

Climatología de la primavera en Uruguay 1981 - 2010

I. Introducción

El objetivo del presente trabajo es describir las condiciones climáticas para la primavera en Uruguay, considerando el período 1981-2010. Consideramos la primavera al período comprendido por los meses de setiembre, octubre y noviembre (SON). En el presente documento se presenta la temperatura y la precipitación.

El documento está estructurado de la siguiente manera: en la sección 2 se presentan los datos empleados, el control de calidad realizado sobre los mismos y la metodología utilizada para definir la climatología. En la sección 3 se presentan los principales resultados que permiten caracterizar la misma. Finalmente, en la sección 4, se presentan las conclusiones.

II. Datos y Metodología

Atendiendo a la disponibilidad de información y a las características propias de cada una de las variables analizadas en el presente informe, se utilizó la información disponible en formato digital, almacenada en nuestra Base Nacional de Datos Climáticos en el período 1981-2010, para las estaciones meteorológicas que cumplieran con determinados requisitos, los cuales se explicitan más abajo.

A partir de la base de datos diarios de Temperatura máxima (T_x) y mínima (T_n) al abrigo¹ meteorológico y de precipitación (R_r), se realizaron los cálculos aquí presentados. La temperatura media (T_m) diaria fue calculada como el promedio de la T_x y T_n .

El análisis se realiza a escala país y por regiones para los 30 años, donde definimos las regiones *Norte* y *Sur*, tomando como referencia el Río Negro, intentando que quedaran equilibradas en cantidad de estaciones por región (ver Fig.1).

¹ Estructura destinada a proteger ciertos instrumentos de la radiación y las intemperies, consiguiendo al mismo tiempo una ventilación adecuada (Vocabulario Meteorológico Internacional - WMO N°182).

La regionalización se plantea con el objetivo de estudiar la posible existencia de comportamientos distintos para las regiones definidas, así como para comparar con el correspondiente comportamiento a escala país.

Se definen variables obtenidas a partir del promedio espacial de las estaciones disponibles, y se estudia el comportamiento medio de estas, así como las fluctuaciones temporales respecto a la misma, cuantificadas a través de la desviación estándar.

A continuación se presentan los criterios utilizados para definir las estaciones meteorológicas disponibles para cada una de las variables, así como el control de calidad realizado.



Fig.1: El mapa muestra la distribución espacial de las estaciones meteorológicas consideradas en el informe. En las referencias se explicita las variables disponibles en cada estación.

Temperatura

Para el caso de la temperatura se consideraron las estaciones meteorológicas con menos del 20% de datos faltantes en el período, resultando así las siguientes estaciones: Artigas, Salto, Rivera, Paysandú, Melo, Paso de los toros, Mercedes, Colonia, Rocha y Carrasco.

De esta forma, la regionalización a estudiar quedó conformada de la siguiente manera: *Región Sur*: Carrasco, Colonia, Mercedes, y Rocha, y *Región Norte*: Artigas, Melo, Paysandú, Paso de los Toros, Rivera y Salto, resultando así en 6 estaciones para la *Región Norte* y 4 para la *Región Sur* (ver Fig.1).

Precipitación

En lo que respecta a la precipitación se consideraron las estaciones meteorológicas con menos del 3% de datos faltantes en el período, resultando así la estaciones: Artigas, Carrasco, Colonia, Durazno, Melilla, Melo, Mercedes, Paso de los Toros, Paysandú, Punta del Este, Prado, Rivera, Rocha, Salto, Tacuarembó, Trinidad, Treinta y Tres y Young.

En este caso la regionalización quedó conformada de la siguiente manera: *Región Sur*: Carrasco, Colonia, Durazno, Melilla, Mercedes, Punta del Este, Prado, Rocha, Trinidad y Treinta y Tres, y *Región Norte*: Artigas, Melo, Paso de los Toros, Paysandú, Rivera, Salto, Tacuarembó y Young, resultando en 10 estaciones para la *Región Norte* y 8 para la *Región Sur* (ver Fig.1).

Control de Calidad

A fin de detectar y corregir valores sospechosos, se aplicó un control de calidad y se detectaron *outliers* (valores separados por más de 2 desviación estándar de la media en el caso de precipitación y tres desviaciones para la temperatura) utilizando *RClimdex* [2].

Además para la temperatura se detectaron casos donde:

a- $T_x < T_n$

b- $T_x = T_n$

Procedimos a revisar y corregir esos valores, mediante los registros originales en papel.

III. Presentación y Análisis de Datos

Para estudiar la climatología en el período de interés, se presentan a continuación los gráficos de las principales variables de estudio.

En primer lugar vamos a presentar el comportamiento correspondiente a escala país, para luego analizar qué ocurre con las regiones mencionadas en la sección 2.

² "Software - etccdi." 17 Nov. 2013, <http://etccdi.pacificclimate.org/software.shtml>.

Finalmente, se presentan las heladas meteorológicas como fenómeno que afecta a los cultivos, en un período donde las plantas tienen una gran sensibilidad a los descensos bruscos de temperatura.

