

# Tendencias recientes de las precipitaciones e impactos asociados con ENSO en la cuenca del Río de la Plata

MARIO BIDEGAIN

Instituto Uruguayo de Meteorología. Uruguay  
bidegain.mario@gmail.com

MAX PASTEN

Dirección de Meteorología e Hidrología, DMH-DINAC, Asunción, Paraguay  
maxpasten@gmail.com

GUSTAVO J. NAGY

Universidad de la República, Facultad de Ciencias. Uruguay.  
gustavo.nagy56@gmail.com

GENARO CORONEL

Facultad Politécnica, Universidad Nacional de Asunción (FPUNA), San Lorenzo, Paraguay.  
gcoronelster@gmail.com

JAVIER FERRER

Facultad Politécnica, Universidad Nacional de Asunción (FPUNA), San Lorenzo, Paraguay.  
javierferrer007@gmail.com

IVAR ARANA

Instituto Boliviano de Biología de Altura. Bolivia.  
ivar.arana@gmail.com

Paraquaria Nat. 5(2): 8 - 18

ISSN 2309-5237

© Del/de los autor/es.

Es con licencia exclusiva a Guyra Paraguay.

<http://guyrap.org.py/paraquaria/art1:paraquaria52>

Recibido: 2 de noviembre de 2017

Aceptado: 30 de noviembre de 2017

## INTRODUCCION

Se han estimado las tendencias de los extremos diarios de precipitación observados y su relación con la fase cálida del fenómeno ENSO (El Niño - Oscilación Sur) o El Niño, en la cuenca del Río de la Plata, en el período 1971-2015 y registrado algunos de sus impactos en sectores socioeconómicos clave. El equipo de Expertos en Detección, Seguimiento e Índices del Cambio Climático (ETCCDMI), fue establecido como una iniciativa conjunta entre la Comisión de Climatología de la Organización Meteorológica Mundial (CCI - OMM) y el Programa de Investigación sobre Variabilidad y Predicción del Clima (CLIVAR), y ha proporcionado recomendaciones sobre los índices climáticos. Para los países de América del Sur se han realizado dos talleres regionales (2004 y 2011) para la aplicación de las metodologías de estimación y detección de Índices climáticos. Del taller de 2004 surgió la publicación Haylock et al. (2006) y posteriormente del taller de 2011 surgió la publicación Skansy et al. (2013).

## RESUMEN

La evolución temporal de la precipitación anual sobre la cuenca del Río de la Plata (RdP) durante el período 1971-2015, evidencia un incremento aproximado de 40 mm y una alta variabilidad interanual, particularmente influenciada por El Niño. Se destacan los años 2002 y 2014 como los más húmedos, superando los 1.700 mm/año, mientras que 1999 y 2008 se destacan como los años más secos, coincidiendo con fases frías del ENSO. La precipitación anual ha aumentado en el promedio de la cuenca (alrededor de 40 mm más en la actualidad que en la década de 1970). Sin embargo, al norte de la cuenca se observa disminución. El índice de intensidad diaria de precipitación (SDII) ha aumentado, aproximadamente 3 mm respecto a los años setenta. Las fuertes tasas de tendencia positiva de lluvia correspondientes a días húmedos para RR>99 percentil (RR99p) son evidentes en la mayor parte de la cuenca. La fuerte tendencia incremental de la precipitación anual parece estar más relacionada con la intensificación de los eventos extremos. Se sugiere que la cuenca se comporta como más húmeda probablemente asociada a eventos de lluvias extremas, que con una mayor frecuencia de días húmedos. Se registraron varias inundaciones, muchas de ellas asociadas a fase cálida del ENSO, que han impactado en la población, debido en gran medida a la vulnerabilidad asociada a la exposición.

**PALABRAS CLAVES:** Climatología, cuenca del Plata, precipitación, tendencia

## ABSTRACT

*The evolution of the annual precipitation over the Rio de la Plata basin (RdP) during the period 1971-2015, shows an approximate increase of 40 mm and a high interannual variability, particularly influenced by El Niño. The years 2002 and 2014 are the most humid, exceeding 1,700 mm / year, while 1999 and 2008 stand out as drier years, coinciding with the cold phase of ENSO. Annual precipitation is increased in the basin average (about 40 mm more at present than in the 1970s). However, to the north of the basin there is a decrease. The daily precipitation intensity index (SDII) has increased, approximately 3 mm from the 1970s. The strong positive rainfall rates corresponding to wet days for RR> 99 percentile (RR99p) are evident in most of the basin. The strong incremental trend of annual precipitation seems to be more related to the intensification of extreme events. It is suggested that the basin behaves as wetter probably associated with events of extreme rains, than with a greater frequency of wet days. There were several floods, many associated with El Niño, which have impacted the population, largely due to the vulnerability associated with exposure.*

**KEY-WORDS:** Climatology, La Plata basin, rainfall, trend.

Trabajo presentado en la Reunión Internacional sobre "Cambio Global y Riesgos Climáticos en la Biodiversidad, Agricultura, Salud, Recursos Hídricos y Energía en Paraguay y la Cuenca del Plata", organizado por la Facultad Politécnica Universidad Nacional de Asunción y Guyra Paraguay con el apoyo del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología del Paraguay (CONACYT), llevado a cabo en Asunción los días 21 al 23 de junio del 2017.

Desde finales de los años ochenta, se han realizado estudios para examinar la relación entre El Niño y las precipitaciones en América del Sur. Los estudios pioneros de Aceituno (1988), Rogers (1988) y Ropelewski y Halpert (1987), identificaron un aumento de las precipitaciones en el sur de Brasil, el noreste de la Argentina, Paraguay y Uruguay asociadas con los eventos cálidos del fenómeno El Niño.

Grimm y Pscheidt (2001), concluyen que para el sur de Brasil hay un fuerte aumento en la frecuencia de eventos extremos durante los años de El Niño. Doyle y Barros (2002), destacan la importancia de las anomalías de la SST en el Atlántico sur occidental y la influencia en la SACZ (Zona de Convergencia del Atlántico Sur). El monzón de verano de América del Sur ha recibido especial atención, ya que esta temporada suele ser la más lluviosa en la parte norte y central del continente. Carvalho et al. (2002) muestra que la mayoría de los eventos ex-

tremos en el Estado de São Paulo (Brasil), ocurren cuando la SACZ es más intensa. Carvalho et al. (2004) examina los eventos de precipitación extrema y concluye que éstos en el sureste de Brasil tienen variabilidad interanual relacionada con el forzado de gran escala, con más días con eventos extremos durante la fase cálida del ENSO o El Niño que durante la fase fría o La Niña. Marengo et al. (2004), relacionan la frecuencia y la intensidad de la corriente en chorro en bajos niveles (SALLJ) al este de los Andes y concluye que los episodios más intensos/débiles de SALLJ durante el verano austral están relacionados con el aumento/disminución del transporte de humedad desde la cuenca amazónica y la probabilidad alta/baja de precipitaciones extremas en el sureste de Sudamérica en la región de salida del chorro en bajos niveles. Vera et al. (2006), Grimm (2003), Nogues-Paegle et al. (2002), Grimm et al. (2000, 1998), presentan una descripción del monzón en América del Sur. Algunos estudios encontraron

