

Aplicación de la distribución de valores extremos a eventos geográficos poco frecuentes. Análisis del caso de la ocurrencia de heladas tempranas y tardías en el valle de Tulum, San Juan

Arnobio Germán Poblete*
María José Vera**

Resumen

El principal objetivo de este trabajo es brindar un aporte metodológico que profundice la investigación en los diversos enfoques de la geografía relacionados con la incidencia sobre el espacio geográfico de eventos poco frecuentes que impactan en su configuración y ordenamiento. Como ejemplo de aplicación de esta metodología se muestra el estudio sobre la ocurrencia interanual de las fechas de heladas tempranas y tardías en el Valle de Tulum (San Juan), calculando la probabilidad de que superen un determinado umbral y el tiempo en que volverían a repetirse. El cálculo de las probabilidades de excedencia (PE) y período retorno (PR) de dichas fechas se realiza con la distribución del valor extremo generalizado (GEV) y sus derivaciones. Para fechas de heladas tempranas, se estimó que el mayor peligro de ocurrencia se encuentra entre el 20 de abril y el 15 de mayo, lo que impactaría en la horticultura. En el caso de las heladas tardías, se concluye que, a diferencia de las tempranas, estas tienen probabilidades de ocurrencia muy significativas en el período vegetativo, cuando se produce la brotación y floración de frutales, teniendo en cuenta las fechas fenológicas de la brotación, cuaje e inicio de cosecha.

Palabras clave: Gumbel, Heladas, Probabilidad de excedencia, Período de retorno, Valle de Tulum.

* Docente y Director. Departamento de Geografía. Instituto de Geografía Aplicada (IGA). UNSJ, San Juan. agpoblete@gmail.com

** Docente e Investigador. Departamento de Geografía. Instituto de Geografía Aplicada. UNSJ, San Juan. mariajosevera42@gmail.com

Application of the Distribution of Extreme Values to Unusual Geographical Events

Abstract

The main objective of this work is to provide a methodological contribution for further research on the different approaches of Geography that have influence on the geographic space of unusual events that impact on its configuration and management. An example of the application of this methodology is the study on the inter annual occurrence of the dates of early and late frosts in Tulum Valley (San Juan), calculating the probability of exceeding a certain threshold and their time of recurrence. The calculation of the probabilities of exceedance (PE) and return period (RP) of these dates is performed with the distribution of the generalized extreme value (GEV) and its derivations. For dates of early frosts, it was estimated that the greatest risk of occurrence is between April 20 and May 15, which would have an impact on horticulture. In the case of late frosts, it is concluded that, unlike the former, they have greater probabilities of occurrence in the vegetative period, when fruit trees are budding and flowering, taking into account the phenological dates of sprouting, set and start of harvest.

Key words: Gumbel, Frosts, Probability of exceedance, Return period, Valley of Tulum.

Introducción

El principal propósito del trabajo es realizar un aporte metodológico que muestre la versatilidad y precisión del análisis de extremos para la investigación en diversos enfoques de la geografía y la incidencia sobre el espacio geográfico de eventos poco frecuentes.

Los mismos se pueden aplicar en la estimación de extremos tales como:

- Lluvias muy intensas: como el caso extremo de los días 13, 14 y 15 de febrero de 2014, cuando la provincia de San Juan sufrió una precipitación que, según los registros con que cuentan los autores, fue la más abundante de su historia. En estos días cayeron 19,3, 42,9 y 72,4 mm (este día es récord histórico, superando ampliamente al anterior que se produjo el 11 de febrero de 1990, con 53,4 mm), acumulando los tres 137,6 mm. Junto con otro evento, para el mes sumaron 155,4 mm en la ciudad, mientras que el registro del Servicio Meteorológico Nacional, ubicado en Las Chacritas, fue de 157,0 mm (728,6 % por encima de lo normal) (Poblete, 2014).
- Inundaciones: como las ocurridas en La Plata, donde cayeron 181 mm durante la jornada del 4 de abril de 2013 (diario *La Capital*, 2013/04/04). En San Juan las precipitaciones de verano en muchos casos pueden ser intensas, produciendo aluviones, granizo e inundaciones como la sucedida en Sarmiento entre los días 31 de enero y 2 febrero de 2013 provocando derrumbes de viviendas, quedando además muchas zonas totalmente inundadas (*Infocampo*, 2013/02/01).
- Olas de calor: como las que se presentaron en San Juan y la región de Cuyo, con temperaturas elevadas (máxima de 40 °C o más) y probabilidad de tormentas (diario *La Provincia SJ*, 2018/12/24); como así también la que azotó al centro-sur de Chile en enero-febrero de 2019 (38,3 °C en Santiago de Chile, la más alta en 102 años), donde se registraron temperaturas máximas nunca antes vista, alcanzando incluso a la región de Magallanes, lo que provocó en los valles centrales, principalmente de la región de la Araucaria, incendios forestales (*Equipo Meteochile Blog*, 04/02/2019).

El 24 de julio de 2018, el verano en el hemisferio norte causó estragos, las zonas acostumbradas a las temperaturas gélidas vivieron sensaciones térmicas nunca vistas. En Japón los termómetros marcaron 41 °C y el calor provocó la muerte de más de 40 personas. En Grecia la situación fue similar: al menos 74 personas fallecieron en medio de los incendios forestales que se desataron al este de Atenas (*La Nación*, 2018/07/24).

El 25 julio de 2018, la ola de calor en Europa llega hasta Siberia, con 40 grados según el Centro Hidrometeorológico de Rusia, donde la media de temperatura de toda la región fue 8 grados más alta de la habitual (*Clarín*, 2018/07/25).

- Olas de frío: el 3 de julio de 2018, en los valles situados sobre la capa de hielo de la Antártida Oriental, se registraron temperaturas de -98 °C, que fue récord de acuerdo con las mediciones satelitales que permitieron comparar este registro con años anteriores. De acuerdo al estudio que se publicó en *Geophysical Research Letters*, es la temperatura más baja que se puede alcanzar en todo el planeta Tierra (*Infobae*, 2018/07/03).
- Sequías: como las sufridas en el centro-norte de Santa Fe, donde la falta de lluvia y las altas temperaturas afectaron a los cultivos de maíz y soja (*Télam*, 2018/02/21).
- Sequía nival: registrada en los Andes Áridos de Cuyo y Chile Central desde 2010 con temporadas hídricas deficitarias incluido el 2014, siendo interrumpida por la de 2015 debido a condiciones de borde muy favorables (Poblete y Vera, 2017).
- Viento Zonda Intenso: como el ocurrido entre el 11 y 12 de julio de 2006, con un importante aumento en la máxima de hasta 33 °C y una brusca caída de la humedad, alrededor del 1 %, con ráfagas de 120 km/h y una temperatura a punto de rocío de -15 °C, en el aeropuerto Las Chacritas, San Juan, resultando de categoría “Muy severo”.

El zonda del 4 de octubre de 2017, que obligó al Ministerio de Educación a suspender las clases en turnos tarde, vespertino y nocturno a lo que se adhirieron la UNSJ y la UCC (*Tiempo de San Juan*, 2017/10/04).