III.1 Escala País

Temperatura

La Fig.2 muestra el comportamiento de la temperatura media (T_m) promediada en el trimestre SON. La misma presenta un valor medio de 17.5°C con una desviación de 0.4°C .

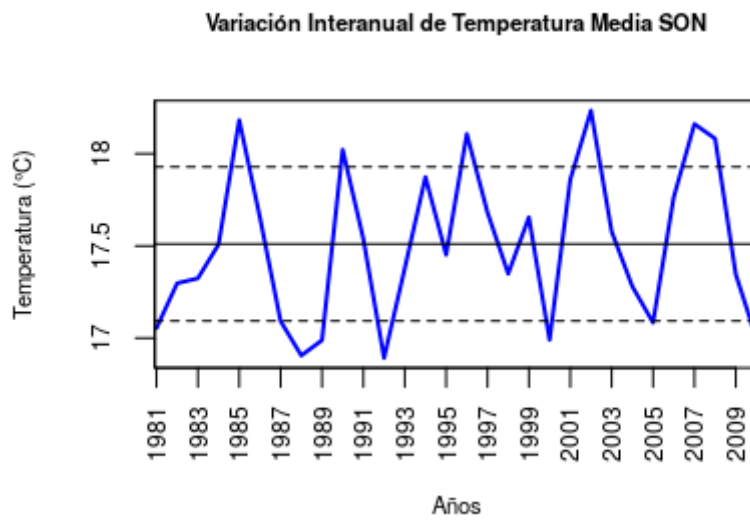


Fig.2: Temperatura media en el trimestre SON (azul) para el período 1981-2010. La línea continua en color negro representa el comportamiento medio, mientras que las discontinuas cuantifican la variabilidad mediante una desviación estándar.

El gráfico muestra una gran variabilidad interanual, reflejando que la temperatura en primavera fluctúa mucho año a año. Se puede observar varios registros por fuera del intervalo definido por la desviación estándar (líneas discontinuas), lo que estaría representando primaveras más cálidas (por encima de una desviación estándar) y más frías (por debajo de una desviación estándar) que lo normal.

Así vemos, en orden decreciente, que los años 1987, 2005, 1981, 2010, 2000, 1989, 1988 y 1992 presentan los valores mínimos del período, con temperaturas respectivas de 17.1°C , 17.1°C , 17.1°C , 17.0°C , 17.0°C , 17.0°C , 16.9°C y 16.9°C siendo este último el mínimo absoluto en el período³. Se destacan los años 1987 al 1989, ya que durante 3 años consecutivos los mismos presentaron características de primaveras frías.

Los valores máximos por su parte, corresponden (en orden creciente) a los años 1990, 2008, 1996, 2007, 1985 y 2002 con temperaturas de 18.0°C , 18.1°C , 18.1°C , 18.2°C , 18.2°C y 18.2°C siendo el 2002 el máximo absoluto del período. Tomando los registros mínimo y máximo absolutos, vemos que la temperatura media presenta un rango de variabilidad en el período de 4.2°C .

³ Los valores presentados están redondeados en la décima.

Cabe destacar que 14 de los 30 años considerados presentan registros medios por fuera de la desviación estándar, de forma tal que en promedio, aproximadamente 1 de cada 2 años posee registros como el mencionado.

Con el fin de analizar el comportamiento a escala regional de esta variable, se seleccionaron 2 años de cada uno de los casos de primaveras cálidas (1985 y 2002) y frías (1988 y 1992).

