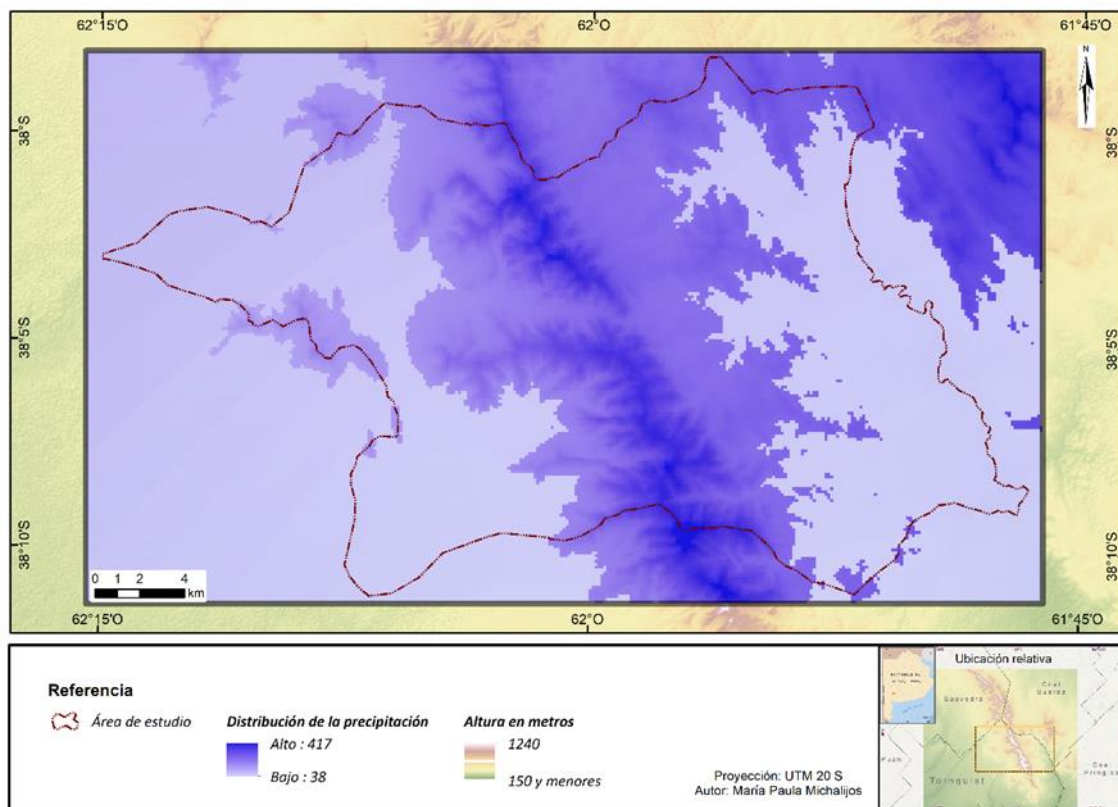
FIGURA 6
Distribución de la precipitación en superficie utilizando la técnica kriging



Fuente: elaboración propia, 2022.

La figura 7 muestra la distribución de la precipitación a partir de la simulación de datos en altura. El modelo se obtuvo luego de aplicar la regresión lineal múltiple, la técnica de interpolación geoestadística kriging y las operaciones de análisis espacial. En ella se observa como el milimetraje varía con la altura, demostrando la influencia de las sierras sobre esta variable, a medida que el terreno se eleva los valores de lluvia aumentan. En el área baja (400 - 600 m) las precipitaciones promedian 158 mm, en el área intermedia 235 mm y a partir de los 800 m se registraron valores de 340 mm con un máximo de 417 mm. Los resultados coinciden con Gil (2009) quien obtuvo registros similares con mediciones in situ para el período 1997-2007 en la cuenca alta del río Sauce Grande. Por su parte Álvarez Rogel (2000) observó el mismo comportamiento en Sierra Espuña al utilizar la misma metodología.