tendencias positivas en las precipitaciones en el sur de Brasil y el norte de Argentina Barros *et al.* (2000). Liebmann *et al.* (2004) identificó las tendencias de precipitación en la parte central de Sudamérica durante 1976-1999 y mostró que la tendencia positiva se produjo al sur de 20°S, durante enero-marzo y se centró en el sur de Brasil, mientras que entre 1948 y 1975 la tendencia fue también positiva, pero con la mitad de la pendiente. La tendencia se debe tanto a un aumento en la intensidad de los días lluviosos como también al aumento en el número de días lluviosos. La tendencia de la precipitación está relacionada con una tendencia positiva en la temperatura de la superficie del mar en el Océano Atlántico, pero aparentemente no causal. Se citan estudios más recientes para extremos de precipitación: Skansy *et al.* (2013), Llano y Penalba (2011), Penalba y Robledo (2010), Grimm y Tedeschi (2009), Pscheidt y Grimm (2009), Marengo *et al.* (2009), Dufek *et al.* (2008), Dufek y Ambrizzi (2008), Sheffield y Wood (2008), Khan *et al.* (2007). El objetivo de este artículo es actualizar (hasta 2015) el conocimiento de las tendencias de precipitación sobre la cuenca del Río de la Plata, basados en el análisis de series temporales diarias de precipitación consistidas y estimar el impacto de eventos El Niño en inundaciones fluviales a través de las pérdidas registradas en esos años.

## METODO

Se estimaron doce índices climáticos a partir de las precipitaciones observadas diarias, por medio del software Rclim-dex, para 41 estaciones meteorológicas: en Paraguay: Mariscal Estigarribia, Puerto Casado, Concepción, Asunción, Pilar y Encarnación, en Uruguay: Artigas, Rivera, Paysandú, Paso de los Toros, Mercedes, Treinta y Tres, Melo, Colonia, Rocha y Carrasco, en Argentina: Las Lomitas, Posadas, Colonia Benítez, Resistencia Aero, Corrientes Aero, Cerro Azul, Paso de los Libres Aero, Aero de Monte Caseros, Concordia Aero, Junín Aero, Ezeiza Aero, en Brasil: Corumbá, Campo Grande, Londrina, Garruchos, Uruguaiana, Passo Fundo, Chapecó, Santa María, Bagé y finalmente en Bolivia: Camiri, Tarija y Yacuiba.

Se estimaron doce índices de precipitación recomendados por la Comisión de

Climatología y Variabilidad del Programa de Predicción del Clima, de la Organización Meteorológica Mundial, incluidos en el paquete V3.3 Rclimdex (Anexo I). La ubicación y el código de identificación internacional de la Organización Meteorológica Mundial de cada una de estas estaciones se muestran en el Anexo II. RclimDex es un programa desarrollado y mantenido por Xuebin Zhang y Yang Feng del Departamento de Investigación del Clima del Servicio Meteorológico de Canadá. RclimDex está diseñado para proporcionar índices de extremos climáticos, recomendados por el Equipo Experto CCI / CLIVAR para "Monitoreo e Índices de Detección de Cambio Climático" (ETCCDMI). El software RclimDex V 3.0, se puede obtener en el sitio web <http://cccma.seos.uvic.ca/ETCCDMI/> (acceso 15.11.17.). Las series diarias han sido sometidas a test de detección de datos anómalos mediante RclimDex y a pruebas de homogeneidad por medio del programa RHTests V3 (Xiaolan L. Wang y Yang Feng), los que han permitido detectar "outliers" y heterogeneidades en la comparación de series de precipitación. Las series diarias de precipitación en su gran mayoría han sido recopiladas en observatorios pertenecientes a los Servicios Meteorológicos nacionales (SMN en Argentina, INUMET en Uruguay, SENHAM en Bolivia y DMH en Paraguay), y han sido agregadas cuatro series de larga data disponibles en los Institutos de Investigación Agropecuaria, dos de INTA-Argentina (Colo-

nia Benítez y Cerro Azul) y dos de EMBRAPA-Brasil (Passo Fundo y Pelotas).

Las tendencias fueron calculadas anualmente con el estimador de pendiente de Sen (1968), siguiendo el método propuesto por Zhang *et al.* (2000). Fue adoptada, esta aproximación más robusta para la estimación de la tendencia en los índices climáticos, porque se ha demostrado que en su mayoría los datos diarios tienen una distribución no-gausiana y porque pueden contener gran cantidad de "outliers" y comprometer los resultados de una estimación por mínimos cuadrados no resistente. Las tendencias anuales fueron testeadas por su significancia estadística al nivel 0,01 (0,05) para los índices basados en estaciones. El intervalo de confianza para las tendencias han sido estimados de la tabla de valores de Kendall (1955).

## RESULTADOS

La precipitación anual para el período 1971-2015, en la cuenca del RdP muestra un gradiente noroeste-sureste, con un mínimo de 600 mm sobre el norte argentino frontera sur con Bolivia y comienza a crecer avanzando hacia el Sureste, con valores máximos de 2000 mm en la frontera Sur de Brasil y el Noreste argentino (Figura 1).

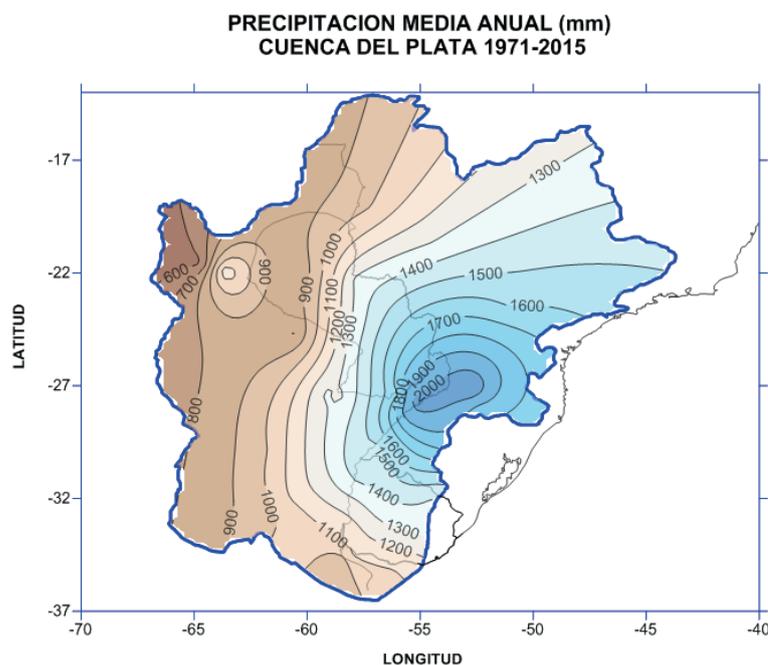


Fig. 1. Precipitación media anual para 1971-2015 (mm/año)

La evolución entre 1971 y 2015, de la precipitación anual sobre la cuenca del RdP, evidencia una tendencia incremental de aproximadamente 40 mm y una alta variabilidad interanual. Los años 2002 y 2014 son los más húmedos, superando los 1.700 mm/año, mientras que 1999 y 2008 se destacan como los años más secos, coincidiendo con la fase fría de ENSO (Figura 2).