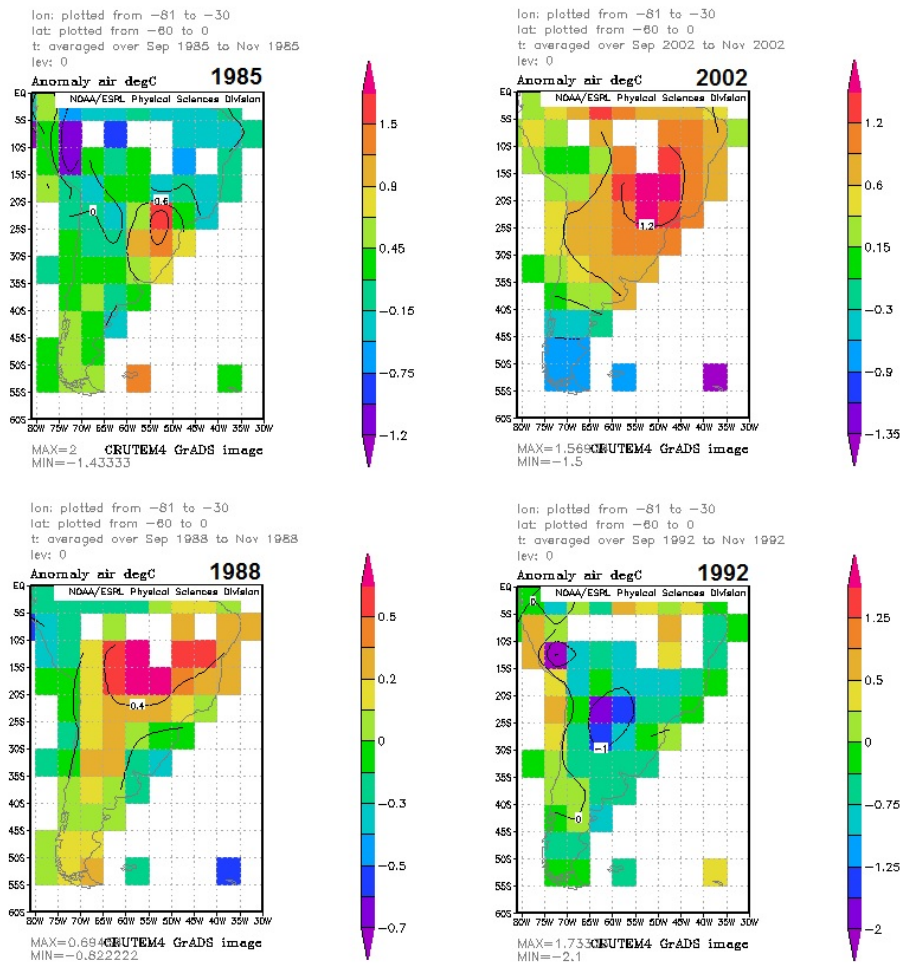


Fig.3: Anomalías de temperatura para el cono Sur, 1985, 2002, 1988 y 2010 (NOAA ERS L CRUTEM4).

En la Fig.3, se observan las anomalías positivas que se registraron en los años 1985 y 2002. Si bien las anomalías de temperatura observadas en Uruguay para 1985 fueron las segundas más elevadas en el período estudiado, no registró el mismo impacto a nivel regional.

Sin embargo, el año 2002, donde también se observaron anomalías positivas en Uruguay, las mismas tuvieron un alcance más amplio y con mayor intensidad en la región. En los mapas inferiores de la Fig.3, por su parte, se aprecian las anomalías negativas de temperatura para los años 1988 y 1992.

Sobre Uruguay se observaron las desviaciones negativas más importantes en 1992, teniendo en cuenta el período 1981 – 2010. A nivel regional, el alcance de este evento fue muy importante, extendiéndose por gran parte del sur de Sudamérica. Si bien 1988 registró el segundo mínimo destacable en el período, con valores similares a 1992 sobre Uruguay, el evento fue más localizado.

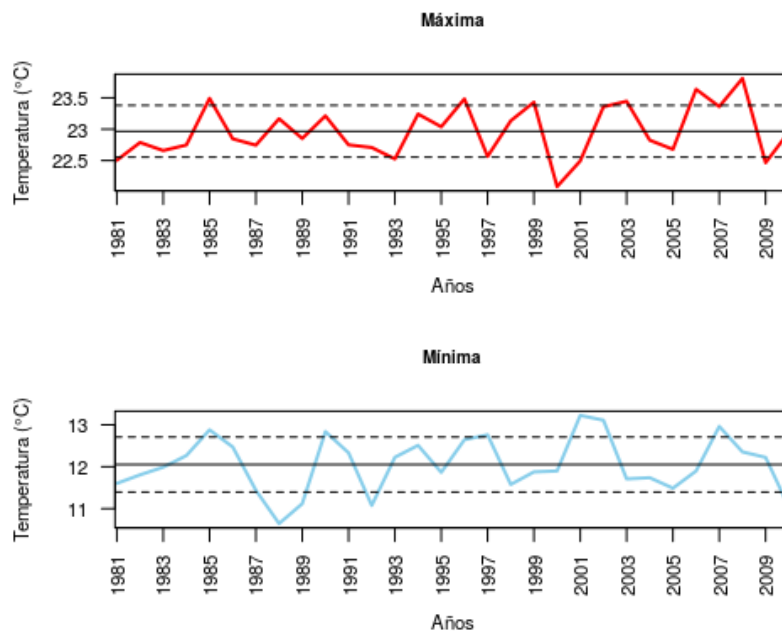


Fig.4: Temperatura máxima media (panel superior) y Temperatura mínima media (panel inferior) en SON para el período 1981-2010. Las líneas continuas en color negro representan los respectivos comportamientos medios, mientras que las discontinuas cuantifican la variabilidad mediante una desviación estándar.

Con el fin de evaluar cómo los eventos extremos encontrados para T_m a nivel país se ven influenciados por T_x y T_n , se muestra en la Fig.4 el comportamiento de estas variables.

Como podemos observar al tomar los eventos con valores mínimos de T_m , los años 1987, 1988, 1989, 1992 y 2010 están caracterizados por valores mínimos de T_n , mostrando que estos años las primaveras fueron frías debido a que las temperaturas mínimas estuvieron por debajo de lo normal. Mientras que los años 1981 y 2005, si bien ninguna de las dos variables analizadas se encuentran por debajo de lo normal, se observa que ambas presentan valores por debajo de la media, lo que permite determinar que las primaveras de dichos años fueron frías debido al comportamiento de ambas variables.

En cuanto a los máximos de T_m , los años 1985, 1996, 2002 y 2007 en general se observa que los mismos están caracterizados por anomalías positivas tanto en T_x como en T_n . Siendo los años 1990 y 2008 los que presentan los apartamientos mayores de ambas variables, lo que justifica que sean las primaveras más cálidas del período de estudio.

