

# Impactos en el régimen térmico producidos por el embalse de Salto Grande

G. Cruz, M. Bidegain, A. Bocco, S. Alvaríño y R. Terra

## RESUMEN

El embalse de Salto Grande (ESG) es una de las mayores presas hidroeléctricas en Sudamérica. Si bien ha traído beneficios, también ha llevado a debates sobre sus impactos sociales y ambientales, incluyendo los climáticos. El monitoreo de las variaciones espacio-temporales de la temperatura del aire en el área del ESG permite caracterizar los impactos climáticos de dicha presa. En este estudio, utilizamos la temperatura de la superficie terrestre (LST) basada en sensores remotos y datos de temperatura del aire medidos en estaciones meteorológicas, para investigar los cambios de temperatura ocasionados por el ESG. Los resultados muestran que, durante el día, LST sobre el embalse es entre 3°C y 5°C menor que en la región circundante, mientras que LST durante la noche exhibe una temperatura entre 5°C y 7°C mayor. Los cambios en la temperatura del aire medida en estaciones meteorológicas vecinas fueron consistentes con los de LST, aunque de menor magnitud. Si bien estos efectos están localmente restringidos (5km a lo largo del embalse), se previene acerca de la utilización de información climática de estaciones meteorológicas próximas al ESG, para extrapolar espacialmente en estudios climáticos a escala regional.

**Palabras clave:** Argentina, temperatura del aire, Uruguay

G. Cruz, M. Bidegain, A. Bocco, S. Alvaríño and R. Terra, 2018. Climatic impacts produced by Salto Grande reservoir. RADA IX: 47-56

## SUMMARY

The Salto Grande Reservoir (ESG) is one of the largest hydroelectric dams in South America. While it has brought benefits, it has also led to debates about its social and environmental impacts, including climate impacts. The spatio-temporal monitoring of air temperature variations in ESG area allows to characterize the climatic impacts of the dam. In this study, we use the Earth's surface temperature (LST) based on remote sensors and air temperature data measured in weather stations, to investigate the temperature changes caused by the ESG. The results show that, during the day, LST on the reservoir is between 3 ° C and 5 ° C lower than in the surrounding region, while LST during the night exhibits a temperature between 5 ° C and 7 ° C higher. The changes in air temperature measured in neighboring meteorological stations were consistent with those of LST, but of minor magnitude. These effects are

locally restricted (5km along the reservoir), but we alert about the use of climatic information from meteorological stations close to the ESG, to extrapolate in regional climatic studies.

**Key words:** Argentina, air temperature, Uruguay

*G. Cruz: Centro Interdisciplinario Respuesta al Cambio y Variabilidad Climática y Facultad de Agronomía (Departamento de Sistemas Ambientales) (UDELAR). Av. Garzón 780, Montevideo CP 12900. Uruguay. M. Bidegain: Centro Interdisciplinario Respuesta al Cambio y Variabilidad Climática (UDELAR) e Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. Ruta 48 km 10, Canelones CP 90100. Uruguay. A. Bocco: Facultad de Agronomía y Veterinaria (UNRC). Ruta Nacional 36, Km 601, Córdoba CP X5804BYA. Argentina. S. Alvaríño: Centro Universitario Regional Este (UDELAR). Tacuarembó entre avenida Artigas y Aparicio Saravia, Maldonado CP 20000. Uruguay. R. Terra: Centro Interdisciplinario Respuesta al Cambio y Variabilidad Climática y Facultad de Ingeniería (Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental) (UDELAR). Julio Herrera y Reissig 565, Montevideo CP 11300. Uruguay. Correspondencia a: gcruz@fagro.edu.uy*

## INTRODUCCIÓN

Las grandes presas, definidas por la Comisión Internacional de Grandes Represas (ICOLD) como aquellas con una altura de al menos 15 metros o que contienen un volumen de más de 3 millones de m<sup>3</sup>, juegan un papel importante en la reducción de los déficits de agua, generando energía eléctrica, navegación y control de inundaciones. Además de sus beneficios para la sociedad, la construcción de presas también causa diversos impactos climáticos locales principalmente debidos a un aumento en la energía potencial convectiva disponible, humedad específica y evaporación. (Degu et al., 2011; Hossain et al., 2012).

La presa de Salto Grande (ESG), ubicada en la cuenca del río Uruguay, es una de las mayores presas hidroeléctricas de Sudamérica y proporciona muchos beneficios a la sociedad. Sin embargo, durante las últimas décadas, con frecuencia se han producido sequías (1999, 2008-2009 y 2015) e inundaciones (1983, 1998, 2016) extremas en la cuenca del río Uruguay, lo que ha atraído la atención del público a los debates sobre los impactos ambientales y climáticos de estas infraestructuras.

Por otro lado, estudios recientes (Penalba y Rivera, 2016), muestran un claro vínculo entre las fases del ENOS y la temperatura de la superficie del mar de distintas regiones del mundo con los excesos y déficits hídricos en la región en estudio. La respuesta de la precipitación en los eventos La Niña

se caracteriza por déficits regionales. Mientras tanto, durante los eventos El Niño la respuesta se invierte y ésta resulta ser más consistente que en el caso anterior. Los caudales en la cuenca media y alta del río Uruguay también muestran modos de variabilidad compatibles con las señales del fenómeno ENOS y coincidente con los mencionado anteriormente para la precipitación (Krepper et al., 2003)

El embalse de Salto Grande (ESG) atravesó un período de llenado durante 1979 cuando su área inundada se expandió a 783 km<sup>2</sup>. En la Figura 1 se muestra una imagen que comprende parte de la zona de estudio, antes (1976) y después (2018) del ESG.