Estos resultados son consistentes con tendencias de índices de precipitación, en comparación con trabajos precedentes, teniendo en cuenta las diferencias sobre la variedad de puntos de observación y períodos evaluados. La mayoría de las tendencias en PRCPTOT (precipitación total), SDII (intensidad diaria de precipitación), RR20 (días con lluvia superior o igual a 20 mm), R99p (días con lluvia superior al percentil 99) y Rx5day (lluvias máximas acumuladas en 5 días), muestran muchas similitudes con Haylock *et al.* (2006).

La distribución espacial de la intensidad media diaria de días con precipitación, durante 1971-2015 muestra valores crecientes con 10 mm/día en la frontera argentino-boliviana hasta valores de 19 mm/día sobre la cuenca media del río Uruguay en la frontera argentina-brasileña (Figura 3a). Se observa el campo del número medio de días con lluvias diarias iguales o superiores a 20 mm, en la cuenca tiene una variación creciente de Oeste a Este desde 10 días desde el sur de Bolivia y centro de Argentina, llegando a 35 días sobre la cuenca alta del Río Uruguay (Figura 3b). En la cantidad de precipitación anual (en mm) asociada a días lluviosos del percentil 99 (Figura 3c), se observan valores de 40 mm al Oeste de la cuenca mientras que sobre la cuenca del Río Uruguay se llega a 120 mm.

Las series temporales de los índices SDII, R20 y R99p para la cuenca del Río de la Plata muestra tendencias positivas para los tres índices (Figura 4). Los valores del SDII se incrementaron en promedio sobre la cuenca desde 15,4 mm/día a comienzos de los 70s pasando a 16,8 mm/día para 2015. El índice R20 muestra asimismo un incremento desde 20,6 días a comienzos de los 70s hasta valores medios sobre la cuenca de 22 días a mediados de esta década. El índice R99p también indica incrementos desde 73,6 mm a comienzos de los 70s a 105 mm a mediados de esta década.

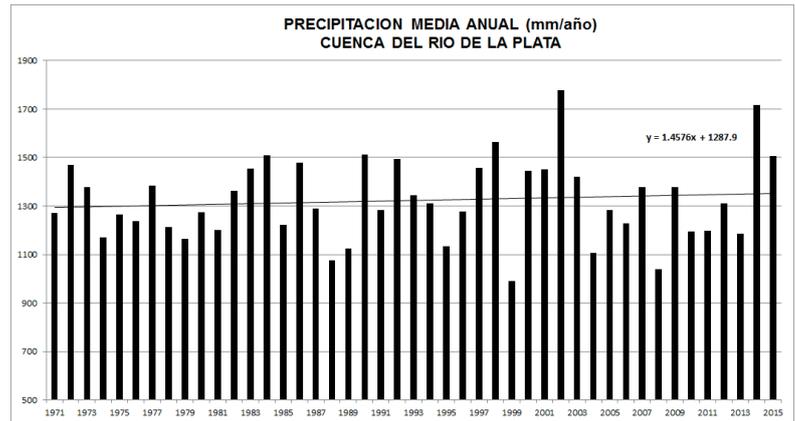


Fig. 2. Evolución temporal de la precipitación sobre la cuenca del Río de la Plata (RdP)

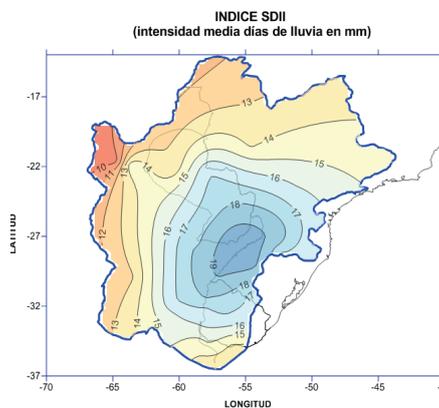


Fig. 3. (a) Intensidad media diaria de lluvia.

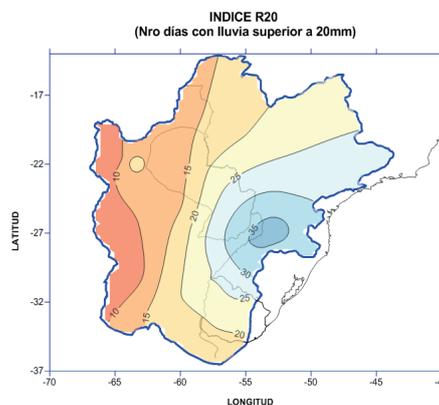


Fig. 3. (b) Número días con lluvia superior a 20 mm.

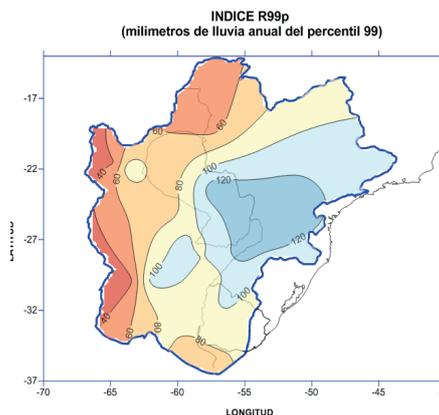
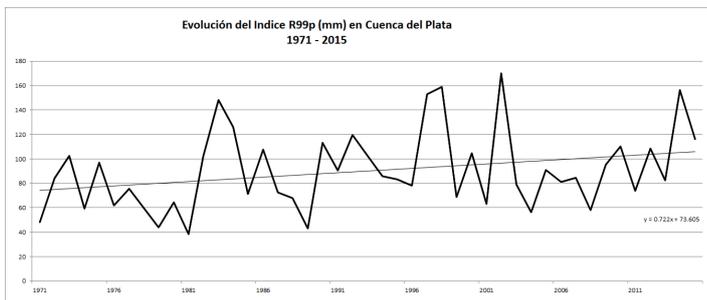
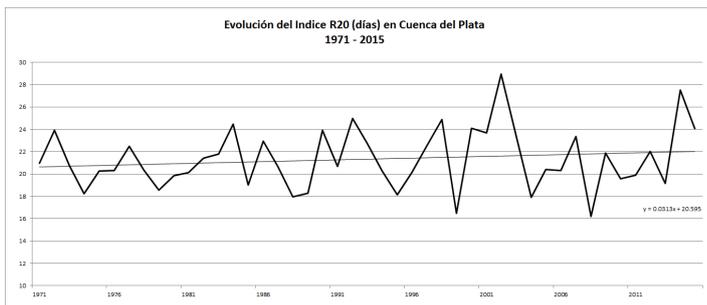
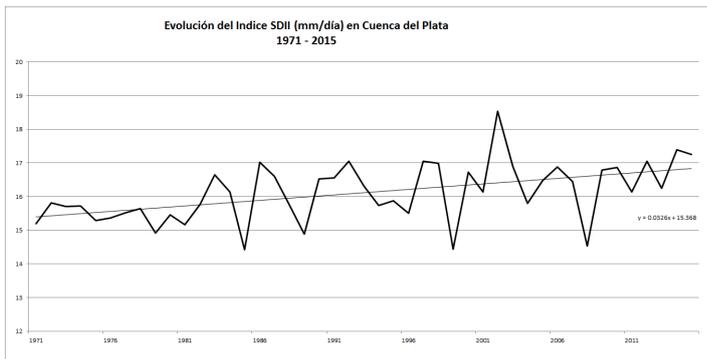
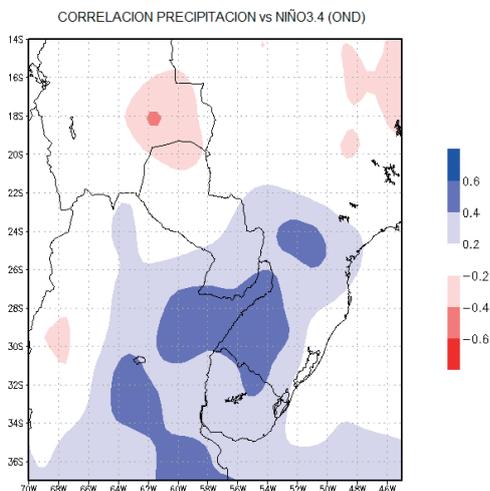