De esta forma, vemos que los extremos en la temperatura media pueden verse influenciados tanto por valores anómalos de la mínima como de la máxima, o de ambas.

En particular, parece haber una correlación entre los mínimos de T_m y T_n , mientras que los máximos de T_m están mayoritariamente determinados tanto por T_x como por T_n .

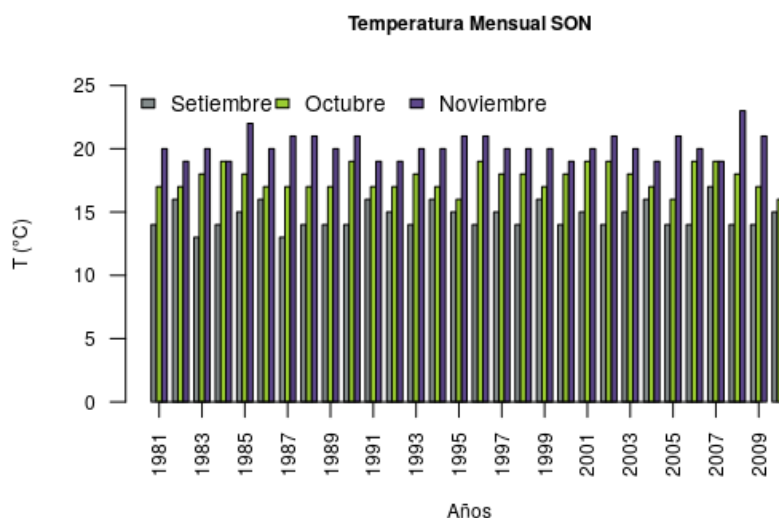


Fig.5: Temperatura trimestral disgregada por mes.

Precipitación

En la Fig.6 se muestra el comportamiento de la precipitación acumulada en el trimestre. La misma tiene un valor medio de $328.6mm$ con una desviación de $108.3mm$.

Si se divide el gráfico en dos períodos iguales, se puede observar que desde 1995 a 2010 se concentran las primaveras más lluviosas con un promedio en esos años de $334.1mm$ respecto al primer tramo que tiene un promedio de $323.1mm$.

En orden creciente, identificamos los años 1983, 2002, 2001, 2009 y 1986 con $440.3mm$, $506.1mm$, $512.4mm$, $545.6mm$ y $565.1mm$ respectivamente, como las primaveras más lluviosas de todo el período, siendo el último valor el máximo absoluto. Por su parte, las primaveras menos lluviosas se registraron, en orden decreciente, en los años 2010, 1999 y 2008 con $195.3mm$, $145.6mm$ y $140.4mm$ respectivamente, siendo este último el mínimo absoluto.

Esta situación de precipitaciones abundantes también fue compartida a escala regional, como se ilustra en la secuencia de mapas mostrados en la Fig.7.

Al tomar nuevamente los registros máximo y mínimo absolutos en el período, encontramos que el rango de variabilidad de la precipitación es de $424.7mm$, evidenciando nuevamente la gran variabilidad que presenta la misma.

Para el trimestre en consideración, el fenómeno del ENOS tiene influencia sobre las precipitaciones en el sudeste de Sudamérica [4].

Al considerar los máximos destacados a partir de la Fig.6, sólo en el año 2002 *El Niño* presentó una señal de categoría Moderada [5]. Más aún, si consideramos la primavera del año 1982 vemos que el

⁴ "Predicción climática estacional de precipitación acumulada en"
http://meteo.fisica.edu.uy/archivos/TrabajosEspeciales/TF_MAtildeUngerovich.pdf.

⁵ "Oceanic Niño Index - Climate Prediction Center."
http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml.

registro fue de $317.7mm$, estando incluso por debajo de la media del período, y sin embargo fue un año en el cual el fenómeno *El Niño* tuvo una señal muy clara que incluso llegó a la categoría de *Muy Fuerte*.

De esta forma, no podemos establecer con claridad la ocurrencia de eventos lluviosos con anomalías positivas correspondientes al fenómeno en consideración. Análogamente se concluye lo mismo al considerar los eventos con *Rr* mínima.

Entre el año 1994 y 1999 vemos que la precipitación acumulada presentó registros por debajo de la media, mientras que en el período comprendido entre los años 1983 y 1986 los registros estuvieron por arriba de la media, presentando así períodos de 6 y 4 años con anomalías negativas y positivas respectivamente.