Además, luego del ESG se verificó una inmigración hacia las principales ciudades cercanas (Salto en Uruguay y Concordia en Argentina), lo que produjo un aumento del área urbana. A la vez, algunos proyectos de protección ecológica iniciados por los gobiernos produjeron cambios en el área forestada del ESG y tierras de pastoreo se convirtieron en bosques. Es probable que tales cambios en la cobertura del suelo hayan afectado el clima local (Dale, 1997; Kalnay y Cai, 2003; Pielke et al., 2002). Son muy escasos los estudios de impacto climático de lagos artificiales y en particular para el lago de la represa binacional de Salto Grande. Como antecedente se puede mencionar el informe realizado por el Servicio Meteorológico Nacional de Argentina a fines de la década de los 70 (SMN, 1977). En ese informe se proyectaba aumento de las temperaturas mínimas,

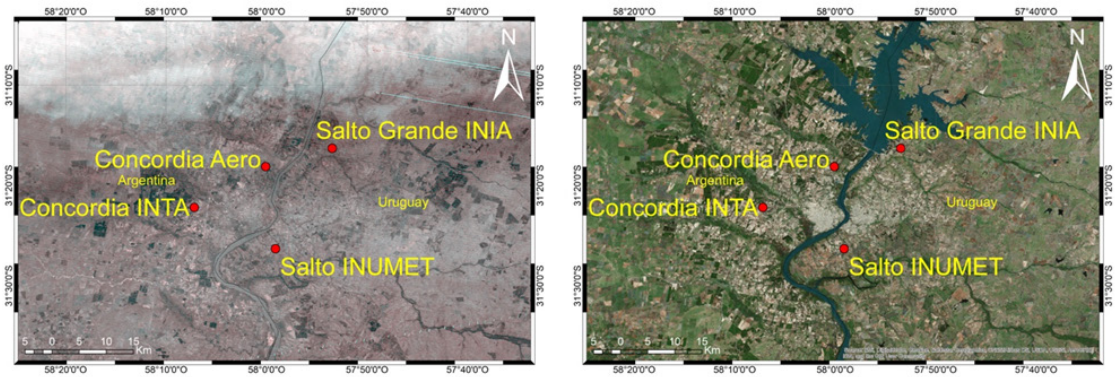


Figura 1: Región comprendida en el estudio antes (izquierda) y después (derecha) del Embalse de Salto Grande.

disminución de las máximas y de la amplitud térmica en todo el año.

La temperatura de la superficie terrestre (LST: Land Surface Temperature en inglés) y la temperatura del aire son indicadores importantes para caracterizar los sistemas climáticos locales (Mannstein, 1987; Sellers et al., 1992). Aunque los datos meteorológicos medidos en estaciones meteorológicas son precisos, solo están disponibles en un pequeño número de ubicaciones y, por lo tanto, no pueden capturar los patrones espaciales en el cambio climático local. Las observaciones satelitales adquiridas a altas resoluciones espaciales y temporales permiten superar las limitaciones de sensores y de los estudios basados en la medición en superficie. El LST basado en satélites, derivado de las mediciones infrarrojas térmicas de los sensores del satélite, se ha utilizado ampliamente en estudios climáticos (Jin y Dickinson, 2002; Li et al., 2015; Peng et al., 2014; Tomlinson et al., 2011; Yang et al., 2013; Zhou et al., 2012). Además, los datos satelitales también pueden capturar de forma realista cambios continuos en la cobertura y uso del suelo.

El objetivo de este estudio es analizar la existencia y magnitud de los cambios en la temperatura del aire a nivel local debido a la creación del ESG, utilizando para esto datos de LST y datos de temperatura del aire provenientes de estaciones meteorológicas permanentes.

### Área de estudio

La presa de Salto Grande se encuentra sobre el río Uruguay, divisoria internacional entre Uruguay y Argentina, sobre el sudeste de Sudamérica. El

llenado del lago comenzó el 1 de abril de 1979 y el 21 de junio de 1979 alcanzó el nivel de 35 m sobre el nivel medio del mar, cota nominal de embalse con una profundidad media de 6,4 m. El ESG es una sección del río Uruguay y tiene un ancho máximo de 9 km y una longitud de 140 km. En nuestro estudio, nos centramos en la región 31,5°S - 30° S y 57°O - 58,5° O (Figuras 2, 3 y 4).

Las condiciones de relieve son relativamente suaves, el embalse de Salto Grande está rodeado por elevaciones suaves tanto al este como al oeste, la máxima altitud se ubica al este sobre la cuchilla de Haedo en Uruguay con 240 m sobre el nivel medio del mar. La región donde se encuentra el ESG presenta una temperatura media anual de aproximadamente 18°C, con máximas que promedian más de 30°C en el verano local y mínimas medias que apenas bajan de 8°C en el invierno (INUMET, 2018). La precipitación anual es de aproximadamente 1400 mm, sin embargo, la precipitación que acaece en las proximidades del embalse sólo contribuye al 12% del caudal medio del río Uruguay medido en la localidad de Concordia. El 88% restante corresponde a lo aportado por la cuenca alta donde las precipitaciones oscilan entre 1600 y 1800 mm (Krepper et al., 2003).

### MATERIALES Y MÉTODOS

Como nuestro objetivo es analizar si existieron cambios locales de temperatura del aire atribuibles al ESG, utilizamos distintos conjuntos de datos:

1) Datos diarios de temperatura del aire medidos en estaciones meteorológicas permanentes de superficie, correspondientes a períodos previos y posteriores a la creación del ESG.