Fig. 3. (c) Lluvia acumulada anual asociada a eventos del percentil 99.



**Fig. 4.** Evolución temporal de los índices de precipitación: intensidad media diaria (mm/día) arriba, número de días por encima de 20 mm (centro) y cantidad de lluvia asociada a los eventos del percentil 99 (abajo).



**Fig. 5.** Correlación estacional (OND) entre el índice ENSO (Niño 3.4) y la precipitación para el mismo trimestre, durante 1971-2015. Crédito NOAA (<https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/correlation/>)

En el anexo IV se incluye una tabla con los valores resultantes de las estimaciones de las pendientes de las tendencias lineales de cada uno de los índices climáticos por estación, que incorpora a su lado la significación estadística (si corresponde) al nivel del 95% (un asterisco) y al nivel del 99% (dos asteriscos).

Los valores en dicha tabla están estimados en valores absolutos en mm o mm/día según corresponda al índice en una base de 10 años.

Los eventos extremos más importantes de El Niño producen una variación extrema en los patrones de lluvia en la región con grandes precipitaciones y la ocurrencia de inundaciones como se menciona en Barros *et al.* (2006). Se destaca que no toda la cuenca del Plata responde con el mismo patrón de anomalía, ni con la misma intensidad de señal climática de El Niño. A manera de caracterizar y actualizar las anomalías asociadas a El Niño, durante el periodo 1971-2015, se realizó una estimación de la correlación entre las anomalías de temperaturas superficiales del mar en el Pacífico ecuatorial (Región Niño 3.4) y las anomalías de lluvias sobre la región de la cuenca del Plata (figura 5), para el trimestre Octubre-Noviembre-Diciembre (OND). Se evidencia que gran parte de la cuenca responde con anomalías positivas de precipitación ante anomalías positivas de la temperatura superficial del pacífico ecuatorial (SST) (Niño 3.4). Esta correlación es altamente significativa (durante OND) sobre la cuenca media de los ríos Paraná y Uruguay, mientras que la región de los llanos de Bolivia y Norte del Chaco Paraguayo responde con un signo de anomalía opuesto (anomalías negativas de precipitación) ante las mismas anomalías positivas de las SST.

Los eventos El Niño más fuertes registrados (Anexo III) fueron 1982-83, 1997-98, 2015-16 y estos se correlacionan con los años más lluviosos sobre la cuenca del Plata (figura 2). El año 1983 (cuarto más húmedo) y 1998 (tercero más húmedo), mientras que el año 2002 (el más húmedo en la cuenca) correspondió a un evento moderado de El Niño y el 2014 (el segundo más húmedo) no se correspondió con eventos El Niño.

Desde comienzos de la década de los años setenta se han sucedido varios eventos de grandes precipitaciones y posterior-

res inundaciones, por ejemplo desde finales de 1982 y el primer semestre de 1983, una gran inundación afectó a varias ciudades a lo largo de los ríos Paraná, Paraguay y Uruguay. El agua alcanzó niveles récord, por ejemplo en las ciudades de Asunción y Pilar en el Paraguay, esta última quedó bajo el agua.

En junio de 1992, hubo otra gran inundación, cuando el nivel del río Paraguay alcanzó los 8,50 metros. Desde finales de 1997 y durante el primer semestre de 1998, los impactos por las inundaciones en infraestructura (puentes, carreteras, escuelas, salud y clínicas de salud, vivienda, servicios básicos, avenidas y calles, atención a víctimas, transporte, equipo y otros) fueron evaluados en 48 millones U\$D. La producción agrícola en Paraguay tuvo pérdidas, en la zafra 1997-98, por 123 millones U\$D. El Niño trajo consigo también una serie de problemas sociales y ambientales (pérdida de hábitat, pérdida de fuentes de trabajo, pertenencias, inseguridad, contaminación y la muerte de 49 personas). Durante este evento ya a finales de 1997, las inundaciones en Paraguay que afectaron a varias provincias del país, en particular Asunción y su área metropolitana, llevaron al Gobierno a emitir un llamamiento a la asistencia internacional. Según las cifras proporcionadas por el equipo de UNDAC y el Comité Nacional de Emergencia (CNE) del Paraguay, aproximadamente 10.000 familias (unas 50.000 personas) habían sido recolocadas en refugios temporales. La población más afectada fue en la periferia de la capital Asunción, donde unas 18.000 personas se encontraban en 60 refugios temporales. Los daños a la agricultura (en particular los cultivos de algodón) y al ganado se redujeron gracias a las medidas de alerta temprana que han permitido a los agricultores sembrar antes de las inundaciones y a los ganaderos transferir su ganado a zonas más altas. Según la Secretaría Nacional de Emergencia (SEN) de Paraguay, alrededor de 13.000 familias se vieron afectadas por las inundaciones. Informes de medios locales dijeron que más de 50.000 personas habían sido desplazadas por las inundaciones. Los servicios de emergencia establecieron alrededor de 100 campamentos temporales para albergar a los desplazados.

En Argentina, el evento El Niño 1997-1998 tuvo un fuerte impacto, con 32.800 evacuados y 290.000 personas afectadas por

el desbordamiento de ríos, inundaciones de vastos territorios y lluvias torrenciales registradas principalmente en las provincias de Entre Ríos, Santa Fe, Corrientes, Misiones, Chaco y Formosa, según un informe de la Organización Panamericana de la Salud (OPS). Se estima que a nivel mundial, el evento 1997-1998, causó la muerte de 24.120 personas, desplazó a 6 millones y una pérdida económica de 33.200 millones U\$D.

En Bolivia se estima que el  $\approx 30$  % de la variabilidad interanual de precipitación está relacionada con la PDO (Pacific Decadal Oscillation). Durante la fase cálida de la PDO, se observa una mayor ocurrencia de eventos El Niño (p. ej. década de los 80) con anomalías positivas de las precipitaciones en diferentes regiones incluyendo Bolivia (Seiler, 2013).