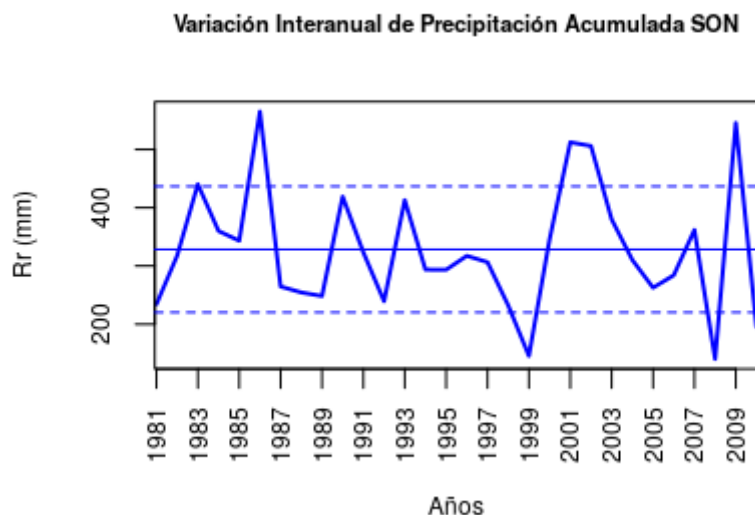


Fig.6: Precipitación acumulada en el trimestre SON (azul) para el periodo 1981-2010. La línea continua en color azul representa el comportamiento medio, mientras las discontinuas cuantifican la variabilidad mediante 1 desviación estándar.

La mayor variabilidad entre dos años consecutivos se da entre los años 2008 y 2009 con una diferencia de $405.2mm$ y por otra parte, la menor variabilidad entre dos años consecutivos se da entre 1994 y 1995 con un registro inferior a $1.0mm$.

La Fig.8 muestra la variabilidad interanual para la primavera disgregada mensualmente, permitiendo así evaluar qué peso tiene cada mes dentro del trimestre considerado.

En términos medios, el mes de octubre es el que registra levemente mayores precipitaciones en los 30 años, con $118.3mm$, mientras que noviembre y setiembre presentan precipitaciones medias de $116.8mm$ y $93.6mm$ respectivamente, mostrando así un comportamiento medio cuasi-uniforme en el trimestre.

De forma general no hay grandes diferencias entre los registros de los meses, aunque se destacan algunos casos en particular. Por ejemplo, vemos que noviembre del año 1986 acumuló el monto más alto de todo el período con $290.2mm$, lo que representa un 51.4% del total de las precipitaciones en el trimestre de dicho año. Algo similar ocurre en noviembre de 2009 con $283.4mm$ (52% del acumulado en el trimestre).

Ambos años corresponden a los registros máximos de lluvia dentro del período. Precisamente, en noviembre de 2009 nuestro territorio se vio afectado por inundaciones, que entre otros factores fueron ocasionadas por las intensas y persistentes (ver Fig.9) precipitaciones en nuestro país y en la región, sobre todo en la cuenca alta del Río Uruguay.

Este fenómeno no solo afectó a Uruguay sino también al sur de Brasil y la frontera Uruguay-Argentina, como se puede observar claramente en la Fig.5.

Siguiendo en la línea de destacar aquellos años que marcan las primaveras más lluviosas de los 30 años, vemos que los años 1983, 2001 y 2002 también presentan anomalías positivas en todos los meses, aunque en estos casos la variabilidad mensual es menor.

Para los años con precipitación mínima por su parte, vemos que los meses presentan anomalías negativas, con excepción de los años 1981 y 2010 para los cuales setiembre presenta anomalías positivas.

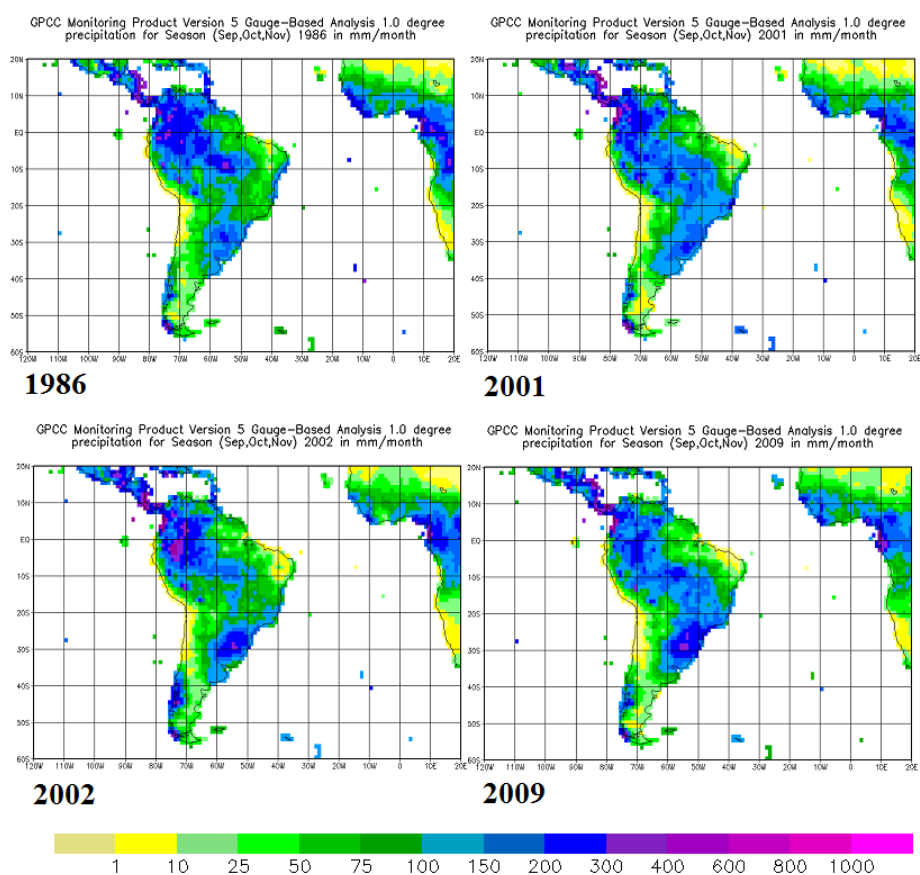


Fig.7: Secuencias de mapas del *Global Precipitation Climatology Centre* (GPCC) para América del Sur, en los años en los que se registraron las primaveras más lluviosas en Uruguay.

