

ESTUDIO CLIMATOLÓGICO Y REGIONALIZACIÓN DE LAS HELADAS METEOROLÓGICAS EN URUGUAY: 1950 - 2009

Santiago de Mello¹, Madeleine Renom¹
sdemello@fisica.edu.uy, renom@fisica.edu.uy

¹Departamento de Ciencias de la Atmósfera, Facultad de Ciencias, Universidad de la República - Uruguay

RESUMEN

El presente trabajo se basa en el estudio de las características climatológicas de las heladas meteorológicas en Uruguay. La importancia del mismo se basa en que Uruguay es un país con una fuerte vinculación económica con el sector agropecuario y el impacto de estos eventos se refleja rápida y directamente en la economía del país. Sin embargo existen muy pocos trabajos sobre el tema. A partir de datos diarios de temperatura mínima de alta calidad, provenientes de 11 estaciones meteorológicas de Uruguay que cubren el período 1950-2009, se construyeron las series temporales de heladas. Definimos helada cuando la temperatura mínima es menor o igual a 0°C. El promedio anual de días con heladas para todo el país es de 7 días, donde la región más costera presenta un promedio bastante menor (2 días), incluso en esas estaciones existen varios años sin ocurrencia de eventos. Se observó que las primeras décadas del período analizado presentan una mayor cantidad de eventos. No se observaron tendencias marcadas en la ocurrencia de eventos, pero si se observaron cambios importantes en el período de heladas. Una disminución del período de heladas del orden de 5 días por década, así como un corrimiento en la fecha media del período de 7 días hacia el mes de agosto. Concluyendo que si bien ocurren la misma cantidad de eventos, los mismos se concentran en un período más corto. Los eventos de heladas generalizadas se concentran en los meses de junio y julio y fueron más frecuentes en las primeras décadas del análisis así como en la década del 90. Las técnicas de regionalización aplicadas permitieron definir 2 zonas con comportamientos similares en cuanto a la ocurrencia de heladas. Una ubicada en la región centro-Noroeste del país y la otra en la región sur.

ABSTRACT

In this paper we present a climatology of frost events in Uruguay. The importance of it, is based on that Uruguay economy is based primarily in the agriculture sector, were the impact of these kind of events will affects the economy. However there are few studies on the subject. Based on a high quality daily database of minimum temperature from 11 meteorological stations in Uruguay that cover the period 1950-2009 the frost time series were constructed. We define frost day when the daily minimum temperature is less than or equal to 0°C. The mean annual frost days for the whole country is 7 days, where the coastal region has a lower mean (2 days), it is worth to mention that those stations have several years without occurrence of events. In general, we detected that the first decades of the period analysed have a greater number of events. With regard to the trend analysis, the result does not present significant change regarding the occurrence of frost, but significant changes were detected in the period of frost. A decrease in frost period of about 5 days per decade, as well as a shift in the mean date of the period of seven days in the month of August. Concluding that same amount of frost events are concentrated in a shorter period. With regards of generalized frost we found that are concentrated in the months of June and July and were more frequent in the early decades of analysis and in the 90's. The regionalization techniques applied allowed to define two regions with similar behaviour in terms of the occurrence of frost. One located in the center-northwest of the country and the other in the south region.

Palabras clave: Heladas, Climatología, Uruguay.

1) INTRODUCCIÓN

Conocer y entender los eventos de heladas es de vital importancia para la región de Sudamérica por el impacto que tienen, principalmente en el sector agropecuario. En ese sentido, Uruguay es un país con una fuerte vinculación económica a este sector y el impacto de estos eventos se refleja rápida y directamente en la economía del país. Sin embargo, existen muy pocos trabajos enfocados en Uruguay. Buró (1961), realiza una climatología de los diferentes aspectos de las heladas del período 1933-1953 basado en información proveniente de 11 estaciones del país. Recientemente, el Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria del Uruguay (INIA) publicó una Caracterización Agroclimática de Uruguay para el período 1980–2009, Castaño y otros (2012). En este informe se analizan las heladas agrometeorológicas, las cuales se basan en información de temperatura sobre césped. Por otro lado, existe una diversidad de informes técnicos sobre este tipo de eventos, principalmente orientados a estudios de cultivos en particular y en períodos específicos. Cabe destacar que no se encontraron trabajos locales publicados en revistas científicas con referato.

Dentro de los estudios para la región del Sudeste de Sudamérica y específicamente para Argentina, Fernández-Long y otros (2013), analizan los cambios observados en diferentes índices agroclimáticos basados en temperatura durante el período 1940-2007. En lo que refiere a los índices que se definen para las heladas, los autores observan una disminución en la ocurrencia de heladas al considerar todo el período, pero en el período 1975-2007 no se observa un comportamiento homogéneo de las tendencias, perdiendo significancia estadística. En lo que respecta a la fecha de la primera helada y última helada, detectan que la primera ocurre más tarde mientras que la segunda ocurre más temprano en el año, sugiriendo una disminución en el período de heladas.