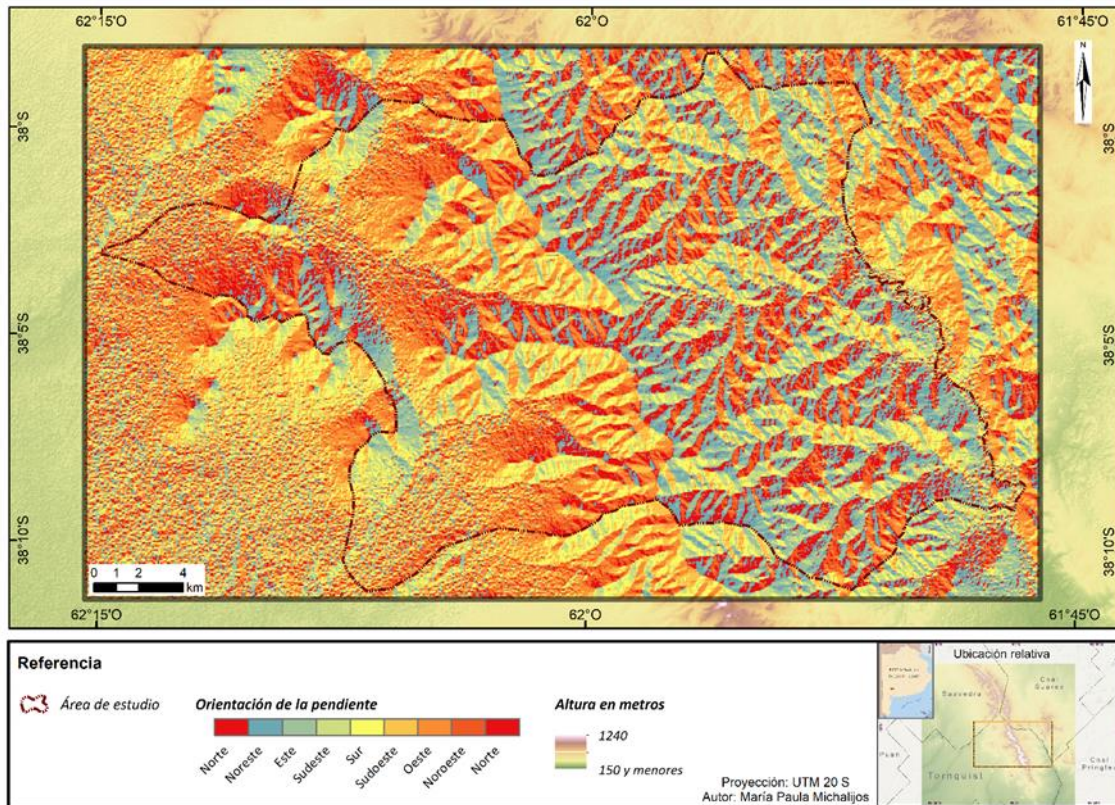
FIGURA 7
Distribución de las precipitaciones en el mes de diciembre de 2014



Fuente: Michalijos, 2018.

La orientación de las laderas está representada en la figura 8, en ella se observa que las sierras forman un arco con dirección NO-SE, determinando una divisoria principal de aguas en sentido SO-NE. Predominan las laderas SO-O y NE-E (28% y 27% respectivamente), seguidas por pendientes Sur y Norte (12%), NO (11%) y con menor extensión las orientadas hacia el SE (10%).

FIGURA 8
Orientación de las pendientes



Fuente: Michalijos, 2018.

Linsley (1977) sostiene que debido al ascenso de las masas de aire en las laderas a barlovento de las barreras orográficas las precipitaciones son mayores, en las laderas a sotavento el aire es descendente por lo que se produce una disminución de la humedad y, por lo tanto, de las precipitaciones. Si se tiene en cuenta la dirección de las sierras, las laderas orientadas al NE presentan, a lo largo del año, mayor humedad dado que el viento predominante es del NNE y por lo tanto menor peligro de incendio. Las laderas S, SE y NO presentan valores que promedian los 267 mm, laderas N 260 mm y con menor precipitación y mayor peligro las pendientes orientadas al SO y O, a sotavento con 251 mm. Coincidiendo con Kristensen y Frangi (1995) quienes afirman que la topografía serrana determina variaciones locales (o mesoclimas) del clima regional (o macroclima), en función de la altitud, la exposición y la pendiente.

CONCLUSIONES

La simulación de datos es una alternativa válida en áreas donde la escasez de información dificulta el análisis del peligro de incendio. La regresión lineal múltiple resultó ser de gran utilidad para el estudio de la precipitación en áreas serranas del sudoeste bonaerense, de la misma manera que otros autores lo demostraron para otras zonas del mundo, quienes validaron la metodología.

Además, se corroboró la influencia de la topografía (altura y orientación de las pendientes) sobre la precipitación, el sistema serrano modifica su distribución espacial y la humedad en el suelo con consecuencias directas en la cobertura de la vegetación y por lo tanto en el combustible disponible, alterando el peligro de ignición y propagación de los incendios.

El análisis de la precipitación y la influencia de la topografía se realizó en el entorno de un SIG que permitió establecer relaciones espaciales entre las variables e integrarlas obteniendo de esta manera un modelo espacial.