- Inviernos extremos: como el ocurrido en San Juan, donde se dieron condiciones de frío intenso para que se produzcan nevadas en el llano, tal como sucedió en el centro de la ciudad el 9 de julio de 2007 (Poblete, 2009).
- El viento “sur” intenso: el 7 de abril de 2006 provocó una tragedia por la caída de una palmera en la plaza 25 de Mayo que le quitó la vida a una joven de 17 años (*La Provincia SJ*, 2018/24/12).
- Eventos extemporáneos: como el ocurrido el 10 de septiembre de 2013 con 41,5 °C seguido por -3,5 °C el 17 del mismo mes, que produjo daños irreparables en la brotación y floración de frutales en San Juan y Mendoza.

Además, se registraron heladas en agosto y parte de septiembre de 2016 en zonas productivas de San Juan que agravaron el estado de los cultivos de vides y frutas de carozo. Productores, empresarios y agrónomos indicaron

que las pérdidas fueron del 100 % en Ullum y Zonda, con graves efectos en otros departamentos, siendo las uvas de consumo y pasas las más afectadas (*Infocampo*, 2016/09/07).

En enero de 2019 se produjo otro evento meteorológico extemporáneo, como la nevada en San Carlos de Bariloche el 7 de enero y en el sur de Santa Cruz el 29 de enero (*El Intransigente*, 2019/01/09).

Además de los descriptos, también se incluyen los asociados a epidemias, crisis económicas, entre otros, para los que se calcula la probabilidad de que superen un determinado umbral y el tiempo en que volverían a repetirse.

Los eventos extremos como los mencionados son condiciones del clima que se presentan con determinada frecuencia en una región geográfica, limitando las posibilidades productivas, recreativas y las actividades del hombre.

De acuerdo con su intensidad y frecuencia pueden llegar, en casos extremos como los ejemplificados, a causar pérdidas de vidas humanas y daños en la economía, lo cual implica dedicar cuantiosos recursos para su recuperación (*Zucarelli*, 2013).

En el desarrollo de modelos probabilísticos apropiados y evaluación de los riesgos causados por estos eventos, se utilizan con frecuencia las distribuciones GEV (Valor Extremo Generalizado), que es una rama de la estadística que se ocupa de los eventos extremos.

Esta teoría se basa en el teorema de extremos, que establece que solo se necesitan tres tipos de distribuciones para modelar el máximo o el mínimo de la recopilación de observaciones aleatorias de la misma distribución.

Para ejemplificar lo descripto se aplica dicha metodología al estudio del período medio de inicio y finalización de la ocurrencia de heladas en el Valle de Tulum, en San Juan. El período está comprendido entre el 25 de mayo y 31 de agosto en la localidad de Pocito y entre el 23 de mayo y 2 de septiembre en las Chacritas (*Poblete e Iranzo*, 2011), con una oscilación de 15 días aproximadamente.

Las heladas que ocurren antes de dichas fechas se las denomina “tempranas” y son perjudiciales para la horticultura, especialmente las “heladas negras”, que destruyen al vegetal congelando su savia, puesto que se producen en un ambiente con aire desprovisto de humedad. Cuando la humedad está presente, se genera la “helada blanca”, es decir la típica escarcha que no daña las plantas como las anteriores y en cierta medida las protege.

Las heladas posteriores a la fecha de finalización son las “tardías”, que afectan la fruticultura y “quemán” los brotes y flores, teniendo en cuenta que la acumulación

de grados días (GDD) en el período de crecimiento de la vid determina las fechas fenológicas más importantes: brotación (10 al 20 de septiembre GDD de 100 a 350 °C), cuaje (5 de noviembre GDD de 450 a 780 °C) e inicio de cosecha (24 de diciembre GDD de 1490 °C).

Cabe destacar que las incluidas en el período normal son necesarias para el óptimo desarrollo vegetativo contribuyendo a la cantidad de horas-frío imprescindibles para la dormancia de los vegetales que garantiza un adecuado ciclo vital, además de reducir o eliminar virus y bacterias que afectan al mismo (Poblete e Iranzo, 2011).

Se realizó la estimación de las probabilidades de excedencia y tiempo de retorno de ambas fechas, mediante la aplicación de la GEV que se detalla en datos y métodos, para conocer con precisión los riesgos de su ocurrencia en los períodos hortícolas y frutícolas.

Datos y métodos

Los datos utilizados en este trabajo para el período 1967-2017 fueron aportados por la estación meteorológica del aeropuerto D. F. Sarmiento (San Juan Aero), que se sitúa en la localidad de Las Chacritas (31,65 S y 68,4 O), ubicada aproximadamente a 12 km al este de la ciudad de San Juan (Fig. 1). Esto garantiza la independencia del posible “efecto urbano”, puesto que el análisis de la evolución de la temperatura a través de las series históricas no es fácil de llevar a cabo, ya que ciertos procesos no climáticos deben ser tenidos en cuenta, el más importante es el efecto térmico urbano (Querreda Sala, Montón Chiva y Escrig Barberá, 2007).

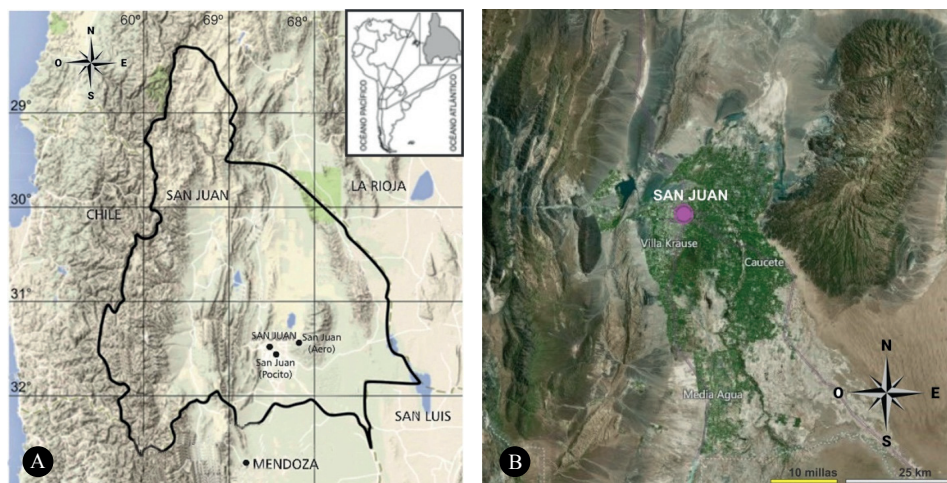


Figura 1. a. Ubicación de la Estación Meteorológica D. F. Sarmiento (San Juan Aero). b. Emplazamiento del Valle de Tulum (verde) con su espacio cultivado.
Fuente: elaborado por Poblete y Vera sobre la base de información de Google Earth.