2) Temperatura de la superficie terrestre (LST) basada en satélite

### **Temperatura del aire medida en estaciones meteorológicas**

Se analizaron datos diarios de temperatura máxima y mínima del aire para las estaciones meteorológicas de Salto Grande (31,27°S - 57,88°O) (INIA, Uruguay), Nueva Hespérides (31,43°S - 57,98°O) (INUMET, Uruguay), Concordia Aero (31,28°S - 58°O) (SMN, Argentina) y Concordia INTA (31,37°S - 58,12°O) (INTA, Argentina). En cuanto a las distancias al lago, Salto Grande es la estación meteorológica más cercana (2 km), Concordia Aero se ubica algo más lejos (7km) y Nueva Hespérides y Concordia INTA son las más alejadas (aproximadamente 19 km).

Los datos correspondientes al período anterior a la creación del ESG abarcan desde 1963 a 1977 para Nueva Hespérides y Concordia Aero, desde 1969 a 1977 para Concordia INTA, y desde 1971 a 1977 para Salto Grande (esta estación meteorológica fue creada a fines de 1970). El período posterior al ESG abarcó desde 2003 a 2017 en todos los casos.

El control de calidad de la base de datos incluyó la identificación de datos faltantes y valores fuera de los rangos. Se realizaron pruebas de rango fijo, tomando como criterio los umbrales determinados por la OMM para las variables en estudio (WMO, 2012) y pruebas de rango variable considerando un rango específico para cada mes definido como el intervalo comprendido entre la mediana  $\pm$  3 desvíos medios absolutos (MAD). Los valores fuera de rango fueron reemplazados por la media correspondiente al mes del dato erróneo. Se siguió el mismo criterio para los datos faltantes. La homogeneidad se constató a través de la metodología HOMER (Mestre et al., 2013). Luego se unificó la base, controlando fecha y valores al comparar entre estaciones meteorológicas y/o períodos.

Se calcularon las amplitudes térmicas (temperatura máxima-temperatura mínima), así como los promedios y desvíos para cada mes de las tres variables (temperatura máxima, mínima y amplitud térmica), correspondientes a cada estación meteorológica y período.

De acuerdo a lo reportado en análisis de temperaturas máximas y mínimas, existe una tendencia climática creciente en toda la región (Giménez et al., 2009; Bettolli et al., 2010; Bidegain et al., 2012; Nagy et al., 2016). Considerando esto, se estimaron las diferencias de temperatura del

aire entre las estaciones meteorológicas de Salto Grande y Concordia INTA (elegida por ser una de las más alejadas) a nivel mensual, tanto durante un período previo a la represa (1971-1977) como en un período posterior (2003-2016).

### **Temperatura de la superficie terrestre basada en sensores remotos (LST)**

Se recolectaron datos MODIS de 8 días del MODIS de nivel 3 (MOD11A2) entre 2000 y 2017, adquiridos por el satélite Terra. MOD11A2 se compone de la media de los píxeles del producto LST diario de 1 km (MOD11A1) en una ventana de 8 días y comprende las LST diurnas y nocturnas (Coll et al., 2005; Wan et al., 2002) y se ha informado que tiene una precisión global de menos de 1K (Wan, 2008). Se utiliza una ventana de 8 días ya que corresponde a la mitad del tiempo que tarda el satélite en repetir la trayectoria terrestre. El satélite MODIS Terra es sol sincrónico y con órbitas polares, siendo ésta descendente y atraviesa el ecuador a las 10.30 AM (horario solar local). Durante el día el satélite barre la zona de estudio entre 13:40 PM mientras que las mediciones nocturnas ocurren a las 02:40 AM. La temperatura del aire tiene una fuerte correlación positiva con LST (Gallo et al., 2011; Mildrexler et al., 2011; Schwarz et al., 2012).

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **Evolución espaciotemporal de la temperatura de superficie terrestre basada en sensores remotos (LST)**

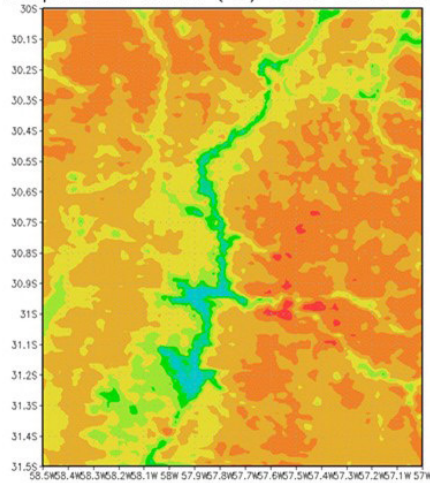
La Figura 2 muestra la distribución espacial de la LST de 2000 a 2017 (promedio anual), durante el día (derecha) y la noche (izquierda).

A escala anual (Figura 2 izquierda) se observa durante las horas diurnas temperaturas superficiales entre 20°C (sur del embalse) a 23°C sobre el norte del embalse donde el ancho del espejo de agua es menor, mientras que las regiones más alejadas del embalse muestran temperaturas entre 25 a 26°C, por lo tanto, en el área del embalse la temperatura máxima es de 3°C a 5°C menor. Durante las horas nocturnas (Figura 2, derecha) las temperaturas en superficie presentan valores promedio entre 17°C y 20°C sobre el embalse, mientras que las regiones más alejadas muestran valores entre 11°C a 14°C, por lo tanto, la diferencia de la temperatura mínima en superficie entre el embalse y sus alrededores es de aproximadamente 5°C a 7°C.