El trabajo de Marengo y Camargo (2008) si bien no analiza específicamente las heladas, realiza un estudio de las tendencias de temperaturas para el sudeste de Brasil en el período 1960-2002. En el estudio se encontraron tendencias significativas en los valores medios de las temperaturas mínimas anuales y en el invierno (JJA). También realizan un análisis de tendencias para las noches frías (temperaturas mínimas menores o iguales a 0°C), mostrando una tendencia positiva en las décadas de los 70's y 80's y una tendencia negativa desde los 80's hasta el 2002. Se destaca en este trabajo que las tendencias de las noches frías no siempre acompañan las tendencias de temperaturas.

Muller y otros (2005) realizan un análisis de las heladas generalizadas en Argentina, definiéndolas como eventos de heladas que se registran en más del 75% de las estaciones. En el estudio se registran los eventos ocurridos por año para el período 1961-1990 y se determinan la cantidad de heladas generalizadas por año y el mes de ocurrencia. Los años que presentan mayor cantidad de eventos fueron 1970, 1974, 1976 y 1988, con más de 10 casos registrados. En el análisis de circulación los autores encuentran que los períodos con mayor cantidad de heladas generalizadas están asociados con anomalías anticiclónicas de presión en superficie sobre el continente Sudamericano, favoreciendo la incursión de aire frío hacia el continente.

Diferentes trabajos muestran una tendencia positiva en la temperatura mínima, más específicamente en los índices de extremos basados en dicha temperatura (noches cálidas y frías). Los cambios en la temperatura mínima ¿afectan los eventos de heladas?, para contestar esta pregunta, el presente trabajo se plantea como objetivo general caracterizar los aspectos climáticos de las heladas meteorológicas en Uruguay, para poder analizar la existencia de cambios. Como objetivo particular se plantea la posibilidad de generar regiones del país que sean espacialmente homogéneas en cuanto a la ocurrencia de heladas, para poder continuar con los análisis dinámicos asociados a estos eventos.

A continuación se describen los datos utilizados y la metodología implementada en el trabajo. En la sección 3, se desarrollan los resultados obtenidos y la sección 4 presenta las conclusiones.

2) DATOS Y METODOLOGIA

Para este trabajo se utilizaron datos de temperatura mínima (T_n) diaria de once estaciones meteorológicas convencionales de Uruguay. El criterio para seleccionar las estaciones se basa en la necesidad de contar con series extensas, digitalizadas y con control de calidad. De dichas estaciones, diez pertenecen a la Instituto Uruguayo de Meteorología (INUMET) y la estación La Estanzuela al Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIA). La figura 1 muestra la ubicación de las estaciones utilizadas para este estudio, el porcentaje de datos faltantes y los períodos de cierre. Si bien algunas de ellas presentan registros más largos del período utilizado, se optó por utilizar el período común 1950-2009, por ser este el más completo y apropiado para los fines del trabajo. El control de calidad de las series se realizó según la metodología utilizada en Renom (2009) y parte de la digitalización de las series se realizó con el apoyo del proyecto CLARIS-LPB.



Figura 1: Ubicación geográfica de las estaciones meteorológicas utilizadas (izquierda). % de datos faltantes y período de cierre prolongados de las estaciones (derecha).

Se define helada meteorológica a los eventos en los cuales la T_n alcanza valores menores o iguales a 0°C al abrigo meteorológico. El período de heladas se define por la fecha de la primera y última helada ocurrida para todo el período analizado y para cada estación.

Para determinar cambios en el período de ocurrencia de heladas se calcularon el valor medio y los percentiles 10 y 90 de la fecha de ocurrencia de heladas. Se determinaron los cambios aplicando la misma metodología pero con una ventana móvil de diez años. Para el ajuste y determinación de los percentiles se utilizaron las funciones Chi-cuadrado, Gama y Gaussiana. Luego se determinó como mejor ajuste la que presenta menor error absoluto.

Para el análisis de tendencias lineales se utilizó el test de Sen (1968) ya que es un test no paramétrico basado en el estudio de los cambios de las pendientes en las series y que admite datos faltantes. Para la significancia estadística se utilizó el test de Student, estableciendo como valor de significancia el 5%.

Las heladas generalizadas (HG) se definieron siguiendo el criterio utilizado por Müller (2006). Este trabajo define HG cuando el evento es registrado en más del 75% de las estaciones, lo cual en nuestro estudio este criterio se cumple cuando se registra en 8 o más estaciones.