Los datos fueron controlados con los aportados por el Observatorio de Mendoza y EEA- INTA San Juan. Se controlaron 51 años de registros diarios de las estaciones mencionadas, por medio de la aplicación de test de homogeneidad absoluta y relativa (Minetti, 1991; Poblete y Minetti, 2006; WMO, 1966).

La metodología utilizada para el ejemplo propuesto se basa en la Distribución del Valor Extremo Generalizado (GEV), la cual consiste en una familia de distribuciones de probabilidad continuas desarrolladas dentro de la teoría del valor extremo para combinar las familias Gumbel, Fréchet y Weibull, también conocidas como distribuciones de valores extremos tipo I, II y III (Bobée y Ashkar, 1991; Chow, Maidment y Mays, 1994; Gumbel, 2004).

Según el teorema del valor extremo, la GEV es la única distribución límite posible de los máximos normalizados de una secuencia de variables aleatorias independientes e idénticamente distribuidas, esto requiere condiciones de regularidad en la cola de la distribución. A pesar de esto, la GEV se usa a menudo como una aproximación para modelar los máximos de secuencias largas (finitas) de variables aleatorias.

Las series se construyen a partir de los valores máximos de la variable tomados a intervalos fijos de tiempo, habitualmente un año, por lo que el tamaño final de la muestra es igual al número de años de registro. La teoría de los valores extremos supone la existencia de independencia en las observaciones, hecho que está garantizado en las series de máximos anuales por la metodología de muestreo.

Para garantizar la independencia de los registros, los datos subyacentes de los cuales se extrajeron los extremos deben ser de largos períodos de observación. Teena, Kumar, Sudheesh y Sajeev (2012) sugieren que deben disponerse de datos de al menos 20 años para obtener resultados confiables y establece que el método no es aplicable con datos de menos de 10 años.

Si se tienen M muestras, con cada una de las cuales conteniendo n eventos y si se selecciona el máximo de X de los n eventos de cada muestra, es posible demostrar que, a medida que n aumenta, la función de distribución de probabilidad de x tiende a (1) (Aparicio, 1997):

Función de distribución de valores extremos generalizados:

$$F(x) = \frac{1}{\alpha} \exp \left[\frac{-x - \beta}{\alpha} - \exp \left(\frac{-x - \beta}{\alpha} \right) \right] \quad (1)$$

donde: a y b son los parámetros de la distribución.

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} \sigma \quad (2)$$

$$\beta = \bar{x} - 0.5772\alpha \quad (3)$$

donde: \bar{x} : Media; σ : Desviación estándar estimadas con la muestra.

Para el estudio de series de valores extremos se utilizan diversas distribuciones, la más simple es la de Gumbel:

Para este caso la Probabilidad de Excedencia (PE), se define como la que presenta un valor inferior a un umbral dado, es decir:

$$PE \quad F(x \leq \text{umbral}) = e^{-e^{-(x-\mu)/\alpha}} \quad (4)$$

donde:

$$\alpha = s_x / \sigma_y \quad (5)$$

$$\mu = \bar{x} - \alpha \quad (6)$$

Con:

$F(x)$: Probabilidad de que se presente un valor menor o igual a x

e : La base de los logaritmos neperianos

\bar{x} : Media aritmética de la muestra.

S_x : Desviación estandar de la muestra.

σ_y : desviación típica de los datos considerados.

μ : Parámetro de F

Los autores dan importancia a los modelos de umbrales dentro de la teoría de valores extremos. En este contexto, para definirlo, se parte de unos datos originales: x_1, x_2, \dots, x_n , y se fija un umbral u . Entonces a los valores $y_k = x_k - u$, si $x_k > u$ $k=1, \dots, n$ se les llama excedencias o superaciones del umbral.

Sea una variable aleatoria X unidimensional, y sea u un umbral fijado, se dice que el suceso $\{X=x\}$ es una excedencia del umbral u , si se cumple que $x > u$.

El periodo de retorno (PR) es el tiempo que transcurre entre dos umbrales, siendo inverso a la probabilidad de excedencia:

$$PR = \frac{1}{PE} \tag{7}$$

Resultados y discusión

Las distribuciones de extremos descriptas en datos y métodos se aplican a las fechas de la primera y última helada, con el objeto de estimar la probabilidad de excedencia y período de retorno de ambas, para conocer con precisión los riesgos de su ocurrencia en los períodos hortícolas y frutícolas.

En la figura 2 se muestra el período normal con heladas que se extiende entre el 25 de mayo (fecha media de la primera) y el 31 de agosto (fecha media de la última). En el mismo se observan altas probabilidades de ocurrencia (30-40 %) en el período comprendido entre el 20 de junio y 10 de agosto, con máxima PO entre el 26 de junio y 10 de julio, siendo esta última la del comienzo del mínimo invernal que termina en las proximidades del 16 de julio. En las colas se encuentran las heladas objeto de este trabajo.

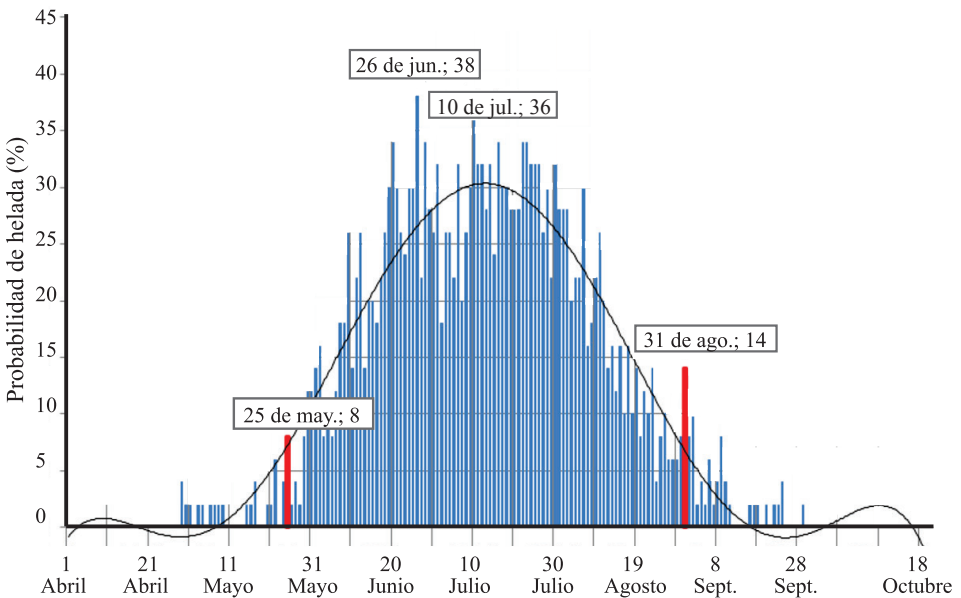


Figura 2. Probabilidad de ocurrencia de heladas en el Valle de Tulum. Fuente: estación meteorológica del aeropuerto D. F. Sarmiento.