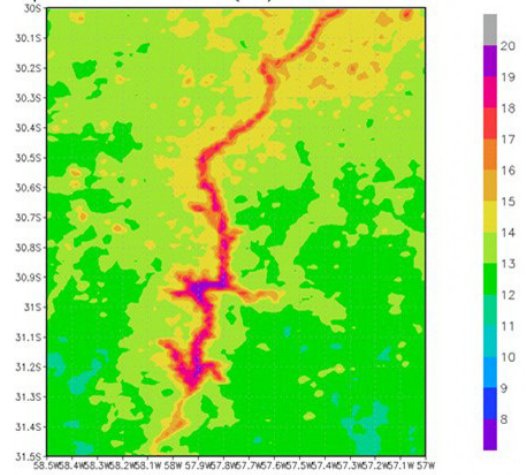
Durante las horas diurnas en verano (Figura



Temperatura diurna (°C) 2000–2017 MODIS



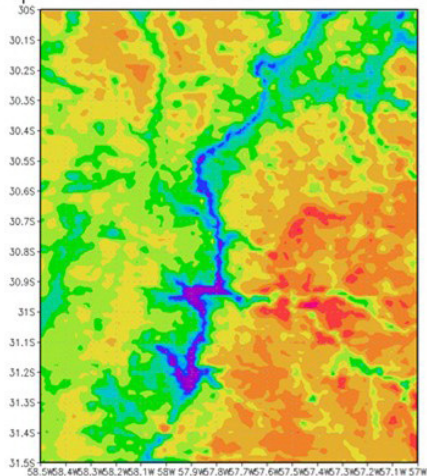
Temperatura nocturna (°C) 2000–2017 MODIS

**Figura 2:** LST anual media diurna (izquierda) y LST anual media nocturna (derecha)

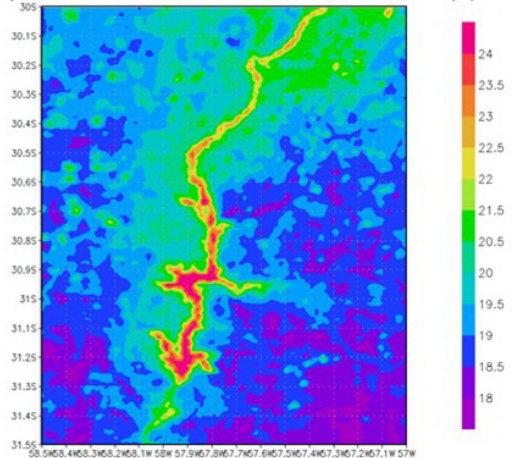
3, izquierda), se observa que las temperaturas superficiales sobre el embalse alcanzan los 27°C, mientras que en las zonas más alejadas al embalse (margen uruguayo) se alcanzan 37°C, por lo tanto, existe una disminución de la temperatura máxima de hasta 10°C. Durante las horas nocturnas (Figura 3 derecha), las temperaturas en superficie presentan valores promedio de 24°C sobre el espejo mayor del lago, mientras que las regiones más alejadas muestran valores de 18°C a 19°C, por lo tanto, el lago produce un máximo relativo en la temperatura mínima de 5°C o 6°C.

En invierno durante el día (Figura 4 izquierda), las temperaturas superficiales sobre el embalse alcanzan los 15°C, mientras que en las zonas más elevadas de la margen argentina los valores llegan a 18°C, por lo tanto, la diferencia en la temperatura máxima es de hasta 3°C. Durante las horas nocturnas (Figura 4 derecha), las temperaturas presentan valores entre 13°C y 14°C sobre el espejo mayor del lago, mientras que las regiones más alejadas al sur de la región muestran valores de 6°C a 7°C, por lo tanto, el lago genera un máximo relativo en la temperatura mínima de 5°C a 7°C.

Temperatura diurna VER 2000–2017 MODIS (C)



Temperatura nocturna VER 2000–2017 MODIS (C)

**Figura 3:** LST diurna (izquierda) y LST nocturna (derecha) en verano.

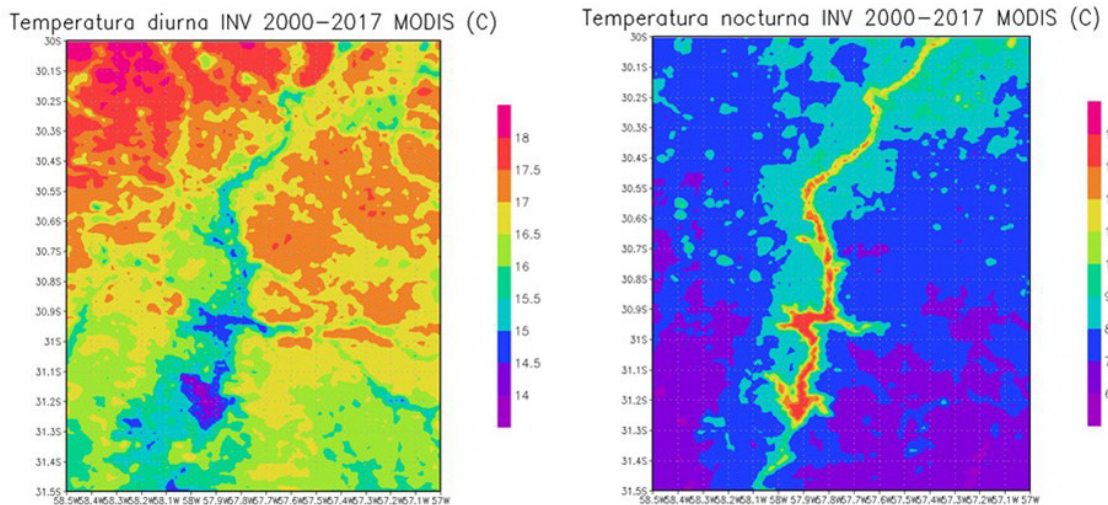


Figura 4: LST diurna (izquierda) y LST nocturna (derecha) en invierno.