Por último, para el estudio de la regionalización espacial se aplicaron dos metodologías: Análisis de Cluster (AC) y Análisis de Componentes Principales (ACP).

Para determinar los clusters, se realizaron diagramas de árbol jerárquico, en estos diagramas se observa la distancia entre los puntos y se muestra la agrupación que se va conformando. Luego se determina un criterio apropiado para determinar el número de clusters. Para estudiar la robustez de los clusters se procedió a repetir el análisis, pero quitando años a las series de forma aleatoria.

El ACP permite analizar de forma conjunta la covariabilidad de las series. Se determina un conjunto de funciones ortogonales empíricas (EOF, por sus siglas en inglés), que son estructuras espaciales de la matriz de correlación y los componentes principales (CP). Estos últimos muestran cómo han variado las EOF en el tiempo. La expresión matemática que resume esta descomposición es la siguiente:

$$X(x, y, t) = \sum CP(t).EOF(x, y) \quad (1)$$

Donde en la ecuación 1, X es la serie de datos para cada estación (x, y) que identifica a una estación. Cada uno de los CP y EOF explica un porcentaje de varianza de las series originales, tanto en la variabilidad espacial (EOF) como en la temporal (CP) (Wilks, 1997). Dado que cada EOF determina un campo espacial en función de los once puntos correspondientes a cada estación, se utiliza para interpolar en todo el país el método de Kriging (Stein, 1999), obteniendo así el patrón espacial.

3) RESULTADOS

3.1) Características generales y período de heladas.

En el período analizado se destaca el evento de los días 14-16/06/1967 como el evento más frío a nivel país. De las 11 estaciones analizadas, 8 de ellas presentan el mínimo absoluto en este evento, mientras que la estación Artigas estaba cerrada en dicho año (ver fig. 1). El registro más bajo ocurrió en este evento en Melo con un registro de -11°C . Es importante mencionar que este evento fue registrado en Argentina (Müller y otros, 2005; Müller y otros 2006)

La temperatura media de las heladas registrada en casi todas las estaciones es cercano a $-1,0^{\circ}\text{C}$ y muestra un comportamiento homogéneo a excepción de Melo que presenta $-1,7^{\circ}\text{C}$. El promedio anual heladas se encuentra entre 13 y 2 eventos en Melo y Prado respectivamente. Se observa que las estaciones costeras tienen un menor número de heladas en promedio lo cual sugiere una posible influencia marítima en este sentido.

La figura 2 muestra el período de heladas para cada estación. Se define el período de ocurrencia de heladas para todas las estaciones, el comprendido entre los meses de Abril a Octubre. Cabe aclarar que solo en Melo se registró un caso aislado en el mes de Marzo.

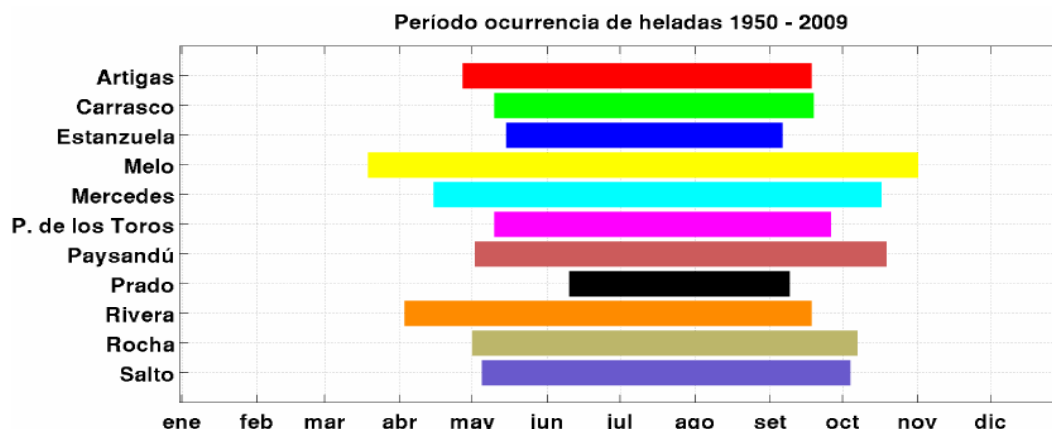


Figura 2: Período de ocurrencia de heladas.

Prado tiene el período más corto con 92 días, esta es una estación que se encuentra dentro de la ciudad de Montevideo y posiblemente esta afectada por los efectos del calor urbano. Mientras que la estación Melo presenta el período más largo con un total de 228 días. Teniendo esto en cuenta, se puede definir otro período: período central de las heladas, como aquel que compartan la mayor cantidad de estaciones. Se define como período central de heladas al comprendido entre el 15 de mayo y el 2 de setiembre con un total de 110 días.