Para finalizar, la información obtenida es de interés para el combate de incendios en altura dado que su extinción en las primeras horas es fundamental, cuando el fuego llega a las sierras su comportamiento se torna impredecible a causa de la topografía accidentada. Además, los resultados alcanzados son necesarios para planificar las tareas de prevención.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvarez Rogel, Y. (2000). *Aplicación de tecnología SIG al estudio del riesgo y prevención de incendios forestales en el área de Sierra Espuña-Gebas (Región de Murcia)*. [Tesis de doctorado, Universidad de Murcia]. <https://digitum.um.es/digitum/handle/10201/19866?mode=full>
- Barrera, M., y Frangi, J. (1997). Modelo de estados y transiciones de la arbustificación de pastizales de Sierra de la Ventana, Argentina. *Ecotrópico*, 10(2), 161-166.
- Bodí, M. B., Doerr, S. H., Mataix-Solera, J. y Cerdà, A. (2008). *El papel del fuego en los ecosistemas terrestres*. V Congreso la investigación ante la sociedad del conocimiento. Sostenibilidad y Medio Ambiente. Escuela politécnica superior de Alcoi, UPV, 331-335.
- Bond, W. J., Woodward, F. I. y Midgley, G. F. (2004). The global distribution of ecosystems in a world without fire. *New Phytologist*, 165, 525-538.
- Campo de Ferreras, A.; Capelli de Steffens, A. y Diez, P. (2004). *El clima del Sudoeste bonaerense*. Departamento de Geografía y Turismo, Universidad Nacional del Sur.
- Dominguez Duarte, S. (2013). Variabilidad de la precipitación en el norte de México: Forzamientos oceánicos y atmosféricos y su relación con incendios forestales. [Tesis de Maestría, Centro de Investigaciones Biológicas del Noreste].
- Draper, N., y Smith, H. (1981). *Applied regression analysis*. Ed. John Wiley.
- Fernández García, F. (2007). Creación de nuevos mapas a partir del MDE. Aplicación a las funciones de análisis de superficies. En A. Moreno Jiménez, *Madrid: Sistemas y análisis de a información geográfica. Manual de autoaprendizaje con ArcGIS* (pp. 629-649). RA-MA.
- Frangi, J., y Bottino, O. (1995). Las comunidades vegetales de la Sierra de la Ventana, Provincia de Buenos Aires, Argentina. *Revista de la Facultad de Agronomía*, (71), 93-133. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/116672>
- Gil, V., y Campo, A. (2000). *Cuenca del Arroyo del Oro: Características hidrográficas y los efectos sobre la población*. Actas III Jornadas de Geografía Física, 153-159.
- Gil, V. (2009). *Hidrogeomorfología de la cuenca alta del río Sauce Grande aplicada al peligro de crecidas*. [Tesis de doctorado, Universidad nacional del Sur].
- González-Hidalgo, J. C., De Luis, M., Raventós, J. y Sánchez, J. R. (2001). Spatial Distribution of Seasonal Rainfall Trends in a Western Mediterranean Area, *International Journal of Climatology*, 21, 843–860.
- Harrington, H. (1947). Explicación de las hojas geológicas 33m y 34m, Sierras de Curamalal y de la Ventana, provincia de Buenos Aires. Buenos Aires: Servicio Nacional Minero Geológico.
- Kristensen, J., y Frangi, L. (1995). La Sierra de la Ventana: una isla de biodiversidad. *Ciencia Hoy*, 5(30), s-p. <https://www.cienciahoy.org.ar/ch/hoy30/biodiv.htm>

- Linsley, R. (1977). *Hidrología para ingenieros*. McGraw-Hill.
- Luna Romero, E., y Lavado Casimiro, W. (2015). Evaluación de métodos hidrológicos para la completación de datos faltantes de precipitación en estaciones de la cuenca Jetepeque, *Revista Tecnológica ESPOL – RTE*, 28(3), 42-52.
- Martelo, M. T. (2004). *Consecuencias ambientales generales del cambio climático en Venezuela*. [Tesis de doctorado, Universidad Central de Venezuela].
- Michalijos, M.P. (2018). Estudio del riesgo de incendio forestal en un sector de la comarca de la Sierra de la Ventana utilizando geotecnologías [Tesis de doctorado, Universidad nacional del Sur]. <https://repositoriodigital.uns.edu.ar/handle/123456789/4472>
- Moreno Jiménez, A. (Coord.). 2007. *Sistemas y análisis de información geográfica. Manual de autiaprendizaje con ArcGis*. RAMA.
- Núñez López, D., Treviño Garza, E. J., Reyes Gómez, V. M., Muñoz Robles, C. A., Aguirre Calderón, O. A., y Jiménez Pérez, J. (2014). Uso de modelos de regresión para interpolar espacialmente la precipitación media mensual en la cuenca del río Conchos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(2), 201-213. <http://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v5n2/v5n2a3.pdf>
- Ravelo, A.; Irastorza, R., y Zanvetor, R. (2005). Zonificación de la región pampeana argentina según tendencias de series pluviométricas (1931-2000). *Rev. Arg. de Agrometeorología*, 3-4.
- Soares, R. V. y Batista, A. C. (2007). *Incêndios florestais: controle, efeitos e uso do fogo*. Universidade Federal do Paraná.
- Soares, R. V., Batista, A. C. y Tetto, A. F. (2015). *Meteorología e climatología florestal*. Editor.
- Velez, R. (2000). *La defensa contra incendios forestales. Fundamentos y experiencias*. McGraw-Hill.
- Vergara, G., Casagrande, G. y Arnaiz J. 2008. Caracterización agroclimática de las sequías (1970/2005) en tres localidades de la provincia de La Pampa, Argentina. *Agronomía Tropical*, 58(01), 77-80.