Heladas tempranas

Las que ocurren antes de los períodos “normales” se las denomina “tempranas” y son perjudiciales para la horticultura, especialmente las “heladas negras” que destruyen al vegetal congelando su savia, puesto que se producen en un ambiente con aire desprovisto de humedad. Cuando la helada está presente se genera la “helada blanca”, es decir, la típica escarcha que no daña a las plantas como las anteriores y en cierta medida las protege. El análisis de extremos a las mismas se llevó a cabo en los siguientes pasos:

- Primero: se realizó un ajuste entre las fechas de la primera helada con la distribución de Gumbel generalizada.
- Segundo: se calculó su frecuencia acumulada correspondiente al ajuste entre los datos empíricos medidos de la primera helada con la distribución de Gumbel generalizada con intervalos de confianza del 90 %.
- Tercero: se estimó la frecuencia acumulada en porcentaje respecto de la recta de ajuste entre los valores observados y calculados.
- Cuarto y quinto: se obtuvo la probabilidad de excedencia de la fecha de la primera helada y su período de retorno en años con sus intervalos de confianza del 90 %.

Los gráficos han sido generados con el software EasyFit para ajustar distribuciones de probabilidad. La figura 3 muestra el ajuste óptimo de 0,07761 según el test de Kolmogorov-Smirnov (Varas y Bois, 1998) del histograma de las fechas de la primera helada con la distribución GEV, lo que confirma la compatibilidad de la frecuencia acumulada conjunta entre los datos medidos y dicha distribución (Fig. 6).

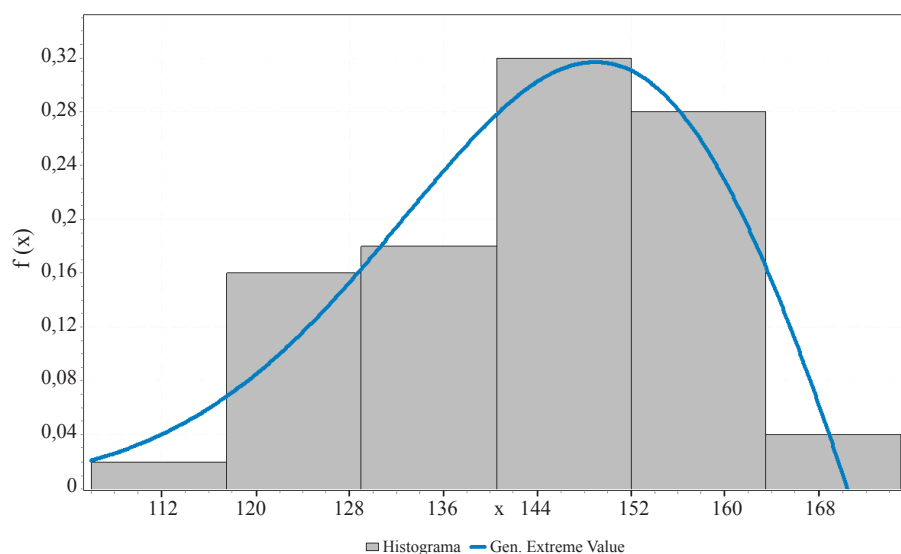


Figura 3. Histograma correspondiente al ajuste entre las fechas de la primera helada con la distribución de Gumbel generalizada. Fuente: elaborado por Poblete y Vera.

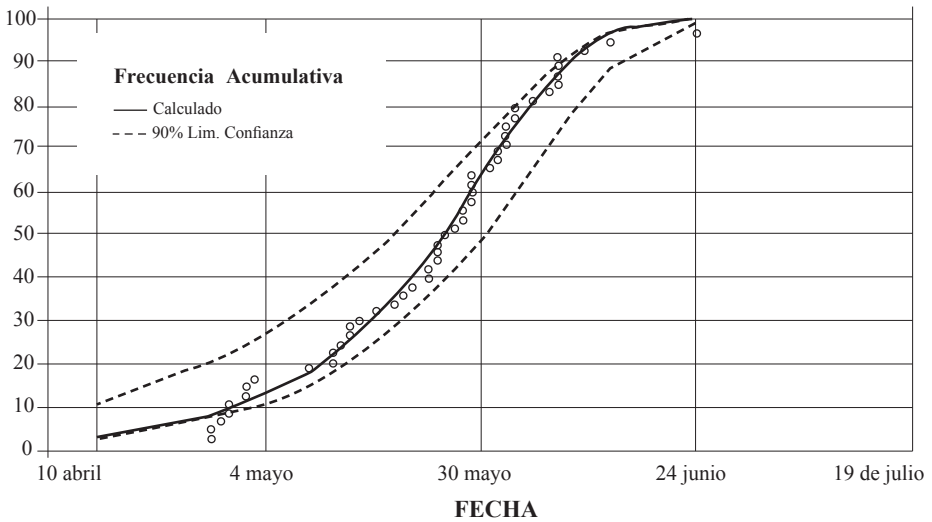


Figura 4. Frecuencia acumulada correspondiente al ajuste entre los datos empíricos medidos de la primera helada con la distribución de Gumbel generalizada y sus correspondientes intervalos de confianza del 90 %. Fuente: Elaborado por Poblete y Vera

Para confirmar lo anterior se realiza una recta de ajuste (Fig. 5) que contrasta la frecuencia acumulada de la GEV con la de los datos, verificando óptimamente al mismo. Estas pruebas habilitan a que la GEV sea usada para la estimación de los parámetros buscados como se muestra a continuación.

La figura 6 muestra la probabilidad (%) de que la primera helada supere un valor determinado; se observa que el 20 de abril presenta un 2 %, el 30 un 10 %, el 15 de mayo alcanza el 30 % y a partir del 28 de mayo supera el 50 % coincidiendo con la fecha media de la primera helada (Poblete e Iranzo, 2011), alcanzando el 100 % el 29 de junio. De esta manera, el mayor peligro de ocurrencia de una helada temprana se encuentra entre el 20 de abril y el 15 de mayo.

Para evaluar la posibilidad de reiteración de una helada temprana se calcula el período de retorno de las mismas. En la figura 7 se observa que se necesitan 32 años para que en el 6 de abril se repita la helada, 23 años para el 15 de abril, 12 años para el 30 de abril, 5 años para el 10 de mayo, a partir de la cual las fechas se acercan al promedio de la primera helada, el 25 de mayo (Poblete e Iranzo, 2011) comprendido entre el 20 y el 25 de mayo con un período de retorno que oscila entre 1 y 2 años.