Por último se observa que las estaciones ubicadas al sur (Estanzuela, Carrasco y Prado), son las que presentan un período de heladas más corto. Conjuntamente a lo mencionado anteriormente sobre la cantidad de heladas al año, estas tres estaciones presentan un período más corto y con menos registros de heladas.

Para un análisis a escala diaria, se construyeron gráficos para todas las estaciones como el que se muestra a modo de ejemplo en la figura 3 para la estación de Paysandú. Los mismos presentan: a) Distribución de las heladas ocurridas y su intensidad; b) la distribución porcentual de datos faltantes (%DF); c) la cantidad de heladas por año (#H) y la variabilidad decadal (línea roja) obtenida a partir de la media central móvil de 9 años; d) marcha diaria en la cantidad de casos (barra gris) y Tn media de los eventos (barra azul), ambos suavizados con una media móvil de 15 días (líneas negra y azul respectivamente); e) ubicación de la estación.

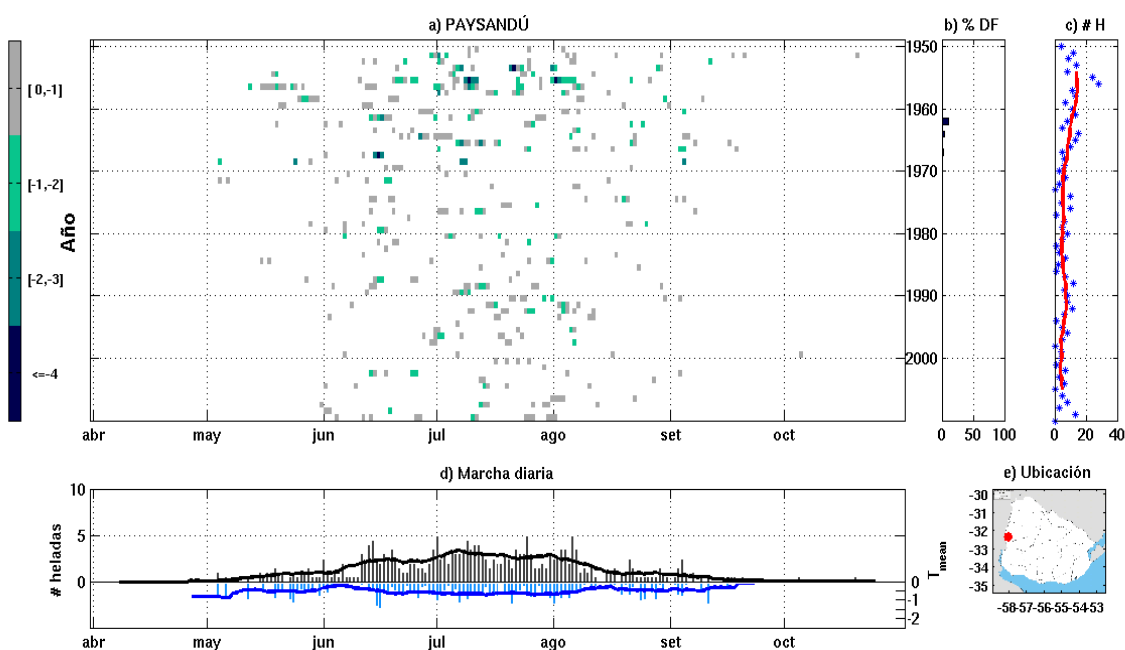


Figura 3: Ejemplo estación Paysandú; a) Distribución de las heladas ocurridas y su intensidad; b) %DF ; c) #H y la variabilidad decadal (línea roja) ; d) cantidad de casos (barra gris); Tn media de los eventos (barra azul), medias móviles de 15 días (líneas negra y azul respectivamente); e) ubicación de la estación.

Del análisis en conjunto se observa que las primeras décadas del período (50's-70's) muestran una mayor frecuencia de eventos, así como una mayor persistencia en los días consecutivos con heladas. El análisis de variabilidad decadal se aplicó únicamente a las estaciones que no presentaban períodos prolongados de cierre mayores a un año. Los resultados muestran que gran parte de las estaciones marcan una variabilidad decadal.

Como es de esperar la marcha diaria muestra que la mayor cantidad de eventos se centran en los meses

de junio, julio y la primer quincena de agosto. Sin embargo se observa que los eventos ocurridos en los meses de Mayo hasta mediados de junio son los que presentan temperaturas medias de los eventos más bajas, sugiriendo que en dicho momento del año si bien ocurren menos eventos los mismos pueden ser más intensos.

3.2) Análisis de Tendencias.