Asociados a los eventos El Niño se han registrado pérdidas sobre la producción agrícola y ganadera en Bolivia que por ejemplo en el evento 1982-83 alcanzaron un valor de 837 millones U\$D (CEPAL, 2007) con pérdidas que alcanzaron en la región del Chaco boliviano los 209 millones de U\$D por la mortalidad de ganado asociado a la falta de agua y pérdidas de la producción agrícola. Durante el evento 1997-98 las pérdidas alcanzaron en toda Bolivia un valor de 530 millones de U\$D un equivalente al 7% del Producto Interno Bruto (CEPAL 2007).

El aumento de precipitaciones y lluvias fuertes en la cuenca se refleja en la ocurrencia de crecidas de los ríos Paraná, Paraguay y Uruguay, a menudo asociados a eventos El Niño. Igualmente, otros desastres como deslizamientos y epidemias se relacionan con las precipitaciones (Aparicio-Effen *et al.* 2016).

Las inundaciones de mayor impacto en términos de personas afectadas en el Paraguay ocurrieron en los años 1995, 1983, 1982, 1997 y 1992; en el Uruguay fueron en los años 2007, 2009, 1986, 1988, 1998, 1992. En su mayoría estos fueron años El Niño. En ambos países el año 2014 fue el segundo más lluvioso con ocurrencia de inundaciones entre Mayo y Julio, particularmente en el Río Paraguay, donde el pico de crecida e impacto ocurrió a principios de Julio, registrándose el mayor número de evacuados (231.360 personas y un significativo aumento de la ocurrencia de los casos de dia-

reas agudas) desde 1905 (Nagy *et al.* 2016).

Se debe destacar que sólo entre 2012 y 2014, unas 792.000 hectáreas del bosque chaqueño del Paraguay fueron reconvertidos a otros usos (<http://www.guyra.org.py>), posiblemente aumentando el riesgo de inundaciones (Nagy *et al.* 2016).

## DISCUSION

La fuerte tendencia incremental de precipitaciones anuales está más relacionada con la intensificación observada en los eventos extremos. La situación más probable es una cuenca más húmeda asociada con una intensificación de los eventos lluviosos más que con el incremento en la frecuencia de días húmedos, los cuales responden a eventos El Niño y no a las tendencias a largo plazo.

Surgen señales de intensificación de la lluvia del análisis de los índices extremos de precipitación promediados sobre toda la cuenca del Plata entre 1971 y 2015. La precipitación total anual está aumentando cuando se calcula el promedio en toda la cuenca (alrededor de 40 mm más lluvia que a comienzos de la década de 1970). Sin embargo, la parte norte de la cuenca muestra una disminución (Matto Grosso en Brasil). El índice SDII sobre la cuenca del Plata se muestra 1.4 mm más intenso que a comienzos de los años setenta. Las elevadas tasas de tendencia al alza en los eventos de días con lluvia fuerte (percentil 99) son evidentes en las mismas regiones de la cuenca del Plata con 30 mm más intensos que a comienzos de los años setenta.

El impacto de las inundaciones fluviales no se debe sólo a su magnitud - pues el evento de 2014 fue el noveno registrado por altura del agua en la ciudad de Asunción - sino también a las otras variables de la exposición (densidad de población en áreas inundables, fragilidad de viviendas y malos drenajes). Esto se relaciona con el incremento de la vulnerabilidad climática (VC) que se entiende como la suma de la exposición (E) y la sensibilidad (S) menos la capacidad de adaptación (CA).

$$VC = E + S - CA$$

Donde E es el nivel de exposición dependiente de la geografía (G) que incluye

pendiente, drenaje, infiltración, la magnitud del evento climático (M) y la densidad de población en áreas inundables (DP); S depende del índice de desarrollo humano (HDI). Se puede argumentar entonces según (Leal Filho *et al.* 2017) que como M y G son básicamente variables no controlables (salvo quizás la incidencia de la deforestación), la reducción de la VC se debe centrar en los términos de i) E, particularmente en DP, ii) de S, con énfasis en HDI y fundamentalmente de iii) CA, muy especialmente de la preparación para responder en tiempo y forma, lo cual incluye monitoreo, modelación, diagnóstico y alerta temprana pre-desastre e intervención post-desastre.

Los eventos meteorológicos y climáticos extremos impactan a los sistemas naturales y sociales tales como agro, biodiversidad, ciudades e infraestructura, bienestar y salud humana (incluyendo pobreza y desplazamientos de gente). Por ello, el cambio climático (incluyendo a las variaciones del clima y sus extremos) tienen una fuerte asociación e interdependencia con el desarrollo sostenible (DS), representado aquí (aproximativamente) por el HDI, el cual es útil en la evaluación de la vulnerabilidad y la capacidad de adaptación a desastres naturales climáticos (Nagy *et al.* 2017; Villamizar *et al.* 2017). Las Naciones Unidas han definido los objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS) y dentro de ellos el aumento de la resiliencia y capacidad de adaptación a los peligros relacionados con el clima y los desastres naturales (United Nations 2015).

“Enfrentar al cambio climático y reforzar el DS son dos lados mutuamente reforzantes de la misma moneda: El DS no se puede alcanzar sin acción climática. A su vez, muchos de los ODS abordan los impulsores centrales del Cambio Climático” (United Nations 2015). El evaluar y abordar la vulnerabilidad climática es requerido para un DS económico, social y ecológico (IPCC 2012). De los diecisiete (17) ODS, al menos ocho (8) se relacionan directamente (o parcialmente) con las tendencias de las precipitaciones, sus impactos, la vulnerabilidad y la capacidad de adaptación en la región: 1 (erradicar la pobreza); 2 (erradicar el hambre); 3 (bienestar y salud); 6 (agua y saneamiento seguros); 7 (energía limpia al alcance de todos); 8 (trabajo decente y crecimiento económico); 11( ciudades y comunidades sostenibles); 13 (acción climática); 15 (ecosistemas terrestres). En este sentido los países de la

región, como el Paraguay, están integrando desde 2017 los ODS, priorizando erradicar la pobreza, el desarrollo en la salud y en el medio ambiente. Los tres son impactados muy severamente por las inundaciones.

## CONCLUSIONES

Este estudio, basado en lluvias diarias observadas en 41 estaciones, permite concluir que la Cuenca del Río de la Plata ha sufrido un proceso de aumento de precipitaciones, entre 1971 y 2015. Este aumento está indicado tanto por los montos acumulados anuales, así como en la intensidad en días lluviosos, en días con precipitaciones por encima de 20 mm y en los acumulados de los eventos de lluvia del percentil 99. Las correlaciones observadas en las anomalías de precipitación con El Niño permiten afirmar que existe una correlación altamente significativa para el trimestre OND. La mayor parte de la cuenca muestra correlaciones positivas, mientras que el Chaco paraguayo y los llanos bolivianos muestran correlaciones ligeramente negativas. Al respecto de la vulnerabilidad e impactos debidos a las inundaciones fluviales, la adaptación debe centrarse en mejorar los sistemas de alerta y la capacidad de respuesta y de reducir la exposición, abordando los objetivos del desarrollo sostenible.