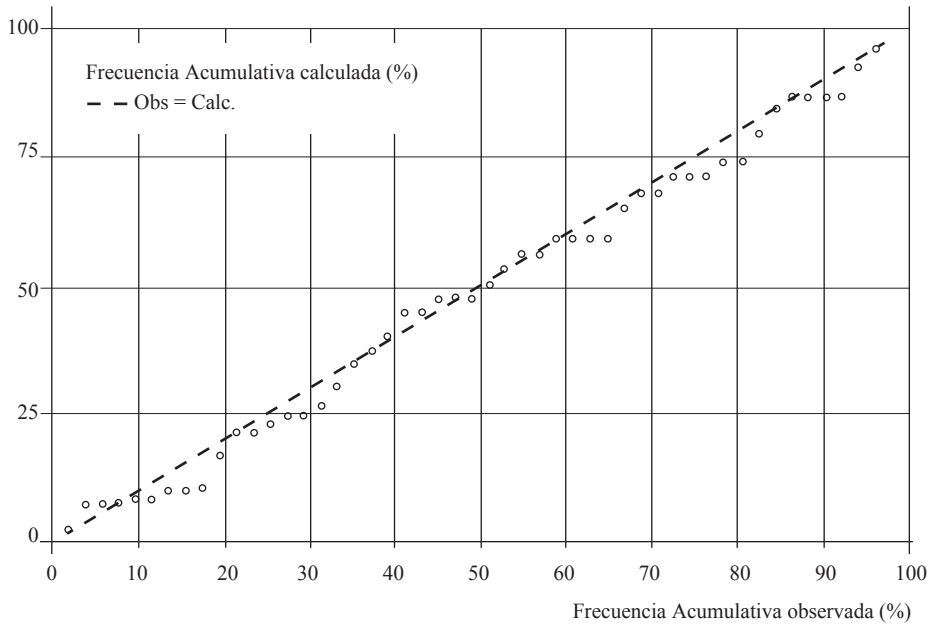


Figura 5. Frecuencia acumulada en porcentaje respecto de la recta de ajuste entre los valores observados y calculados. Fuente: elaborado por Poblete y Vera.

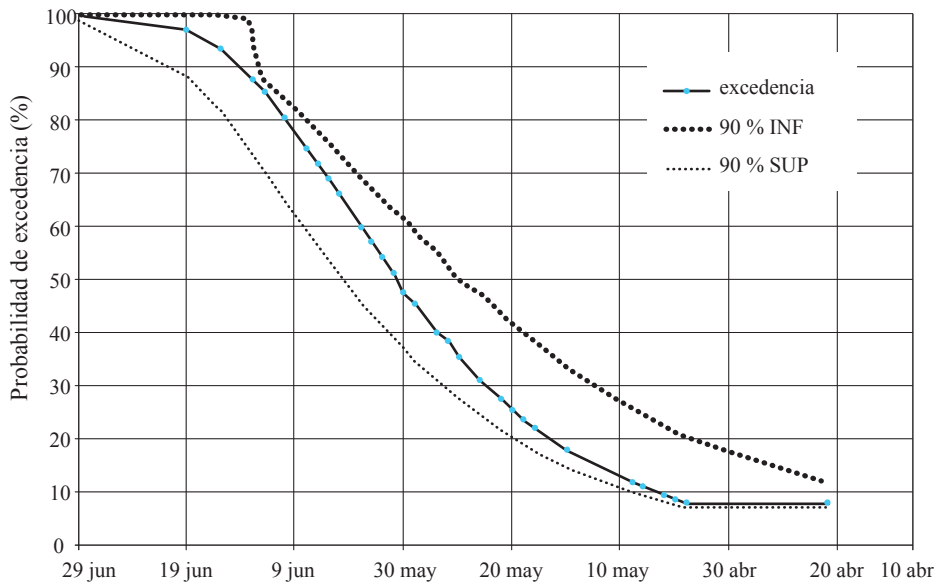


Figura 6. Probabilidad de excedencia de la fecha de la primera helada.

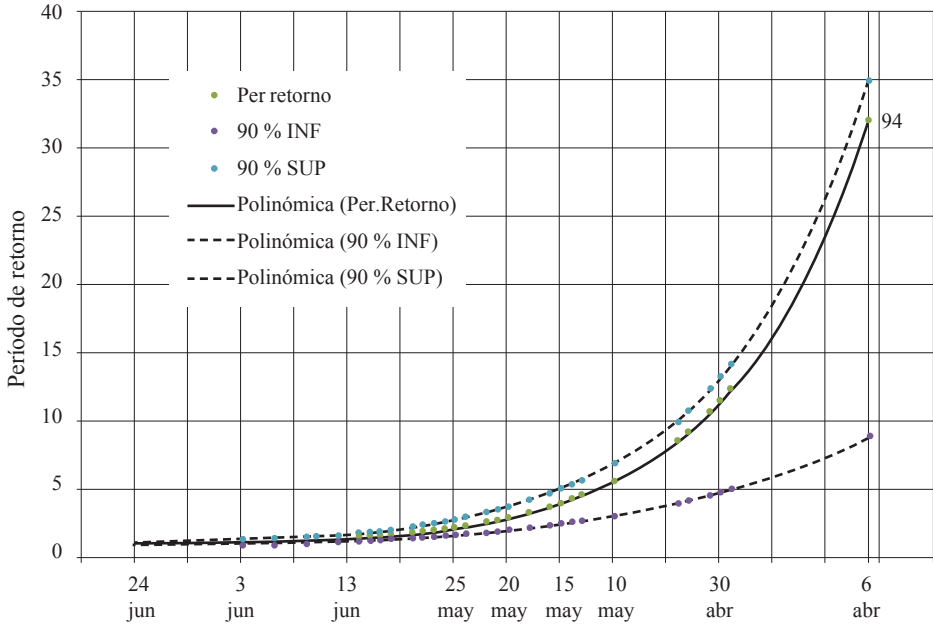


Figura 7. Período de retorno en años con sus intervalos de confianza del 90 % correspondiente a la primera helada. Fuente: elaborado por Poblete y Vera.

Cuando se produce una helada, el efecto en la planta es en el ámbito celular; se congela el agua intercelular provocando, entre otros daños, su deshidratación (plasmólisis) o la ruptura de la célula. El hielo puede ocasionar heridas en la planta por las cuales suelen ingresar agentes patógenos (Vaysse y Jourdain, 1992). Se pueden también destruir las yemas y las flores, impidiendo que se transformen en frutos.

Heladas tardías

Las heladas primaverales son llamadas también tardías y mientras más se retrasen, mayores serán las pérdidas en las especies bajo cultivo.

Para llevar a cabo su estudio pormenorizado, se realiza el siguiente análisis de extremos: el ajuste entre el histograma con la distribución GEV (Fig. 8), donde se observa un apartamiento en los valores centrales; sin embargo, la coherencia entre las frecuencias acumuladas de ambas (Fig. 9) contribuyen a considerar a la GEV como la representante teórica de la muestra empírica.