La tabla 1 presenta el análisis de tendencia del período 1950-2009, donde se muestran los resultados significativos al 5 % de: ocurrencia anual de heladas (#H), tendencia anual de Tn, de Tn en el período de heladas y de cada mes dentro del período de heladas. Al observar la tendencia de ocurrencia de heladas, solo 4 estaciones presentan significancia estadística, 2 positiva y 2 negativa. Sin encontrar un comportamiento homogéneo en las mismas.

	# H por año	Tn anual	Tn abr-oct	Tn abr	Tn may	Tn jun	Tn jul	Tn ago	Tn set	Tn oct
Artigas	+	+		+						+
Carrasco		+	+	+				+		+
Estanzuela				+						
Melo		+	+	+	+			+		
Mercedes	+									
P. de los Toros		+		+						+
Paysandú	-	+	+	+				+		+
Prado		+	+	+	+			+	+	+
Rivera		+	+	+		+	+	+	+	+
Rocha	-	+		+						

Tabla 1: Tendencia y significancia estadística al 5%, en la ocurrencia de heladas anuales, Tn media anual, Tn entre abril-octubre y por mes del período de ocurrencia de heladas.

El análisis de tendencias de las Tn se realizó con el fin de identificar alguna relación entre las variables. La tendencia de la Tn (anual, mensual, etc) muestra siempre tendencias positivas, presentando los meses de Abril y Octubre una mayor homogeneidad espacial en las mismas. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Marengo y Camargo (2008) en Río Grande do Sul, Brasil.

Sin embargo, en general la tendencia observada en las Tn no se ve reflejada en una tendencia negativa en la ocurrencia de heladas, por lo que no se puede obtener ningún tipo de relación entre el comportamiento de las Tn diarias y la ocurrencia de heladas. Solo la estaciones de Paysandú muestran una tendencia negativa en ocurrencia de heladas y positiva en la Tn del período de heladas. Fernández-Long y otros (2013) encuentran para el período 1975–2007 un resultado similar, sin embargo al comparar con el periodo 1940-2007 de su estudio, si bien se trata de un período mas cercano al nuestro, los autores encuentran una disminución de la ocurrencia de heladas significativa. Para el análisis se dejó de lado la estación de Salto debido a discontinuidades encontradas en las serie (Rusticucci y Renom 2008).

3.3) Cambios en el período de heladas.

Se analizaron los cambios en el período de heladas según la metodología descrita en la sección 2, de los tres ajustes aplicados el que presentó menor error absoluto fue el Gaussiano. Estos ajustes se realizaron para todas las estaciones. La figura 4 muestra, a modo de ejemplo, para la estación Paso de

los Toros la distribución de las fechas medias móvil de diez años y los percentiles 10 y 90 (fig. 4a), además de los ajustes Gaussianos decadales (fig 4b). En términos generales, se observa que varias de las estaciones (Paysandú, Prado, Paso de los Toros, Rocha, Estanzuela y Artigas) presentan un corrimiento de la fecha media del período de ocurrencia (línea roja) hacia el mes de agosto sobre el fin del período analizado, este varía entre 4 y 11 días.

Por otro lado, las estaciones de Paysandú, Paso de los Toros y Rivera muestran un estrechamiento entre los valores del percentil 10 y 90 de la fecha de ocurrencia de heladas (líneas azules). El percentil 10 es el que presenta un marcado corrimiento hacia los meses centrales del período, sugiriendo un atraso en el año de la ocurrencia de las primeras heladas hacia el fin del período. El percentil 90 si bien no presenta un cambio tan marcado como el percentil 10, sugiere un corrimiento hacia fechas más tempranas de la ocurrencia de la última helada. Ambos resultados muestran un disminución en el período de heladas, en acuerdo con lo obtenido por Fernandez-Long y otros (2013). Lo cual puede sugerir un vínculo de la tendencias positiva de T_n encontrada en los meses de Abril y Octubre.