Precipitación Acumulada Mensual SON

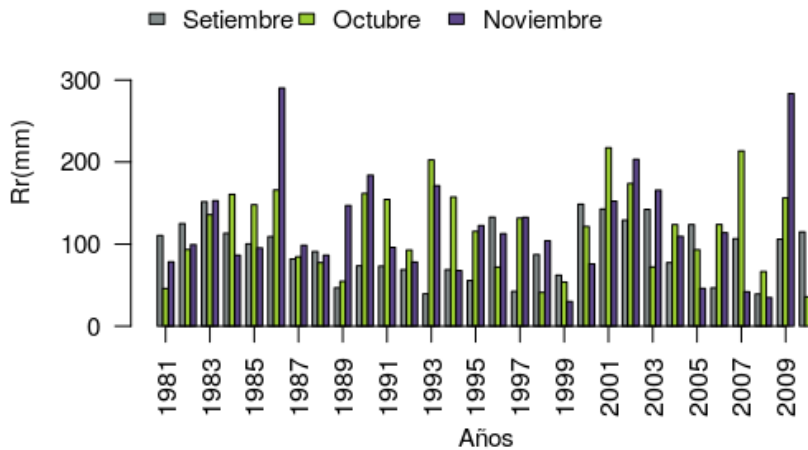


Fig.8: Precipitación acumulada por mes para el periodo 1981-2010

La Fig.9 muestra la cantidad de días dentro del trimestre SON con precipitación mayor a 1mm, quedando fuera de consideración las trazas o lloviznas. En términos medios para todo el período, llueven 22 días en el trimestre.

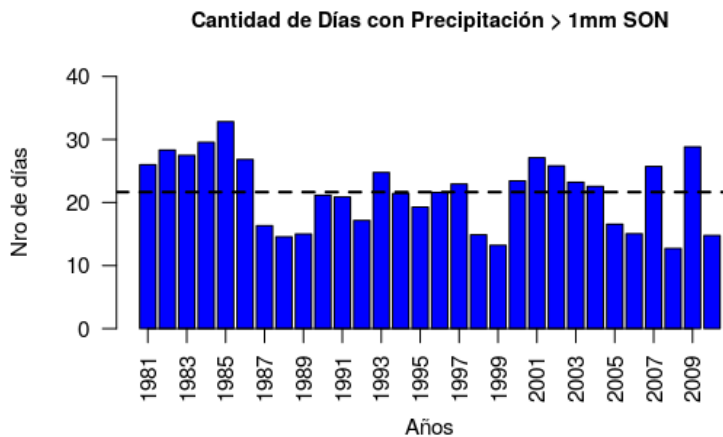


Fig.9: Cantidad de días con precipitación mayor a 1 mm en el trimestre SON, para el período 1981-2010. La línea discontinua en color negro representa el número de días medio en todo el período.

De los 30 años que comprenden el periodo analizado, 17 años tuvieron anomalías positivas en lo que respecta a cantidad de días por encima de 1.0mm.

De todo el período el año que registró mayor cantidad de días con precipitaciones superiores a 1.0mm fue el año 1985 con 33 días en el trimestre, seguido por 1984 con 30 días.

Si bien fueron los años que registraron la mayor cantidad de días con lluvia, no necesariamente coinciden con los años con mayores montos acumulados de precipitaciones.

De todas formas cabe destacar que estos fueron años con anomalías positivas. Por otra parte las primaveras con menor cantidad de días con precipitaciones fueron los años 1999 y 2008, ambos años con 13 días, estando por debajo de la media.

Si observamos la Fig.6 vemos que no sólo hubo pocos días con precipitaciones sino que además los registros acumulados fueron mínimos.

III.2 Escala Regional

En esta sección vamos a ver cuál es el comportamiento de T_m y R_r al considerarlas a escala regional, tal y como fue establecido en la sección 2. Las siguientes figuras muestran estos comportamientos, donde se grafica en color rojo la *Región Norte* y en azul la *Región Sur*.

Temperatura

En la Fig.10 vemos que ambas regiones presentan un comportamiento similar, si bien la *Región Norte* presenta registros mayores que la *Región Sur* como es de esperar.

En cuanto a la tendencia, ambas regiones parecen tener un comportamiento global creciente en el período.