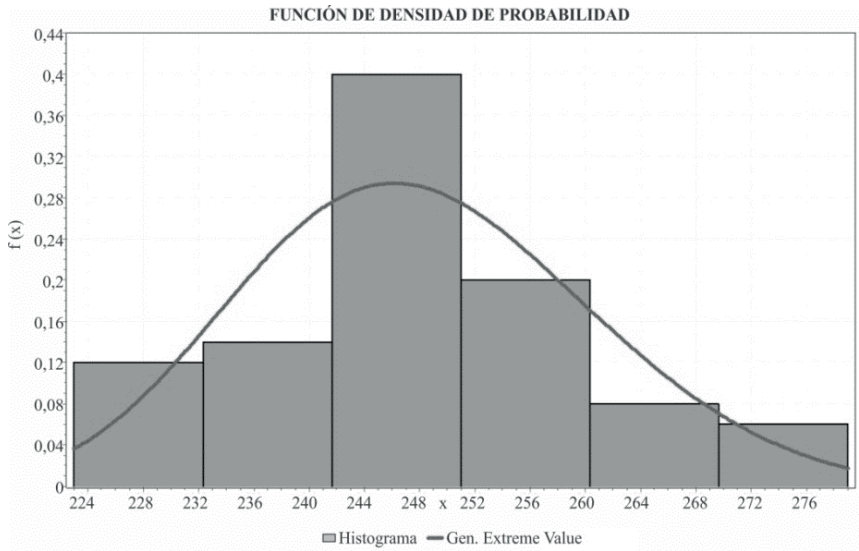


Figura 8. Histograma correspondiente al ajuste entre las fechas de la última helada con la distribución GEV. Fuente: elaborado por Poblete y Vera.

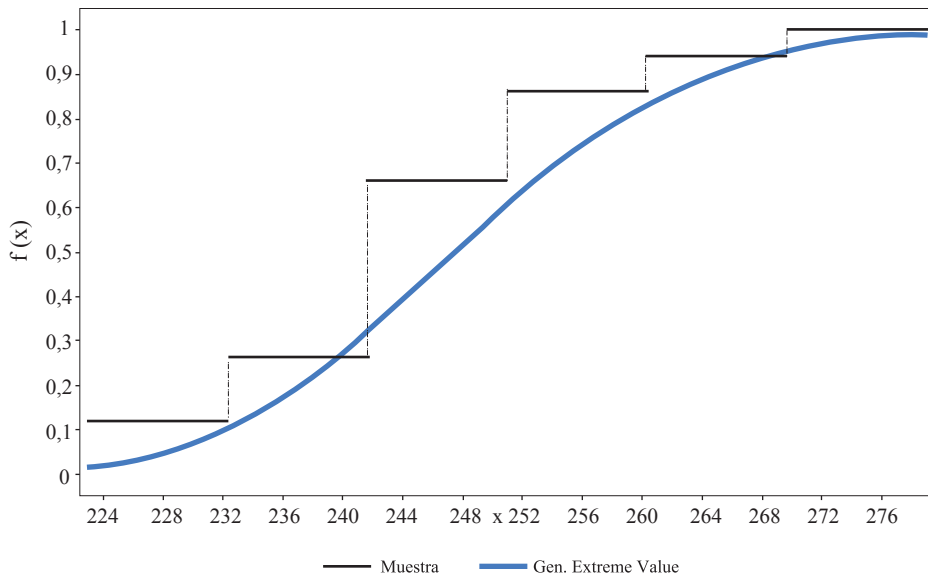


Figura 9. Frecuencia acumulada de los datos de la última helada y el ajuste GEV. Fuente: elaborado por Poblete y Vera.

Para confirmar el análisis anterior se realiza el ajuste entre los datos originales y la distribución GEV, con los correspondientes intervalos de confianza del 90 % (Fig. 10) verificándose que los datos se ubican dentro de los mismos, acompañando en muchos casos a la línea de la GEV. Esto se confirma con la recta de ajuste entre las

frecuencias acumuladas de los datos originales con la GEV (Fig. 11). De esta manera, se considera adecuado representar los datos empíricos con los teóricos aportados por la GEV para el cálculo de la probabilidad de excedencia y período de retorno.

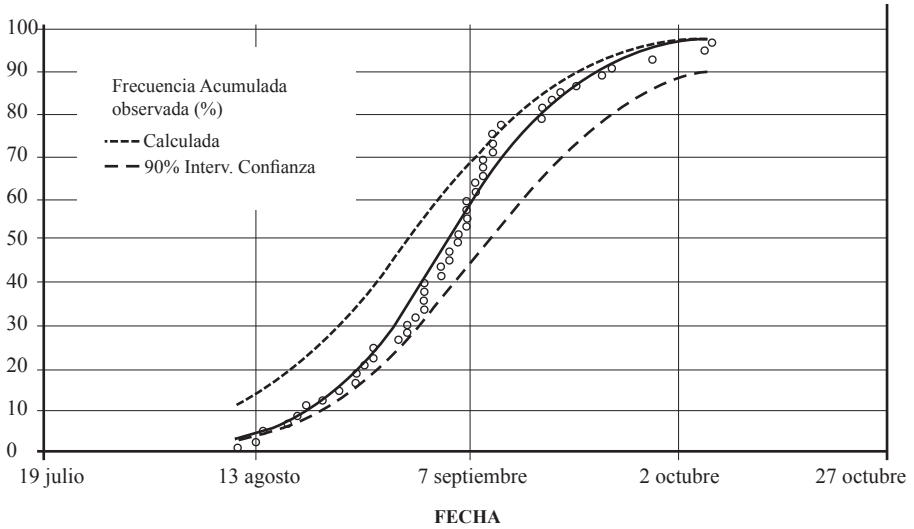


Figura 10. Frecuencia acumulada correspondiente al ajuste entre los datos empíricos medidos (puntos) de la última helada con la distribución GEV (línea continua) y sus correspondientes intervalos de confianza del 90 % (punteado).

Fuente: elaborado por Poblete y Vera.

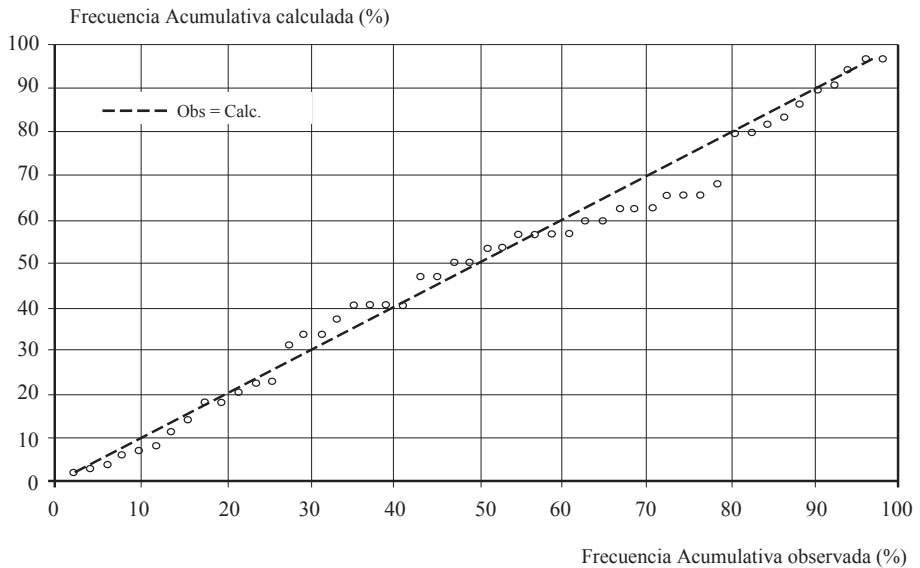


Figura 11. Ajuste Lineal entre la frecuencia acumulada en porcentaje de los valores observados y calculados. Fuente: elaborado por Poblete y Vera.