### Evolución espacio temporal de la temperatura del aire medida en estaciones meteorológicas

Respecto a los resultados obtenidos mediante los datos de las estaciones meteorológicas (Tabla 1), se observan aumentos de temperatura máxima y mínima en todos los puntos y meses (excepto mayo y julio en temperatura mínima). Sin embargo, como se señaló en el apartado de Materiales y Métodos, ésta es la señal que también se espera asociada al calentamiento global (Giménez et al., 2009; Bettolli et al., 2010; Bidegain et al., 2012; Nagy et al., 2016), por lo que no es evidente discriminar el efecto del embalse. Aun así, en SG

que es donde se espera que el efecto local del lago sea mayor por ser la estación más cercana, se presenta el mayor número de meses con disminución de la amplitud térmica, y es la única localidad con disminución de la amplitud a nivel anual (Tabla 1).

Como se señaló en Materiales y Métodos, para discriminar la tendencia regional (asociada al calentamiento global) del efecto del embalse, se analizó la evolución temporal de la diferencia de temperatura del aire entre las estaciones de Salto Grande y Concordia INTA en un período común previo (1971-1977) y posterior (2003-2016) a la represa (Figura 5). La diferencia de temperaturas

Tabla 1. Diferencias de amplitud térmica y temperaturas extremas (promedio mensual, °C) entre el período posterior y anterior al ESG

Mes	Amplitud Térmica				Temperatura máxima				Temperatura mínima			
	NH	SG	AC	CI	NH	SG	AC	CI	NH	SG	AC	CI
Ene.	0,5	0,7	0,3	0,7	1,2	1,5	1,0	1,0	0,7	0,8	0,7	0,3
Feb.	1,0	-0,5	-0,8	0,3	0,9	1,0	-0,1	0,9	-0,1	1,5	0,7	0,6
Mar.	0,4	0,2	-0,1	0,8	0,7	0,7	0,3	0,8	0,3	0,5	0,4	0,0
Abr.	0,6	-0,5	-0,2	0,2	1,2	0,7	0,3	0,6	0,6	1,2	0,5	0,4
May.	0,0	-0,7	-0,7	0,1	-0,1	-0,6	-1,0	-0,4	0,1	-0,1	-0,3	-0,5
Jun.	0,8	0,2	0,2	0,9	1,0	0,4	0,3	0,6	0,2	0,2	0,1	-0,3
Jul.	1,0	0,6	0,9	1,1	0,4	0,2	0,0	0,2	-0,6	-0,4	-0,9	-0,9
Ago.	0,7	0,2	0,7	0,9	1,3	1,1	1,2	1,4	0,6	0,9	0,5	0,5
Set.	0,3	-0,1	0,3	0,2	0,4	0,3	0,5	0,2	0,1	0,4	0,2	0,0
Oct.	-0,3	-1,4	-0,7	0,2	0,4	0,3	0,4	3,1	0,7	1,7	1,1	2,9
Nov.	0,2	-0,9	0,0	0,4	0,7	0,9	0,8	1,5	0,5	1,8	0,8	1,1
Dic.	0,1	-0,6	0,0	0,5	0,3	0,5	0,5	0,9	0,2	1,1	0,5	0,4
Verano	0,5	-0,1	-0,2	0,5	0,8	1,0	0,4	0,9	0,3	1,1	0,6	0,4
Inviern	0,8	0,4	0,6	0,9	0,9	0,6	0,5	0,7	0,1	0,2	-0,1	-0,2
Anual	0,4	-0,2	0,0	0,5	0,7	0,6	0,3	0,9	0,3	0,8	0,3	0,4

NH: Nueva Hespérides; SG: Salto Grande; AC: Aeropuerto de Concordia; IC: INTA Concordia