## REFERENCIAS

Aceituno, P. 1988. On the functioning of the Southern Oscillation in the South American sector, part 1: Surface climate Monthly Weather Review, 116:505-524

Aguilar, E. 2010 Manual de uso de RSNHTR (software de homogenización del Center for Climate Change, URV, Tarragona, España), Centre for Climate Change, Tarragona.

[http://www3.urv.cat/data/manual/manual\\_rsnht](http://www3.urv.cat/data/manual/manual_rsnht)

Aguilar, E. J. Sigró, M. Brunet 2010. RCLIMDEX con funcionalidades extras de Control de Calidad Manual de Uso, versión 10, Centre for Climate Change, Tarragona.

[http://www3.urv.cat/data/manual/Manual\\_rclimdex\\_extraQCr](http://www3.urv.cat/data/manual/Manual_rclimdex_extraQCr)

Alexander, L.V. X. Zhang, T.C. Peterson, J. Caesar, B. Gleason, A.M.G. Klein Tank, M. Haylock, D. Collins, B. Trewin, F. Rahimzadeh, A.Tagipour, R. KumarKolli, J.V. Revadekar, G. Griffiths, L. Vincent, D.B. Stephenson, J. Burn, E. Aguilar, M. Brunet, M. Taylor, M. New, P. Zhai, M. Rusticucci, J. L. Vazquez Aguirre 2006. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation Journal of Geophysical Research-Atmospheres. 111. D05109,doi:10.1029/2005JD006290.

Aparicio-Effen, M. I. Arana, J. Aparicio, P. Cortez, G. Coronel, M. Pastén, G.J. Nagy, A. Galeano Rojas, L. Flores, M. Bidegain 2016. Chapter 26: Introducing hydro-climatic extremes and Human Impacts in Bolivia, Paraguay and Uruguay In Climate Change and Health: improving resilience and reducing risks (Leal Filho W, Azeiteiro, Alvez F, eds), 449-473 Climate Change Management Series, Springer-Verlag, Heidelberg, Germany eBook ISBN 978-3-319-244660-26, DOI 10.1007/978-3-319-24660-4\_26, 480 pp.

Barros, V. R. Clark, P. L. Silva Dias 2006. Libro El Cambio Climático en la Cuenca del Plata. Tendencias regionales en la precipitación 67-78 Ed. CIMA-Conicet. Argentina.

Barros, V. M. Gonzalez, B. Liebmann, I. Camilloni 2000. Influence of the South Atlantic Convergence Zone and the South Atlantic Sea Surface Temperature on the Interannual Summer precipitation variability in Southern South America Theoretical and Applied Climatology. 67:123-133

Carvalho, L. C. Jones, B. Liebmann 2002. Extreme Precipitation Events in Southeastern South America and Large-Scale Convective Patterns in the South Atlantic Convergence Zone. J. of Climate. 15:2377-2394.

Comisión Económica para América Latina y el Caribe CEPAL. 2007. Alteraciones climáticas en Bolivia: impactos observados en el primer trimestre de 2007. LC/MEX/L.792 PP: 207. Web site: [repositorio.cepal.org/bitstream/11362/37104/1/S2014127\\_es.pdf](http://repositorio.cepal.org/bitstream/11362/37104/1/S2014127_es.pdf)

- Donat, M.G. L.V. Alexander, H. Yang, I. Durre, R. Vose, R. Dunn, K. Willett, E. Aguilar, M. Brunet, J. Caesar, B. Hewitson, C. Jack, A.M.G. Klein Tank, A.C. Kruger, J. Marengo, T.C. Peterson, M. Renom, C. Oria Rojas, M. Rusticucci, J. Salinger, S.S. Sekele, A.K. Srivastava, B. Trewin, C. Villarroel, L.A. Vincent, P. Zhai, X. Zhang. S. Kitching 2013. Updated analyses of temperature and precipitation extreme indices since the beginning of the twentieth century: The HadEX2 dataset. *J. Geophys. Res. Atmos.*118:2098–2118, doi:10.1002/jgrd.50150
- Doyle, M.E. V. Barros 2002. Midsummer low-level circulation and precipitation in subtropical South America and related sea surface temperatures anomalies in the South Atlantic. *J. of Climate* 15: 3394-3410.
- Dufek, A. S. T. Ambrizzi 2008. Precipitation variability in Sao Paulo State, Brazil. *Theoretical and Applied Climatology* 93 (3–4):167–178.
- Grimm, A. S. Ferraz, J. Gomes 1998. Precipitation anomalies in Southern Brazil associated with El Niño and La Niña events. *J. of Climate*, 11:2863–2880.
- Grimm, A. M. V. Barros, M. Doyle 2000. Climate Variability in Southern South America Associated with El Niño and La Niña Events. *J. of Climate*. 13:35-58.
- Grimm, A. M. G. Pscheidt 2001. Atmospheric patterns associated with extreme rainfall events in the spring during El Niño, La Niña and neutral years in southern Brazil. *Proc. Ninth Congress of the Latin-American and Iberian Federation of Meteorological Societies and Eighth Argentinean Congress of Meteorology*, Buenos Aires, Argentina.
- Grimm, A. M. 2003 The El Niño impact on the summer monsoon in Brazil: Regional processes versus remote influences. *J. Climate*.16:263–280.
- Grimm, A. M. R.G. Tedeschi 2009. ENSO and extreme rainfall events in South America. *Journal of Climate* 22:1589–1609 <http://dxdoiorg/101175/2008JCLI24291>
- Khan, S. G. A. R. Kuhn, D. J. Ganguly, I. Erickson, G. Ostrouchov 2007. Spatio-temporal variability of daily and weekly precipitation extremes in South America, *Water Resour. Res.* 43.W11424, doi:101029/2006WR005384
- Haylock, M.R. T.C. Peterson, L. M. Alves, T. Ambrizzi, Y.M.T. Anunciação, J. Baez, V.R. Barros, M. A. Berlato, M. Bidegain, G. Coronel, V. Corradi, V.J. Garcia, A.M. Grimm, D. Karoly, J.A. Marengo, M.B. Marino, D.F. Moncunill, D. Nechet, J. Quintana, E. Rebello, M. Rusticucci, J.L.Santos, I. Trebejo, L.A. Vincent 2006. Trends in total and extreme South American rainfall 1960–2000 and links with sea surface temperature. *Journal of Climate* 19: 1490–1512.
- IPCC. 2012. Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. 582pp.
- Kendall, M.G. 1955. Rank Correlation Methods. Oxford Univ. Press, New York.
- Leal Filho, W. Modesto F. G.J. Nagy, M. Sarror, Y. Nsani, MO. Ha'apio 2017. "Fostering coastal resilience to climate change vulnerability in Bangladesh, Brazil, Cameroon, and Uruguay: a cross-country comparison", *Journal of Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, DOI: 10.1007/s11027-017-9750-3. Springer, Heidelberg, New York.
- Liebmann, B. C.S. Vera, L. M. V. Carvalho, I. Camilloni, M. Hoerling, D. Allured, V.R. Barros, J. Báez, M. Bidegain 2004. An Observed Trend in Central South American Precipitation. *J. of Climate*. 17:4357-4367.
- Marengo, J.A. 2004. Interdecadal variability and trends of rainfall across the Amazon basin. *Theoretical and Applied Climatology*.78(1-3):79–96.
- Marengo, J.A. M. Rusticucci, O. Penalba, M. Renom 2009. An intercomparison of observed and simulated extreme rainfall and temperature events during the last half of the twentieth century: part2: historical trends *Climatic Change*.98 (3–4):509–529.
- Nagy, G.J. G. Coronel, M. Pastén, J. Báez, R. Monte Domecq, A. Galeano Rojas, L. Flores, C. Ciganda, M. Bidegain, M. Aparicio-Effen, I. Arana, J. Aparicio 2016. Chapter 27: Impacts on well-being and health of excessive rainfall and floods in Paraguay Uruguay and Bolivia. In *Climate Change and Health: improving resilience and reducing risks* (Leal Filho W. Azeiteiro Alvez F. Eds.) 475-514 *Climate Change Management Series*. Springer-Verlag. Heidelberg. Germany eBook ISBN 978-3-319-244660-4\_27 DOI 101007/978-3-319-24660-4. 480 pp.
- Nicholls, N. 1996. Long-term climate monitoring and extreme events. TR Karl (Ed). *Long-term Climate Monitoring by the Global Climate Observing System*. Kluwer. Dordrecht .pp 518.
- Nogués-Paegle, J. C.R. Mechoso. R. Fu. E. H. Berbery. W. Chao. T. C. Chen. K. Cook. A. F. Diaz. D. Enfield, R. Ferreira, A.M. Grimm, V. Kousky, B. Liebmann, J. Marengo, K. Mo, J. D. Neelin, J. Paegle, A.W. Robertson, A. Seth, C.S. Vera, J. Zhou 2002. Progress in Pan American CLIVAR research: Understanding the South American monsoon. *Meteorológica*. 27:3-32.
- Null, J. (2014). El Niño and La Niña Years and Intensities retrieved from <http://ggweathercom/enso/onihtm>
- Penalba, O.C. F.A. Robledo 2010. Spatial and temporal variability of the frequency of extreme daily rainfall regime in the La Plata Basin during the 20th century *Climate Change* 98 (3–4):531–550.
- Pscheidt, I A.M. Grimm 2009. Frequency of extreme rainfall events in southern Brazil modulated by interannual and interdecadal variability *International Journal of Climatology*. 29:1988–2011. <http://dxdoiorg/101002/joc1799>.
- Rogers, J.C. 1988. Precipitation variability over the Caribbean and tropical Americas associated with the Southern Oscillation *J of Climate*. 1:172-182.