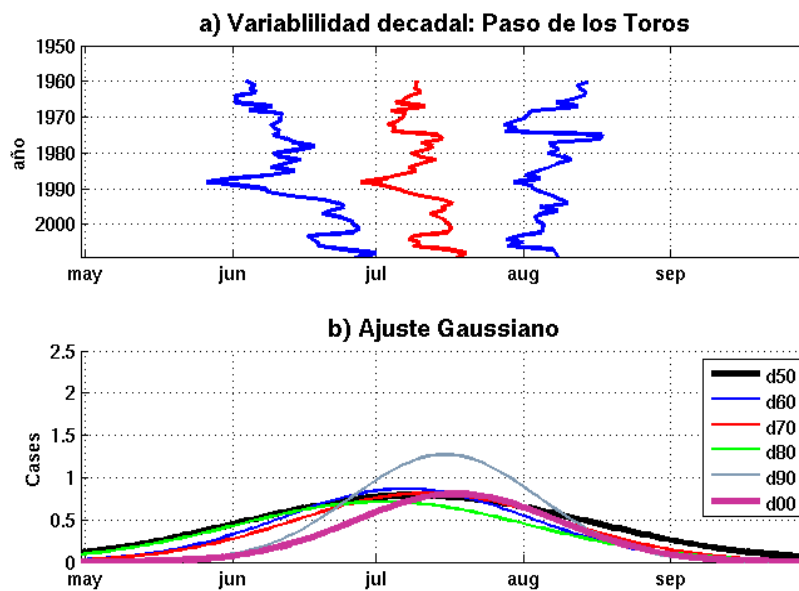


Figura 4: Ejemplo estación Paso de los Toros; a) valores de la fecha media de ocurrencia y los valores del percentil 10 y 90; b) ajuste gaussianos por década.

El ajuste Gaussiano decadal (figuras 4b) muestra cómo ha sido la evolución de estos parámetros, dado que el área bajo cada curva representa un valor aproximado de la cantidad de heladas ocurridas y su distribución. Se puede notar al igual que en la figura 2, que durante la década de los 90's hay una disminución en el periodo de heladas, pero no en la cantidad.

3.4) Heladas generalizadas.

En la figura 5 se puede observar el comportamiento de las HG. Las mismas se concentran entre el 14 de junio y los primeros días de agosto. El mes de julio es el que presenta una mayor frecuencia de HG. Los 3 eventos que fueron registrados en todas las estaciones ocurrieron 2 de ellos en el año 2009 y el restante en 1996. En este sentido el año 2009 es recordado por las pérdidas sufridas en el sector agropecuario (comunicado de prensa del Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca, agosto de 2009). Por otro lado, es importante mencionar que se observan eventos de HG con persistencia de 2 días (7 casos) y solamente 3 con persistencia de 3 días. Los eventos de 3 días se dieron en las primeras décadas, ocurriendo dos de estos en el año 1956 y el otro evento en 1968.

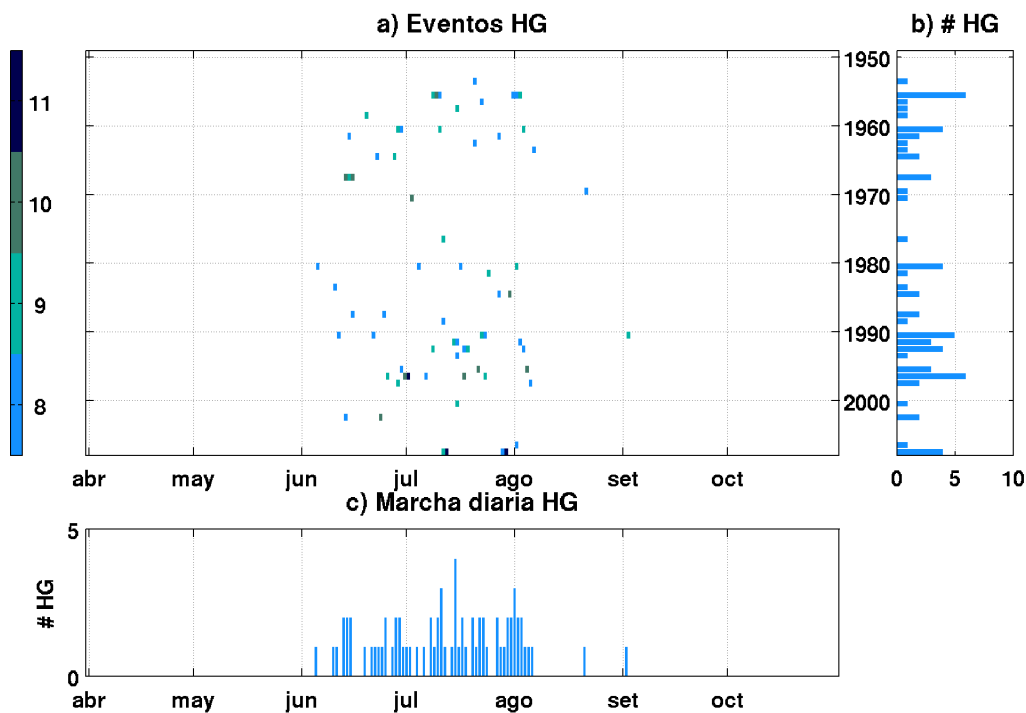


Figura 5: a) Distribución de las HG; b) Cantidad de HG por año; c) Marcha diaria de las HG.

Las HG son eventos vinculados a patrones de circulación general (Muller y otros 2005), la identificación de las HG en Uruguay permitirá comprender los patrones de circulación asociados a nuestro país y así entender su dinámica dado el alto impacto que tienen en el país.