La probabilidad de excedencia de las heladas tardías se muestra en la figura 12, en la que se observa que el 7 de octubre tiene aproximadamente un 2 %, el 17 de septiembre un 12 %, elevándose a valores muy significativos el 7 de septiembre con un 40 %, mientras que el 2 de septiembre presenta un 59 %, siendo este el límite entre el período normal y tardío; determinándose este límite por las fechas de inicio y finalización del período de heladas. A diferencia de las heladas tempranas estas tienen probabilidades muy significativas en un período vegetativo cuando se produce el brote y la floración de los frutales.

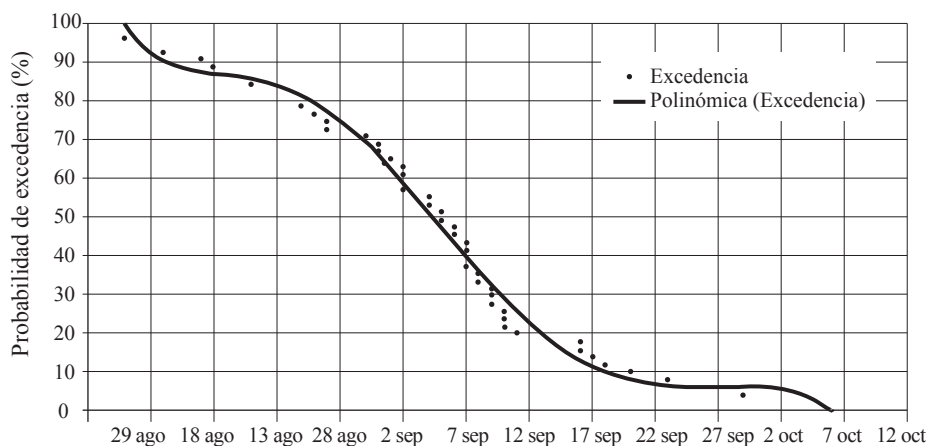


Figura 12. Probabilidad de excedencia de las fechas de la última helada. Fuente: elaborado por Poblete y Vera.

El período de retorno de las heladas tardías se observa en la figura 13, siendo los valores más relevantes los siguientes: para que se vuelva a producir una helada desde el 8 de agosto al 2 de septiembre el período oscila entre 1-2 años, lo que es coherente con el normal descrito en la figura 2; para el 7 de septiembre se requieren 3 años, ascendiendo a 7 años el 17 de septiembre. Por su parte, el 22 de septiembre necesita 11 años y el 2 de octubre 40 años. Obsérvese el rápido crecimiento desde el 27 de septiembre con más de 20 años.

Bajas temperaturas durante el brote pueden dañar la yema primaria, con pérdidas de producción, pero no de crecimiento. El brote emergente y, luego, las hojas todavía inmaduras son muy sensibles a heladas. Es decir, una helada tardía puede afectar a dos de los componentes del rendimiento del frutal: el número de brotes y el tamaño de los frutos, ya que puede dañar la diferenciación floral en caso de que el brote resista la helada (*Diario de Cuyo*, 2016/09/10).

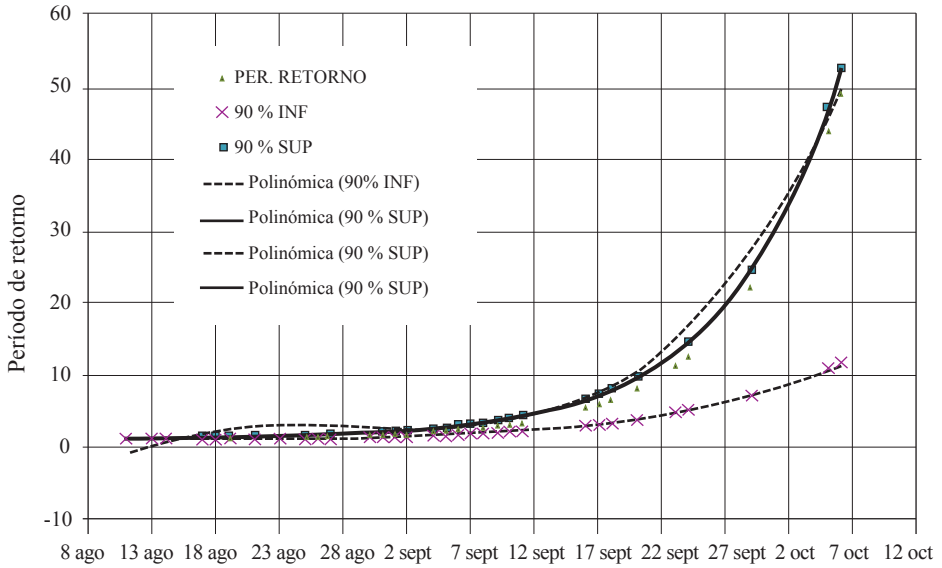


Figura 13. Período de retorno con sus intervalos de confianza del 90 % correspondiente a la última helada. Fuente: elaborado por Poblete y Vera.

Conclusiones

Los principales resultados con la aplicación de la metodología citada fueron los siguientes:

Para fechas de heladas tempranas:

- a. La PE (%) de que la fecha de la primera helada supere un porcentaje dado es la siguiente: el 6 de abril un 2 % y un PR de 32 años; el 15 de abril una PE de 5% y un PR de 23 años; el 20 de abril una PE del 2 % y un PR de 20 años, el 30 abril una PE de 10 % y un PR de 12 años; el 15 de mayo con un 30 % de PE y un PR 4 años; 10 de mayo una PE de 12 % y un PR de 5 años; el 28 de mayo supera el 50 % de PE con un PR de 2 años coincidiendo con la fecha media de la primera helada, alcanzando el 100 % el 29 de junio.
- b. De esta manera, el mayor peligro de ocurrencia de una helada temprana se encuentra entre el 20 de abril y 15 de mayo.

Para fechas de heladas tardías:

- α. La PE de la fecha de las heladas tardías para el 7 de octubre tiene un 2 % y un PR de 55 años, el 17 de septiembre una PE de 12 % y una PR de 7 años, ele-

vándose a valores muy significativos el 7 de septiembre con una PE del 40 % y un PR de 3 años, mientras que el 2 del mismo mes presenta una PE de 59 % siendo este el límite entre el período normal y tardío y un PR de 1-2 años; el 22 de septiembre con una PE del 7 % y un PR de 11 años; el 2 de octubre una PE de 8 % y un PR 40 años.

- β. A diferencia de las heladas tempranas, las heladas tardías tienen probabilidades muy significativas en un periodo vegetativo cuando se produce el brote y la floración de los frutales.

El ejemplo desarrollado muestra la versatilidad del GEV para determinar la ocurrencia y tiempo de retorno de eventos extremos, de cualquier índole, que se presenten en las investigaciones geográficas como fenómenos poco frecuentes.