- Ropelewski, C.F. M.S. Halpert 1987. Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño/Southern Oscillation. *Mon Weather Rev.* 115:1606-1626.
- Seiler, C. R.W. Hutjes, P. Kabat 2013. Climate Variability and Trends in Bolivia. *J. Of Applied Met. and Climatology.* 52:130-146.
- Sen, P.K. 1968. Estimates of the Regression Coefficient Based on Kendall's Tau. *Journal of the American Statistical Association*, Vol. 63. 324:1379-1389.
- Skansi, M. M. M. Brunet, J. Sigró, E. Aguilar, J.A. Arévalo, O. Bentancur, Y.R. Castellón, R.L. Correa, H. Jácome, A. Malheiros, C.O. Rojas, A.M. Pasten, S. Sallons, C. Villaroel, R. Martínez, L.V. Alexander, P.D. Jones 2013. Warming and wetting signals emerging from analysis of changes in climate extreme indices over South America. *Global and Planetary Change.* 100:295-307.
- United Nations. 2015. Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development A/RES/70/1. 41pp.
- Vera, C. W. Higgins, J. Amador, T. Ambrizzi, R. Garreaud, D. Gochis, D. Gutzler, D. Lettenmaier, J. Marengo, C.R. Mechoso, J. Nogues-Paegle, P.L. Silva Dias, C. Zhang 2006. Toward a Unified View of the American Monsoon Systems. *J of Climate.* 19:4977-5000.
- Villamizar, A. M.O Gutiérrez, G. J. Nagy, R.M. Caffera, W. Leal Filho 2017. Climate adaptation in South America with emphasis in coastal areas: the state-of-the-art and case studies from Venezuela and Uruguay, *Climate and Development*, 9(4), 364-382.
- Zhang, X. L.A. Vincent, W. D. Hogg, A. Niitsoo 2000. Temperature and precipitation trends in Canada during the 20th century. *Atmosphere-Ocean.* 38:395-429.
- Zhang, X. L.V. Alexander, G.C. Hegerl, A. Klein-Tank, T.C. Peterson, B. Trewin, F.W. Zwiers 2011. Indices for monitoring changes in extremes based on daily temperature and precipitation data. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change.* 2:851-870. [http://dx-doi.org/101002/wcc147](http://dx.doi.org/10.1002/wcc.147).

## ANEXO I

**TABLA I Índices Climáticos ETCCDMI**

ID	NOMBRE DEL INDICADOR	DEFINICIÓN	UNIDADES
RX1day	Precipitación máxima en 1 día	Máximo mensual de precipitación en 1 día	mm
Rx5day	Precipitación máxima en 5 días	Máximo mensual de precipitación en 5 días consecutivos	mm
SDII	Índice de Intensidad diaria de precipitación	Precipitación anual dividida por el número de días húmedos (definido por PRCP>=1.0 mm) en un año	mm/día
R10	Número de días de lluvia	Número de días húmedos en un año para PRCP>=10mm	días
R20	Número de días con lluvia fuerte	Número de días húmedos en un año para PRCP>=20mm	días
R50	Número de días de lluvia muy fuerte	Número de días húmedos en un año para PRCP>=50 mm	días
CDD	Nro. de días secos consecutivos	Número de días consecutivos con RR<1mm	días
CWD	Nro. de días húmedos consecutivos	Número de días consecutivos con RR>=1mm	días
R95p	Días muy húmedos	Precipitación días húmedos en un año para RR>95 percentil	mm/año
R99p	Días extremadamente húmedos	Precipitación de días húmedos en un año para RR>99 percentil	mm/año
PRCPTOT	Precipitación anual	Precipitación anual para días húmedos (RR>=1mm)	mm/año