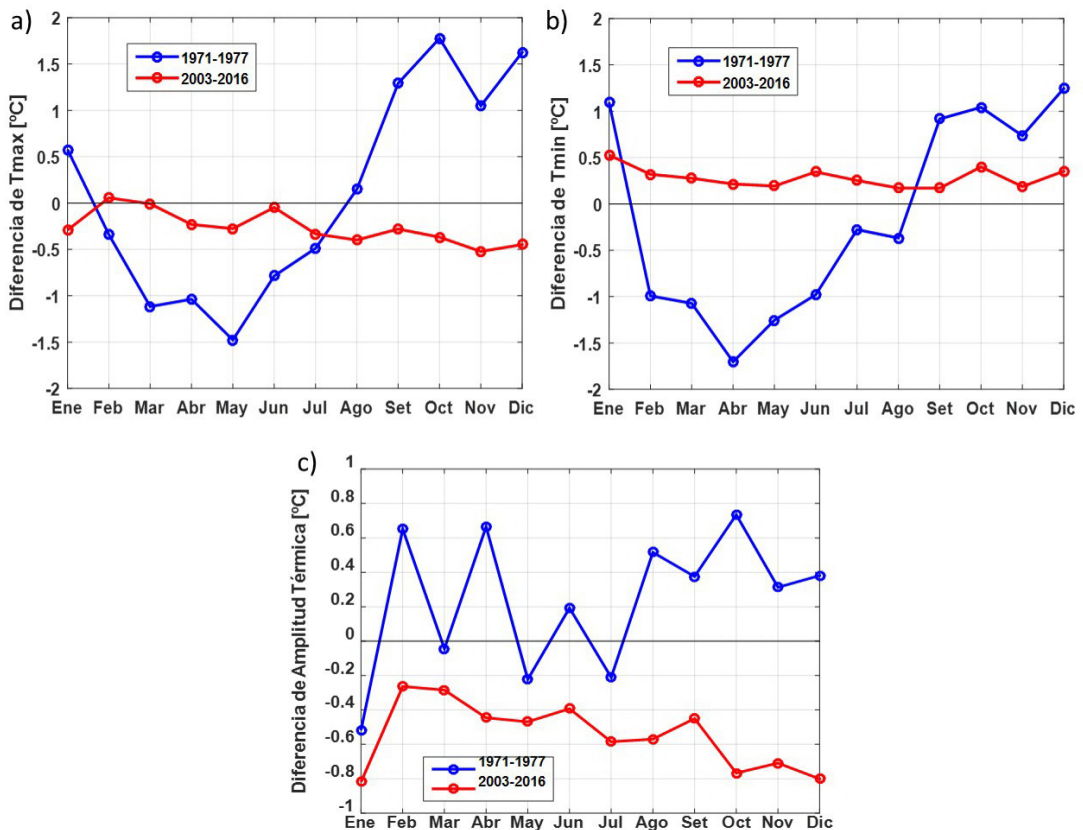
entre estas estaciones para cada período, despeja el impacto diferencial del lago entre ambos sitios, asumiendo que la señal regional de cambio climático es la misma. Complementariamente, se presenta la marcha anual de temperaturas máximas y mínimas en el período pre y post embalse para cada uno de estos sitios (Figura 6).

En la Figura 5 se verifica que, en el período previo al embalse, las temperaturas extremas son menores en Salto Grande que Concordia INTA de febrero a julio y mayores de setiembre a enero, contribuyendo a un ciclo anual más pronunciado. En el período posterior al embalse el patrón temporal de diferencias cambia totalmente. Salto Grande pasa a tener temperaturas máximas menores y temperaturas mínimas mayores durante prácticamente todo el año, aunque las diferencias son pequeñas (menores a  $0,5^{\circ}\text{C}$ ). Conjuntamente, ambos resultados llevan a que la amplitud térmica que previo al embalse era mayor en Salto Grande durante la mayor parte del año, pase a ser menor todo el año.

## Análisis conjunto

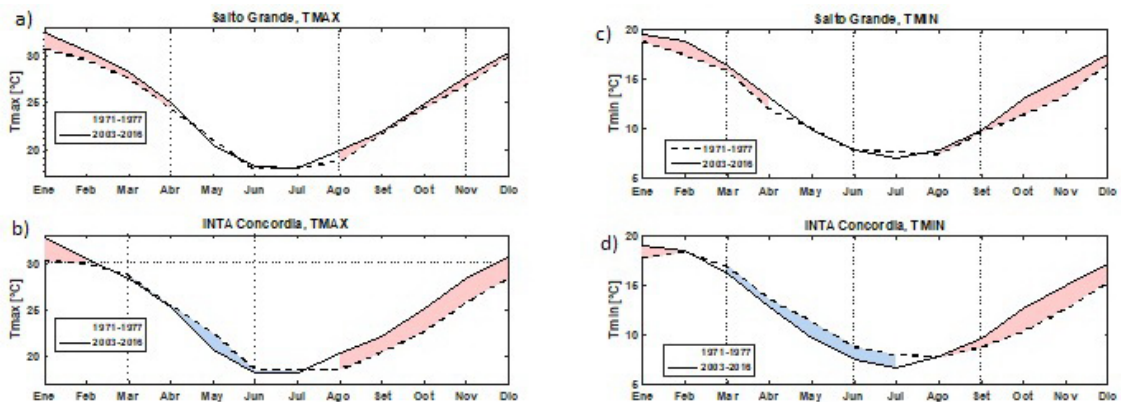
Los resultados obtenidos a partir de LST y de las observaciones meteorológicas son complementarios y consistentes entre sí. La comparación de las temperaturas extremas entre el período previo y posterior al embalse permitió cuantificar el efecto de ESG, mientras que el análisis de LST mostró la variación espacial de las temperaturas extremas debido al lago.

Se verifica un efecto apreciable del ESG sobre las temperaturas extremas y la amplitud térmica en la estación meteorológica de SG, la cual se ubica a una distancia al embalse de tan solo 2 km. Si bien en este trabajo se evaluó el impacto del ESG sobre las temperaturas extremas y la amplitud térmica, es altamente probable que también exista efecto del ESG sobre otras variables climáticas como la humedad relativa, la evaporación y la evapotranspiración de referencia. Además, es probable que los cambios de temperatura evidenciados en este artículo, hayan provocado



**Figura 5:** Diferencia de temperatura máxima (a), mínima (b) y amplitud térmica (c) entre Salto Grande y Concordia INTA para el período previo al embalse (1971-1977 en azul) y posterior al embalse (2003-2016 en rojo)





**Figura 6:** Marcha anual de temperatura máxima y mínima en el período posterior (línea llena) y anterior (línea punteada) al embalse en Salto Grande (a) y c) y Concordia INTA (b) y d)). En color se muestran las diferencias térmicas entre períodos (negativas en celeste y positivas en rosado).

también cambios en las variables mencionadas. Por todo esto, consideramos que la información meteorológica recabada en sitios afectados por el ESG (5km a lo largo del embalse) no debería utilizarse para realizar inter o extrapolaciones espaciales en estudios climáticos de mayor escala.