Agradecimientos

Al Proyecto Análisis Estadístico-Dinámico de los Eventos Extremos Térmicos, Hídricos, Eólicos y Extemporáneos de la Región de Cuyo en el Escenario del Cambio Climático Global, CICITCA-UNSJ. Res. 021/18- CS-UNSJ, por su respaldo económico. Al Instituto de Investigaciones Hidráulicas (IDIH) –UNSJ—, por el lugar de trabajo.

Referencias

Aparicio, M. (1997). *Fundamentos de hidrología de superficie*. México: Limusa Grupo Noriega.

Bobée, B. y Ashkar, F. (1991). *The gamma family and derived distributions applied in Hydrology*. Littleton, CO: Water Resources Publications.

Clarín (2018/07/25). Cambio climático: La ola de calor en Europa llega hasta Siberia, con 40 grados. Sección Mundo. Recuperado de https://www.clarin.com/mundo/arde-europa-julio-calido-260-anos_0_S1pYqBLEm.html.

Chow, V., Maidment, D. y Mays, L. (1994). *Hidrología aplicada*. Santa fé de Bogotá: Mc Graw Hill.

Diario de Cuyo (2016/09/10). La helada dañó severamente las uvas de mesa y carozos locales. Sección Locales. Recuperado de <https://www.diariodecuyo.com.ar/suplementos/La-helada-daño-severamente-las-uvas-de-mesa-y-carozos-locales-20160910-0080.html>.

Diario La Capital (2013/04/04). El Servicio Meteorológico indicó que sobre La Plata cayeron 181 milímetros. Sección Temas del Día. Recuperado de <https://www.lacapital.com.ar/informacion-gral/el-servicio-meteorologico-indico-que-la-plata-cayeron-181-milimetros-n437264.html>.

Diario Tiempo de San Juan (2017/10/04). Tremendo Zonda: Mirá todas las actividades suspendidas. Sección San Juan. Recuperado de <https://www.tiempodesanjuan.com/sanjuan/2017/10/4/tremendo-zonda-mira-todas-actividades-suspendidas-192562.html>.

El Intransigente (2019/01/09). Bariloche registró una impresionante nevada en pleno enero. Sección Sociedad. Recuperado de <https://www.elintransigente.com/sociedad/2019/1/9/bariloche-registro-una-impresionante-nevada-en-pleno-enero-534597.html>

Equipo Meteochile Blog (04/02/2019). El calor sigue batiendo récord [Blog oficial de la Dirección Meteorológica de Chile]. Recuperado de <http://blog.meteochile.gob.cl/2019/02/04/el-calor-sigue-batiendo-records/> Gumbel E. J. (2004). *Statistics of extremes*. Courier Dover Publications.

Infobae (2018/07/03). Frío polar: con -98°C, la Antártida batió el récord de la temperatura más baja registrada en la Tierra. Recuperado de <https://www.infobae.com/turismo/2018/07/03/frio-polar-con-98c-la-antartida-batio-el-record-de-la-temperatura-mas-baja-registrada-en-la-tierra/>

Infocampo (2016/09/07). Continúan las heladas en San Juan y se agrava el estado de los cultivos. Sección Agricultura. Recuperado de <https://www.infocampo.com.ar/continuan-las-heladas-en-san-juan-y-se-agrava-el-estado-de-los-cultivos/>.

Infocampo (2013/02/01). Granizo, inundaciones y evacuados en San Juan. Recuperado de <https://www.infocampo.com.ar/granizo-inundaciones-y-evacuados-en-san-juan/>.

La Nación (2018/07/24). Los incendios forestales arrasan en Grecia: al menos 74 muertos cerca de Atenas en medio de la ola de calor. Sección El Mundo. Recuperado de <https://www.lanacion.com.ar/el-mundo/los-incendios-forestales-arrasan-en-grecia-al-menos-50-muertos-cerca-de-atenas-en-medio-de-la-ola-de-calor-nid2155816>.

La Provincia SJ (2018/24/12). Mirá cómo avanza la ola de calor en San Juan. Sección Tiempo. Recuperado de <https://www.diariolaprovinciasj.com/sociedad/2018/12/24/mira-como-avanza-la-ola-de-calor-en-san-juan-101924.html>

Minetti, J. L. (1991). *Estudio de las singularidades climáticas en series de temperaturas del Noroeste Argentino* (Tesis de doctorado). Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires.

Poblete, A. G. y Minetti, J. L. (2006). Propuesta de modelos empíricos predictivos del derrame anual de río San Juan. *Revista de Geografía*, 10(6), 11-20.

Poblete, A. G. (2009). Análisis Climático de dos inviernos extremos y contiguos en San Juan. Argentina- y de su relación con el Calentamiento Global. *Revista de Geografía*, 13, 59-66.

Poblete, A. G. y Iranzo, D. (2011). Variabilidad interanual y estacional del régimen de heladas en el valle de Tulum –San Juan. Periodo 1960-2010. *Revista de Geografía*, 15, 24-29.

Poblete, A. G. (2014). Agentes dinámicos que produjeron el extremo de precipitación más importante desde que se tienen registros en el Valle de Tulum. *Revista de Geografía*, 19.

Poblete, A. G. y Vera, M. J. (2017). Análisis climatológico dinámico de la transición entre el periodo nival seco 2010-2014 a uno normal 2015-2016, en los Andes Áridos. *Revista Geográfica*, 158, 107-129

Quereda Sala, J., Montón Chiva, E. y Escrig Barberá, J. (2007). Un análisis experimental del efecto urbano sobre las temperaturas. *Investigaciones Geográficas*, 43, 5-17.

Teena, N. V., Kumar, V. S., Sudheesh, K., y Sajeev, R. (2012). Statistical analysis on extreme wave height. *Natural Hazards*, 64(1), 223-236.

Télam (2018/02/21). La sequía afecta al maíz tardío y a la soja en el centro-norte de la provincia. Recaudado de <https://www.telam.com.ar/notas/201802/252471-la-sequia-afecta-al-maiz-tardio-y-a-la-soja-en-el-centro-norte-de-la-provincia.html>

Varas, E. y Bois, P. (1998). *Hidrología probabilística*. Santiago de Chile: Editorial Universidad Católica de Chile.

Vaysse, P., Jourdain, J. M. y Audubert, A. (1992). *Protection des vergers contre les gelées printanières*. París: CTIFL.

WMO (1966). *Climatic Change* (Technical Note n.º 79). Génova: Word Meteoerological Organization.

Zucarelli, G. (2013). Identificación de eventos hídricos extremos en la cuenca del río Paraná. *Tecnología y ciencias del agua*, 4(5), 181-187.

Fecha de recepción: 6 de septiembre de 2018

Fecha de aceptación: 2 de abril de 2019

© 2019 por los autores; licencia otorgada a la Revista Universitaria de Geografía. Este artículo es de acceso abierto y distribuido bajo los términos y condiciones de una licencia Atribución-NoComercial 2.5 Argentina de Creative Commons. Para ver una copia de esta licencia, visite http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/ar/deed.es_AR