## ANEXO II

TABLA II Lista de Estaciones Meteorológicas

NOMBRE	OMM	LON (°)	LAT (°)	ALT (M.)
Corumbá	83554	-57,39	-19,00	344
Camiri	85315	-63,51	-20,00	810
Campo Grande	83611	-54,62	-20,45	531
Tarija	85364	-64,70	-21,55	1875
Yacuiba	85365	-63,65	-21,95	580
M. Estigarribia	86068	-60,62	-22,02	18
Puerto Casado	86086	-57,86	-22,28	87
Londrina	83766	-51,13	-23,32	566
Concepción	86134	-57,43	-23,43	70
Las Lomitas A.	87078	-60,58	-24,70	130
Asunción	86218	-57,63	-25,27	101
Chapecó	83883	-52,64	-27,09	679
Encarnación	86297	-55,87	-27,32	85
Posadas Aero	87178	-55,97	-27,37	131
Col. Benítez	*****	-58,93	-27,42	54
Resistencia, A	87155	-59,05	-27,45	53
Corrientes, A	87166	-58,76	-27,45	62
Cerro Azul	*****	-55,43	-27,65	283
Passo Fundo	83914	-52,40	-28,25	685
Paso Libres, A	87289	-57,15	-29,68	69
Santa María	83936	-53,70	-29,70	96
Uruguiana	83927	-57,08	-29,75	62
Ceres	87257	-61,95	-29,88	87
M. Caseros, A	87393	-57,65	-30,25	53
Artigas	86330	-56,50	-30,38	121
Rivera	86350	-55,53	-30,88	242
Concordia, A	87395	-58,02	-31,30	35
Bagé	83980	-54,10	-31,33	242
Paraná Aero	87374	-60,48	-31,78	74
Paysandú	86430	-58,03	-32,33	61
Melo	86440	-54,18	-32,37	100
Marcos Juarez	87467	-62,15	-32,70	110
P. de los Toros	86460	-56,52	-32,80	75
Rosario Aero	87480	-60,68	-32,90	19
Mercedes	86490	-58,07	-33,25	22
Colonia	86560	-57,83	-34,45	24
Junin	87548	-60,95	-34,55	92
Ezeiza	87576	-58,53	-34,82	20
Treinta y Tres	86500	-54,38	-33,22	47
Carrasco	86580	-56,01	-34,83	31
Rocha	86565	-54,31	-34,49	21

## ANEXO III

### Eventos ENSO

#### Categorías de acuerdo a la magnitud de los eventos históricos

##### Fase cálida de ENSO o Niño (Adaptado de Jan Null, 2014)

**Débil:** 1976-77, 1977-78, 1979-80\*, 1994-95\*, 2004-05, 2006-07

**Moderado:** 1986-87, 1987-88\*, 1991-92, 2002-03, 2009-10

**Fuerte:** 1972-73

**Muy fuerte:** 1982-83, 1997-98, 2015-16

## ANEXO IV

### Pendientes de los índices de extremos de precipitación (en mm y días cada 10 años)

(\*\* significativo al 99%, \* significativo al 95%)

Nombre	rx1 (mm)	rx5 (mm)	sdii (mm/d)	r10 (días)	r20 (días)	r50 (días)	cdd (días)	cwd (días)	r95p (mm)	pr99p (mm)	prcptot (mm)
CORUMBA	2.5	0.3**	0.6	-2	0**	0	7	-1	19	10	-39.6
CAMIRI	-0.3**	-6.5	-0.8	-2	-2	0	1**	0**	-19	1**	-50.5
C. GRANDE	-0.7**	-1.3**	-0.3	-2	-1	0	2**	0**	-37	-15	-69.6
TARIJA	0.6**	2.2	0.0**	0	0**	0**	2**	0**	-2**	-1**	-7.0*
YACUIBA	4.1	-4.8*	-0.4	-2	-1	-1	5	0	-2	13*	-50.3
M. ESTIGARRIBIA	4.7	6.2	0.3	-1	0**	0**	3	0	1*	15	-10.2**
PUERTO CASADO	4.1	13.2	1.0	2	2	1	0**	0	58	27	106.4
CONCEPCION	11.3	10.0	0.8	0*	0	1	1*	0	49	22	48.0
LONDRINA	4.8	3.3**	0.0**	-1	0**	0	2	0	-15*	-6**	-22.1*
LAS LOMITAS	8.3	17.6	0.3**	3	2	0	1*	0	25	-3**	84.6
ASUNCION	6.4	3.2*	0.4	1*	0	0	1	0*	31	28	49.7
CHAPECO	-0.6**	9.5	0.0**	0**	0**	0**	0*	0**	23*	19	22.3**
ENCARNACION	1.3**	9.1	0.2*	0**	0**	0**	1	0	-7**	4**	-1.1**
COL.BENITEZ	5.2	6.5	0.8	-1	0*	0**	5	0**	1*	14	-14.5**
RESISTENCIA	-13.4	-12.4	0.7	1*	1	0	2	0	-7**	-39	24.0*
CERRO AZUL	-5.7	-3.2*	0.3	1*	0**	0**	0*	0**	6**	-15	12.5**
PASSO FUNDO	2.0**	2.4**	0.5	0**	0**	0*	1	0	0**	4**	-36.2
SANTA MARIA	4.0	5.2	0.8	0**	2	1	0**	0	29	2**	44.7
URUGUAIANA	-2.7*	-0.7**	-0.2*	0**	0**	-1	0**	0	-26	-10*	-19.1**
CERES AERO	31.8	29.4	2.9	0**	2	1	0	0	98	41	53.6
V.M. RIO SECO	0.6**	-1.7**	0.6	-1*	0**	0	0	0	11	11	-3.9**
M.CASEROS	3.1	2.9**	0.1**	0**	0**	0**	0**	0**	-1**	12	-4.6**
ARTIGAS	6.0	5.0	-0.3	0**	0**	0	-1	0	-3**	13	-0.2**
RIVERA	0.5**	-5.6	0.2*	0**	-1*	0	0**	0	-20	0**	-13.7**
CONCORDIA	7.0	13.7	0.4	0**	0**	0	0**	0**	28	17	33.3
BAGE	2.3*	-1.5**	0.4	1**	1	0**	0**	0**	-4**	10*	26.0*
PARANA	5.4	7.1	0.4	0**	0**	0**	1*	0	8**	5**	14.4*
PAYSANDU	-1.5**	7.9	0.3	1	1	0**	1	0	-1**	-2**	18.9*
MELO	3.6	5.8	0.0**	1	1	0**	0*	0	17	20	52.6
M. JUAREZ	-3.2	-5.0	0.1**	0**	0**	0**	1**	0	-18	-8*	-9.7**
P.TOROS	2.0*	3.2**	-0.1**	1	0**	0**	0*	0*	-9**	-3**	4.6**
ROSARIO	5.3	7.2	0.7	1	1	0	4	0**	22	21	25.2
T. Y TRES	3.2*	8.4	-0.1**	1**	0*	0	0**	0	34	18	8.6**
MERCEDES	-1.7**	-4.4*	0.2*	1*	1	0	0**	0	14	-1**	37.7
COLONIA	-1.5**	3.1*	0.3	1*	0**	0	2	0	3**	-7*	5.5**
JUNIN AERO	-0.7**	1.9**	0.8	1	1	1	1*	0**	34	7*	51.6
EZEIZA AERO	1.3**	0.2**	0.8	-1	1	0	2	0	10*	5**	-5.3**
ROCHA	6.7	3.4*	0.2*	1*	1	0**	-1	0	18	27	38.7
CARRASCO	-0.9**	2.3**	0.2	1	1	0*	-1	0	-10*	-3**	12.6**