Es necesario aclarar que los cambios de temperatura a lo largo y alrededor del embalse no solo pueden ser el resultado de la presencia del espejo de agua, sino que también pueden estar influidos por el aumento demográfico y de la cubierta vegetal causada por algunos proyectos de reforestación en ambas orillas del embalse.

Comparando los resultados obtenidos con el informe realizado previamente al embalse (SMN, 1977), en el cual se proyectaba aumento de las temperaturas mínimas, disminución de las máximas y de la amplitud térmica en todo el año, encontramos que se ajusta parcialmente a los resultados obtenidos (Tabla 1). Para el mes de enero (verano) se esperaba disminuciones de la temperatura máxima entre 1°C (sur del embalse) y 0,5° (norte del embalse) y para julio (invierno) disminuciones de 0,5°C tanto al sur como al norte. En nuestro estudio las temperaturas máximas en el ESG aumentaron prácticamente durante todo el año (Tabla 1). La temperatura mínima se proyectaba que aumentaría todo el año, aumento que se verifica actualmente con magnitudes mayores en el período Set-Dic (Tabla 1). Se proyectaba disminución de la amplitud térmica a nivel anual, lo cual también se verifica hoy (Tabla 1). También se proyectaban aumentos de la humedad relativa durante todo el año, lo cual no puede verificarse en este estudio. En síntesis, las estimaciones previas

mostraban un efecto más pronunciado del embalse al efecto que se obtiene de las observaciones.

## CONCLUSIONES

Del análisis con las dos metodologías (LST y temperatura del aire) se observa una señal climática del embalse de Salto Grande, que se traduce en una menor amplitud térmica a nivel anual en la estación meteorológica SG.

La comparación de temperaturas extremas entre las estaciones meteorológicas de Salto Grande y Concordia INTA asumiendo que el efecto del cambio climático regional es similar en ambas, muestra un ciclo anual más pronunciado en Salto Grande antes del embalse. En el período posterior al embalse el patrón temporal de diferencias cambia, pasando Salto Grande a tener temperaturas máximas menores y temperaturas mínimas mayores durante prácticamente todo el año. Estos resultados llevan a que la amplitud térmica que previo al embalse era mayor en Salto Grande durante la mayor parte del año, pase a ser menor todo el año.

Los efectos de la presencia del embalse sobre la temperatura del aire, son menores a los proyectados previamente a la creación del ESG por un estudio pionero de impacto ambiental realizado por el SMN-Argentina.

El impacto climático local del ESG debe inducir a precaución en el uso de los datos registrados de estaciones meteorológicas cercanas al embalse, en la forma de no extrapolar espacialmente el comportamiento observado localmente.



## AGRADECIMIENTOS

A los Servicios Meteorológicos de Argentina (SMN), Instituto Uruguayo de Meteorología de Uruguay (INUMET), Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIA) de Uruguay y al Instituto de Tecnología Agropecuaria (INTA) de Argentina por ceder sus datos observacionales de temperaturas en estaciones meteorológicas. A National Aeronautic and Space Agency (NASA) por proveer los productos LST de MOD11A2 (MODIS) sin cargo.

Este trabajo se llevó a cabo con el apoyo del Instituto Interamericano para la Investigación en Cambio Global (IAI) CRN3106, que cuenta con el apoyo de la Fundación Nacional de Ciencias de EE. UU. (Grant GEO-1128040), y el apoyo de la Comisión Sectorial de Investigación Científica (CSIC) de la Universidad de la República (UDELAR, Uruguay)