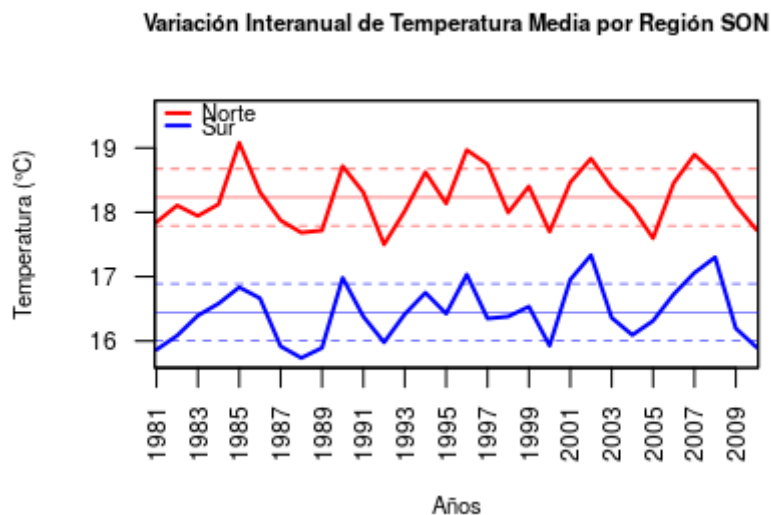


Fig.10: Temperatura media en el trimestre JJA por región, para el período 1981-2010. En color rojo se grafica la *Región Norte*, y en azul la *Región Sur*. Las rectas continuas muestran el comportamiento medio, y las discontinuas están determinadas por una desviación estándar respecto al valor medio.

Precipitación

La Fig.11 muestra, en términos generales, un comportamiento en fase para ambas regiones, con excepción de los años 1983 y 2002 para los cuales las series están desfasadas con una diferencia de $-141.0mm$ y $417.8mm$ respectivamente⁶. En promedio, llueve más en la *Región Norte* con $356.2mm$ respecto a la *Región Sur*, para la cual el registro medio es de $305.9mm$.

Si nuevamente hacemos la separación del período en dos tramos iguales, se observa que en los primeros 15 años ambas regiones presentan montos acumulados similares, mientras que en el período definido desde 1995 a 2010 se destaca la *Región Norte* con mayor variabilidad y con montos por encima de 1 desviación estándar tomada desde el valor medio.

En particular, vemos que los máximos de R_r en la segunda mitad del período están fuertemente determinados por las precipitaciones en la *Región Norte*. Particularmente, se destaca el año 2002 para el cual la *Región Norte* presentó su máximo registro, mientras que la *Región Sur* registró un valor medio. Otro año particular es 1983, con un comportamiento exactamente opuesto al antes mencionado.

Más allá de estos casos, en general los extremos de R_r son extremos tanto para la *Región Norte* como para la *Región Sur*.

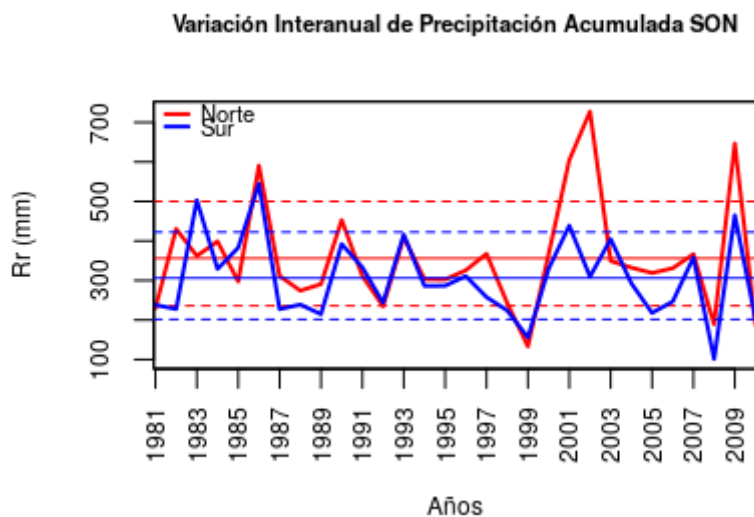


Fig.11: Precipitación acumulada en el trimestre SON por región para el periodo 1981-2010. En color rojo se representa la *Región Norte*, y en azul la *Región Sur*. Las rectas continuas muestran el comportamiento medio, mientras que las discontinuas están determinadas por una desviación estándar respecto a la media.

⁶ Tomamos la diferencia entre la variable norte y la sur.

III.3 Heladas Tardías

Por último, vamos a presentar en esta sección un fenómeno característico del invierno, pero que también puede producir grandes daños sobre los cultivos en primavera, las heladas meteorológicas; el impacto de las mismas en sectores productivos (agrícola, vitícola, entre otros) es de gran importancia. Así, vamos a presentar la cantidad de días por estación meteorológica con heladas para cada año.