3.5) Regionalización.

A continuación se comentarán los resultados obtenidos al aplicar el Análisis de Cluster. Para poder determinar los clusters, se realizaron diagramas de árbol jerárquico. Mercedes y Melo conforman clusters individuales por lo que se considero como límite de conformación 4 clusters, con el fin de tener un número apropiado de clusters. El resultado del análisis de robustez mostró que las estaciones de Artigas y Rivera no conformaban siempre el mismo cluster, cayendo en uno u otro dependiendo de los años que se quitaban. Dejando de lado estas estaciones en el estudio, surge el árbol jerárquico que se muestra en la figura 6. En este análisis queda clara la conformación de dos regiones, una que contiene a Estanzuela, Prado, Carrasco y Rocha (zona Sur) y la otra conformada por Paso de los Toros, Paysandú y Salto (zona Centro-Noroeste).

Del Análisis de Componentes Principales, se obtuvo que las dos primeras EOF explican el 74% de la varianza (65,3 y 8,6% respectivamente) del total de las series. En la figura 7 se muestran los dos primeros EOF. Se puede observar en el primer EOF una regionalización de la ocurrencia de heladas. Esta va desde el centro del país hacia el noroeste, coincidiendo casi totalmente con uno de los clusters determinados anteriormente. El segundo EOF marca un comportamiento local de las estaciones de Melo, Mercedes, Carrasco, Rivera y Artigas lo cual es consistente con el comportamiento local de estas estaciones, dado que en el estudio anterior las estaciones de Mercedes y Melo conformaban clusters independientes, a la vez que Artigas y Rivera no mostraban una clara regionalización.

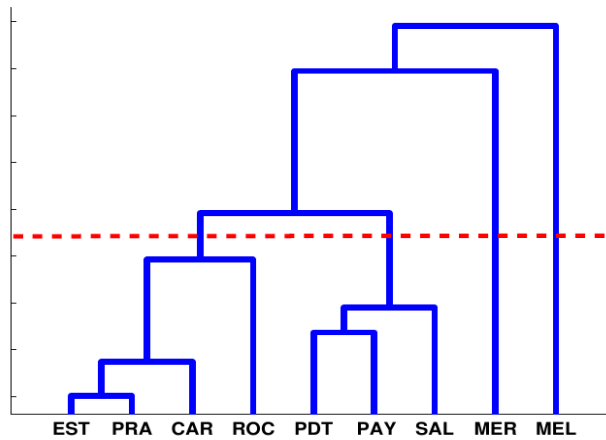


Figura 6: Árbol jerárquico.

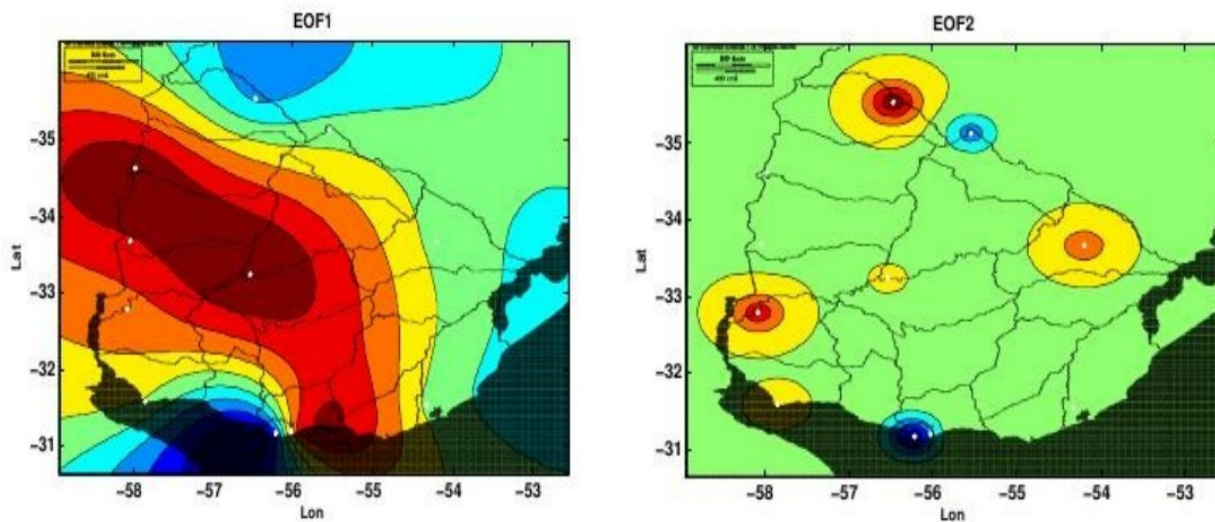


Figura 7: EOF 1 (izquierda); EOF 2 (derecha)

El estudio de regionalización marca dos zonas del país que comparten la ocurrencia de heladas, además de evidenciar que algunas estaciones presentan un comportamiento local. Este tipo de análisis nos permite generar índices representativos de regiones y así poder vincularlos, a modo de ejemplo, con variables de circulación general.