## BIBLIOGRAFÍA

- Bettolli, M.L.; M. A. Altamitano, G. Cruz, F. Rudorff, A. Martínez, J. Arroyo y J. Armoa, 2010. Pastura natural de Salto (Uruguay): relación con la variabilidad climática y análisis de contextos futuros de cambio climático. *Revista Brasileira de Meteorología* 25(2):248-259.
- Bidegain, M.; C. Crisci, L. Del Puerto, H. Inda, N. Mazzeo, J. Taks, y R. Terra, 2012. Clima de cambios: nuevos desafíos de adaptación en Uruguay. *Variabilidad climática de importancia para el sector productivo*. Vol 1. FAO - MGAP. Montevideo. pp 43-98.
- Coll, C.; C. Vaselles, J. Galve, E. Valor, R. Niclos, J. Sanchez, y R. Rivas, 2005. Ground measurements for the validation of land surface temperatures derived from AATSR and MODIS data. *Remote sensing of Environment* 97(3):288-300.
- Dale, V. H., 1997. The relationship between land-use change and climate change. *Ecological applications* 7(3):753-769.
- Degu, A. M.; F. Hossain, D. Niyogi, R. Pielke, J.M. Shepherd, N. Voisin, y T. Chronis, 2011. The influence of large dams on surrounding climate and precipitation patterns. *Geophysical Research Letters* 38(4) L04405, 7.
- Gallo, K.; R. Hale, D. Tarpley, y Y. Yu, 2011. Evaluation of the Relationship between Air and Land Surface Temperature under Clear- and Cloudy-Sky Conditions. *Journal of applied meteorology and climatology* 50(3):767-775.
- Giménez, A.; J.P. Castaño, W. Baethgen y B. Lanfranco, 2009. Cambio climático en Uruguay, posibles impactos y medidas de adaptación en el sector agropecuario. Serie técnica INIA 178: 56.
- Hossain, F.; A.M. Degu, W. Yigzaw, S. Burian, D. Niyogi, J.M. Shepherd y R. Pielke, 2012. Climate Feedback-Based Provisions for Dam Design, Operations, and Water Management in the 21st Century. *Journal of Hydrologic Engineering* 17(8):837-850.
- INUMET, 2018. [www.inumet.gub.uy/clima/climatologia-estacional](http://www.inumet.gub.uy/clima/climatologia-estacional). Acceso 27/10/2018.
- Jin, M. y R.E. Dickinson 2002. New observational evidence for global warming from satellite. *Geophysical Research Letters* 29 (10) 1400, 10.
- Kalnay, E y M. Cai, 2003. Impact of urbanization and land-use change on climate. *Nature* 423(6939):528-531.
- Krepper, C. M.; García, N. O.; Jones, P. D. 2003. Interannual variability in the Uruguay river basin. *International Journal of Climatology* 23(1): 103-115.
- Li, Y.; M. S. Zhao, S. Motesharrei, Q. Z. Mu, E. Kalnay y S. C. Li, 2015. Local cooling and warming effects of forests based on satellite observations. *Nature communications* 6:6603-6611.
- Mannstein, H. 1987. Surface energy budget, surface temperature and thermal inertia. En Vaughan, R.A. (Ed.): *Remote sensing applications in meteorology and climatology*. Springer, Dordrecht. pp. 391-410.
- Mestre, O.; P. Domonkos; F. Picard; I. Auer; S. Robin; E. Lebarbier; R. Böhm; E. Aguilar; J.A. Guijarro; G. Vertacnik; M. Klancar; B. Dubuisson; P. Stepanek. 2013. HOMER : HOMogenisation software in R-methods and applications. *IDŐJÁRÁS - Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service*, 117(1): 47-67.
- Mildrexler, D. J., M. Zhao, and S. W. Running, 2011. A global comparison between station air temperatures and MODIS land surface temperatures reveals the cooling role of forests, *J. Geophys. Res.*, 116, G03025, doi:10.1029/2010JG001486.
- Nagy, G.; M. Bidegain, J. Verocai y B. de los Santos, 2016. Escenarios climáticos futuros sobre Uruguay. Informe de la consultoría técnica realizada en el marco del Proyecto PNUD URU/11/G31 "Fortalecimiento Institucional para la preparación de la Cuarta Comunicación Nacional de Uruguay a la CMNUCC" de la División de Cambio Climático del MVOTMA. Montevideo. pp. 4-16.
- WMO (2008). Guide to meteorological instruments and methods of observation (WMO-No. 8). World Meteorological Organisation: Geneva, Switzerland.
- Penalba, O. C., y Rivera, J. A. 2016. Precipitation response to El Niño/La Niña events in Southern South America – emphasis in regional drought occurrences. *Advances in Geosciences*, 42:1-14.
- Peng, S.; S. Piao, Z. Zeng, P. Ciais, L. M. Zhou, L. Z. X. Li, R. B. Myneni, Y. Yin, y H. Zeng, 2014.

- Afforestation in China cools local land surface temperature. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 111(8):2915-2919.
- Pielke, R. A.; G. Marland, R. A. Betts, T. N. Chase, J. L. Eastman, J. O. Niles, D. S. Niyogi y S.W. Running, 2002. The influence of land-use change and landscape dynamics on the climate system: relevance to climate-change policy beyond the radiative effect of greenhouse gases. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences* 360(1797):1705-1719.
- Schwarz, N.; U. Schlink, U. Franck y K. Großmann, 2012. Relationship of land surface and air temperatures and its implications for quantifying urban heat island indicators - An application for the city of Leipzig (Germany). *Ecological Indicators* 18:693-704.
- Sellers, P.J.; F.G. Hall, G. Asrar, D.E. Strelbel y R.E. Murphy, 1992. An overview of the first international satellite land surface climatology project (ISLSCP) field experiment (FIFE). *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 97(D17):18345-18371.
- SMN, 1977. Variación climática en el área de influencia del futuro lago de Salto Grande. Informe del Centro Climatológico del Servicio Meteorológico Nacional de Argentina. Material mimeógrafo.
- Tomlinson, C.J.; L. Chapman, J.E. Thornesb y C. Baker, 2011. Remote sensing land surface temperature for meteorology and climatology: A review. *Meteorological Applications* 18(3):296-306.
- Wan, Z., 2008. New refinements and validation of the MODIS Land-Surface Temperature/Emissivity products. *Remote sensing of Environment* 112(1):59-74.
- Wan, Z.; Y. Zhang, Q. Zhang y Z. Li, 2002. Validation of the land-surface temperature products retrieved from Terra Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer data. *Remote sensing of Environment* 83(1-2):163-180.
- Yang, J.; P. Gong, R. Fu, M. Zhang, J. Chen, S. Liang, B. Xu, J. Shi y R. Dickinson, 2013. The role of satellite remote sensing in climate change studies. *Nature climate change* 3(10):875-883.
- Zhou, L.; Y. Tian, B. S. Roy, C. Thorncroft, L.F. Bosart y Y. Hu, 2012. Impacts of wind farms on land surface temperature. *Nature Climate Change* 2(7):539-453.