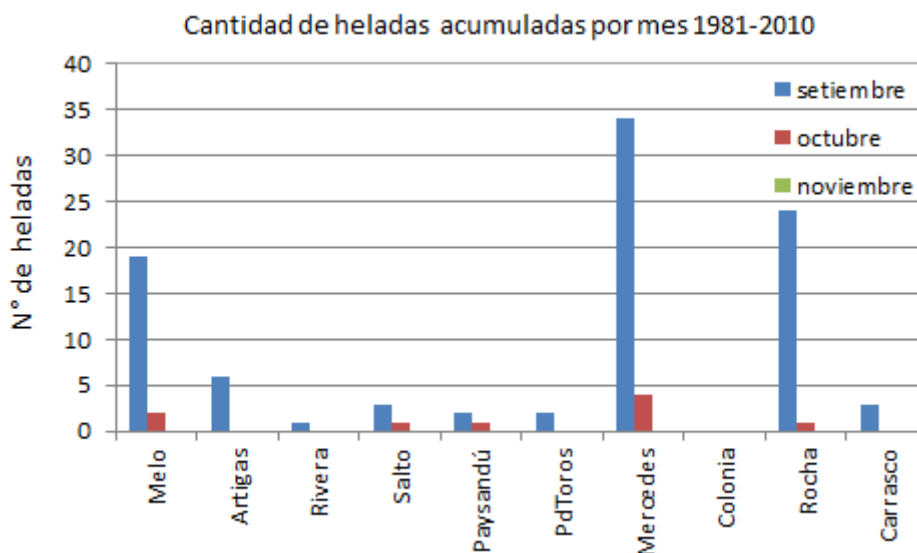


Fig.12: Días con heladas acumuladas por Estación en SON 1981-2010

Definimos la *helada meteorológica* [⁷] a todo descenso térmico igual o inferior a 0°C medido en el abrigo meteorológico. Si bien las mismas son más frecuentes en los meses de invierno, también ocurren en otoño y primavera pero en menor número.

El gráfico muestra que no se han registrado heladas meteorológicas en el mes de noviembre en el período de estudio.

En la Fig.12 vemos que durante la primavera se destacan Mercedes, Rocha y Melo con la mayor cantidad de días con heladas meteorológicas. Mientras que la estación de Colonia no registró heladas en todo el período considerado.

Al estudiar la ocurrencia de heladas por mes, vemos que la enorme mayoría de ellas se dan en el mes de setiembre. Sin embargo, aquellas que se presentan en el mes de octubre (ya que no hay registros en noviembre) pueden tener mayor impacto sobre los cultivos de la época, dado que las mismas son inesperadas. En este sentido, destacamos que las mismas se dieron en un evento generalizado para la mayoría de las estaciones, el 3, 4 y 5 de octubre de 1999. Mercedes, particularmente, registró dos heladas más: el 7/10/1991 y el 2/10/2010.

⁷Helada meteorológica- Vocabulario Meteorológico Internacional - WMO.

IV. Conclusiones

Se caracterizó el comportamiento medio y la variabilidad interanual de las principales variables climáticas: Tm y Rr, tanto a escala país como por regiones.

Al estudiar las cantidades promediadas espacialmente sobre el territorio nacional, se observó una desviación considerablemente más grande para la precipitación acumulada en comparación con la temperatura media, en concordancia con el comportamiento discreto de la primera.

Establecidas las respectivas desviaciones, se observó que ambas variables presentan eventos por fuera de los intervalos definidos por las mismas. Dichos eventos, para una y otra variable, en general no muestran una correlación determinante que permita vincular las mismas (por ejemplo, una primavera cálida y lluviosa).

En el caso de la temperatura, se disgregó su comportamiento en las variables temperatura máxima y mínima, encontrando que tanto una como la otra puede influir de forma determinante en los valores que toma Tm, pudiendo ser esto relevante en predicciones asociadas a consumo energético, entre otras actividades. Si bien se pudo observar que para las primaveras frías se encuentran en general debido a que las temperaturas mínimas fueron bastante más frías, mientras que en las primaveras cálidas ambas variables extremas fueron más cálidas que lo normal. Para Rr, por su parte, se disgregó su comportamiento en los meses setiembre, octubre y noviembre, destacándose una gran variabilidad entre los diferentes meses que componen la estación en estudio.

Al estudiar las variables en las dos regiones seleccionadas, se puede observar que ambas muestran un comportamiento global muy parecido, siendo sus comportamientos medios cuantitativamente distintos. Para Tm se observó que la *Región Norte* registra en promedio, 1.7°C por arriba de la *Región Sur*, mientras que para Rr la *Región Norte* registra 51.7mm más que la *Región Sur*. Se observan para la precipitación, un sólo evento en el cual ambas regiones están fuera de fase y es en año 1983.

Finalmente se presentó el acumulado de días con heladas meteorológicas por estación, y el promedio de días con valores extremos de Tx. Se encontró que las estaciones de Mercedes y Rocha son las que presentan mayor cantidad de heladas en SON.

V. Referencias y fuentes consultadas

Barreiro, M. (2010). Influence of ENSO and the South Atlantic Ocean on climate predictability over Southeastern South America. *Climate dynamics*, 35(7-8), 1493-1508.

http://www.climdex.org/climdex_software.html

http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml

<https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.crutem4.html#detail>

“Predicción Climática Estacional de Precipitación Acumulada en Primavera y Verano en el sur de Uruguay” Matilde Ungerovich, Marcelo Barreiro

http://meteo.fisica.edu.uy/archivos/TrabajosEspeciales/TF_MAtildeUngerovich.pdf