CONCLUSIONES

El presente estudio presenta un análisis de las heladas durante el período 1950-2009 para Uruguay. El promedio país de días con heladas es de 7 por año, con una temperatura media de los eventos de $-1,0^{\circ}\text{C}$. Se estableció como período de ocurrencia de heladas el comprendido entre abril - octubre, concentrándose la mayor cantidad de las mismas en los meses de junio, julio y agosto.

Los resultados combinados de las tendencias lineales, así como de los cambios del período de heladas, sugieren que si bien el período de heladas es más corto, la cantidad de eventos no disminuye.

Las décadas del 50 y 60 son las que presentan mayor cantidad de eventos en términos generales. La tendencia no muestra cambios significativos en la ocurrencia de heladas. Es importante destacar, que si bien la tendencia de la T_n en el período de heladas es positiva, no se evidencia una relación directa con la ocurrencia de heladas.

En cuanto al largo del período de heladas se constató, en términos generales, una disminución del orden de 5 días por década así como un corrimiento en la fecha promedio de ocurrencia de heladas, siendo este de 7 días hacia el mes de agosto entre la primer y última década.

Las heladas generalizadas permiten identificar casos que claramente responden a condiciones atmosféricas dejando de lado las condicionantes locales. Las heladas generalizadas se concentran principalmente en dos períodos: entre 1950 - 1970 y en la década del los 90. Es importante notar que pese al aumento en los valores medios de T_n desde la década de los 70, la década del 90 muestra un aumento importante en la cantidad de este tipo de eventos. Este hecho manifiesta un comportamiento que justifica un trabajo a futuro para analizar las condiciones atmosféricas que favorecen las heladas generalizadas.

La regionalización analizada por las dos metodologías permite definir 2 zonas con comportamientos similares en cuanto al período de ocurrencia de heladas. La primer zona comprende las estaciones de: Paso de los Toros, Paysandú y Salto (zona Centro - Noroeste); y la otra: Estanzuela, Prado, Carrasco y Rocha (zona Sur del país). Melo y Mercedes son dos estaciones que muestran un comportamiento distinto a las demás estaciones, lo cual se pone en evidencia en los diferentes análisis realizados.

AGRADECIMIENTOS: Al proyecto Claris-LPB por el apoyo en parte de la digitalización de las series.

REFERENCIAS

- Buró, H. O., 1961: El Régimen de las heladas en la República Oriental del Uruguay.** Archivo históricos de la facultad de Agronomía, Universidad de la República, Uruguay.
- Castañó, P. J., Giménez, A., Ceroni, M., Furest, J. y Aunchayna, R., 2012: Caracterización Agroclimática del Uruguay: 1980-2009.** Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. Serie Técnica: N193, ISBN: 978-9974-38.
- Fernandez-Long, M. E., Müller, G.V., Beltrán-Przekurat, A. y Scarpati, O. E. 2013: Long-term ans recent changes in temperature-based agroclimatic indices in Argentina.** Int. J. Climatol. 33: 163-168.
- Marengo, A. y Camargo, C., 2008: Surface air temperature trends in Southern Brazil for 1960-2002.** Int. J. Climatol. 28: 893-904.
- Müller, G.V., Ambrizzi, T. y Nuñez, M. N., 2005: Mean atmospheric lading to generalized frost in central southern South America.** Theoretical and Applied Climatology, 82, 95-112.
- Müller, G.V., 2006: Patterns leading to extreme events in Argentina: partial and generalized frosts.** Int. J. Climatol DOI: 10,1002/joc,147.
- Renom, M., 2009: Temperaturas extremas en Uruguay. Análisis de la variabilidad temporal de baja frecuencia y su relación con la circulación de gran escala.** Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales Universidad de Buenos Aires, Argentina.
- Rusticucci, M. y Renom, M., 2008: Variability and trends in indices of quality controlled daily temperature extremes in Uruguay.** Int J of Clim, 28: 1083-1095. DOI: 10.1002/joc .1007.
- Sen, P., 1968: Estimates of the regression coefficient based on Kendall.** Journal of the American Statistic Association 63: 1379-1389.
- Stein, M., 1999: Interpolation of spatial data: Some theory of Kriging.** ISBN: 0-387-98629-4.
- Wilks, D., 1997: Statistical Methods in the Atmospheric Science.** Academic Press, 627pp.