



Servicio  
Meteorológico  
Nacional

# Aplicación del índice LISAM en el monitoreo del monzón sudamericano

Nota Técnica SMN 2019-53

**Alejandro A. Godoy<sup>1</sup>, Marisol Osman<sup>3, 4</sup>, Lorena E. Ferreira<sup>1</sup>,  
María de los Milagros Skansi<sup>2</sup> y Carolina S. Vera<sup>3, 4</sup>**

<sup>1</sup> *Departamento de Hidrometeorología, Gerencia de Investigación, Desarrollo y Capacitación*

<sup>2</sup> *Departamento de Climatología, Gerencia de Investigación, Desarrollo y Capacitación*

<sup>3</sup> *Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos (FCEyN, UBA)*

<sup>4</sup> *Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera (CONICET-UBA)*

Febrero 2019



Ministerio de Defensa  
Presidencia de la Nación

### *Información sobre Copyright*

*Este reporte ha sido producido por empleados del Servicio Meteorológico Nacional con el fin de documentar sus actividades de investigación y desarrollo. El presente trabajo ha tenido cierto nivel de revisión por otros miembros de la institución, pero ninguno de los resultados o juicios expresados aquí presuponen un aval implícito o explícito del Servicio Meteorológico Nacional.*

*La información aquí presentada puede ser reproducida a condición que la fuente sea adecuadamente citada.*

## Resumen

En este trabajo se muestra la implementación del índice LISAM (Large-Scale Index for the South American Monsoon) con el fin de incluir una nueva herramienta para el monitoreo del Monzón Sudamericano y su impacto en las regiones subtropicales. Este índice está basado en la componente principal obtenida a partir de un análisis de Funciones Ortogonales Empíricas (EOF) realizado en forma “combinada” a partir de las anomalías de precipitación, humedad específica, temperatura del aire, viento zonal y meridional en el nivel de 850 hPa, calculado en un dominio en el norte de Sudamérica.

La implementación del índice reprodujo en forma satisfactoria los resultados de otras investigaciones. Por otro lado, se analizó la sensibilidad del índice a diferentes dominios extendidos hacia regiones extratropicales, observándose pocos cambios en su estructura. Además, se encontró que al extender el dominio donde se calcula el índice, las fechas de inicio y fin del monzón se modifican. Por último, se utilizó el índice LISAM para monitorear el monzón durante el año 2017. Los resultados muestran la enorme utilidad de esta herramienta para detectar el rompimiento y la intensificación del sistema monzónico como así también el inicio y finalización del mismo.

## Abstract

We describe the implementation of the LISAM index (Large-scale index for South America Monsoon) to be added as a new tool for monitoring the South American Monsoon and its impact on subtropical regions. This index is based on the first “combined” component of the Empirical Orthogonal Functions (EOFs) that is performed from the anomalies of precipitation, specific humidity, air temperature, zonal wind and meridional wind at 850 hPa, calculated in a domain in northern South America.

The implementation of the index reproduced satisfactorily results from other investigations. It is also shown that the index displays little sensitivity to the choice of different domains when extended towards extratropical regions, although the start and end dates of the monsoon do change. In addition, we observed few changes in its structure. Finally, we use the LISAM index to monitor the monsoon during the year 2017. Results show the great benefit of having this tool to detect the breaking and intensification of the monsoon system as well as the start and end of it.

**Palabras clave:** LISAM, monzón, monitoreo

## Citar como:

Godoy A. A., M Osman, L. E. Ferreira, M. M. Skansi, y C. Vera, 2019: Aplicación del índice LISAM en el monitoreo del monzón sudamericano. Reporte Técnico SMN 2019-53.

## 1. INTRODUCCION

El régimen monzónico ocurre en las regiones tropicales de nuestro planeta. El término ‘monzón’ se refiere frecuentemente al cambio estacional de la circulación atmosférica de gran escala, inicialmente impulsado por el establecimiento de un gradiente diferencial de temperatura entre los océanos y los continentes y mantenido por el calor diabático que la nubosidad y precipitación producen. El ciclo estacional de la precipitación sobre Sudamérica tropical presenta características del régimen monzónico, con un claro humedecimiento y secamiento estacional entre 15°S a 25°S (Vera y otros, 2006). Cerca del 50% de la precipitación anual sobre Sudamérica tropical y sub-tropical ocurre durante el verano austral (Diciembre-Febrero) principalmente como precipitación convectiva con una gran variabilidad diurna.

Zhou y Lau (1998) mostraron la existencia de un régimen monzónico en la circulación regional, inducida por un fuerte calentamiento diabático sobre la meseta Boliviana. Aunque la circulación del este predomina en el Atlántico tropical y el norte de Sudamérica durante todo el año, cuando se remueve la media anual de las composiciones de la circulación del verano e invierno hay evidencia de una inversión en las anomalías de viento en niveles bajos. De este modo, estos autores demostraron que la estación de verano en Sudamérica contiene los principales ingredientes para ser caracterizado como un régimen monzónico. Más aún, estos autores encontraron que las oscilaciones subestacionales modulan la intensidad de la convección y la circulación durante el monzón de verano. Fase activa (rompimiento) del monzón ha sido observada con las anomalías de viento en niveles bajos del oeste (este) sobre el centro este tropical de Sudamérica. Cabe señalar que esta característica del rompimiento del monzón también está documentada en los regímenes monzónicos de Asia y Australia.

Con el fin de monitorear el Sistema Monzónico de América del Sur (SAMS por sus siglas en inglés) Silva y Carvalho 2007 (de ahora en más SC07) desarrollaron un índice conocido como “LISAM” (Large-scale Index for the South American Monsoon). Dicho índice está basado en la componente principal de un análisis de funciones ortogonales empíricas (EOF por sus siglas en inglés) “combinado” a partir de las anomalías de precipitación, humedad específica, temperatura del aire, viento zonal y meridional en el nivel de 850 hPa. SC07 mostraron que el índice es capaz de representar las características espaciales a gran escala del SAMS. Por otro lado, posee continuidad en el tiempo para la evaluación del inicio y fin del monzón de verano, y permite evaluar las características de la estación seca. Además, es eficiente en identificar la fase activa y las etapas de ruptura del monzón, así como las variaciones interanuales de SAMS.

En el presente trabajo se describe primero los resultados del índice LISAM para el dominio utilizado por SC07 para todas las variables involucradas en el cálculo del índice. Luego se testea la sensibilidad del índice para diferentes dominios con el fin de encontrar una mejor representación del ciclo del monzón para la Argentina y que el mismo presente una mayor varianza explicada. Finalmente se muestra los resultados de la aplicación del índice para el año 2017 con el objetivo de documentar la utilidad del índice en el monitoreo de la circulación de Sudamérica con un índice multivariado.

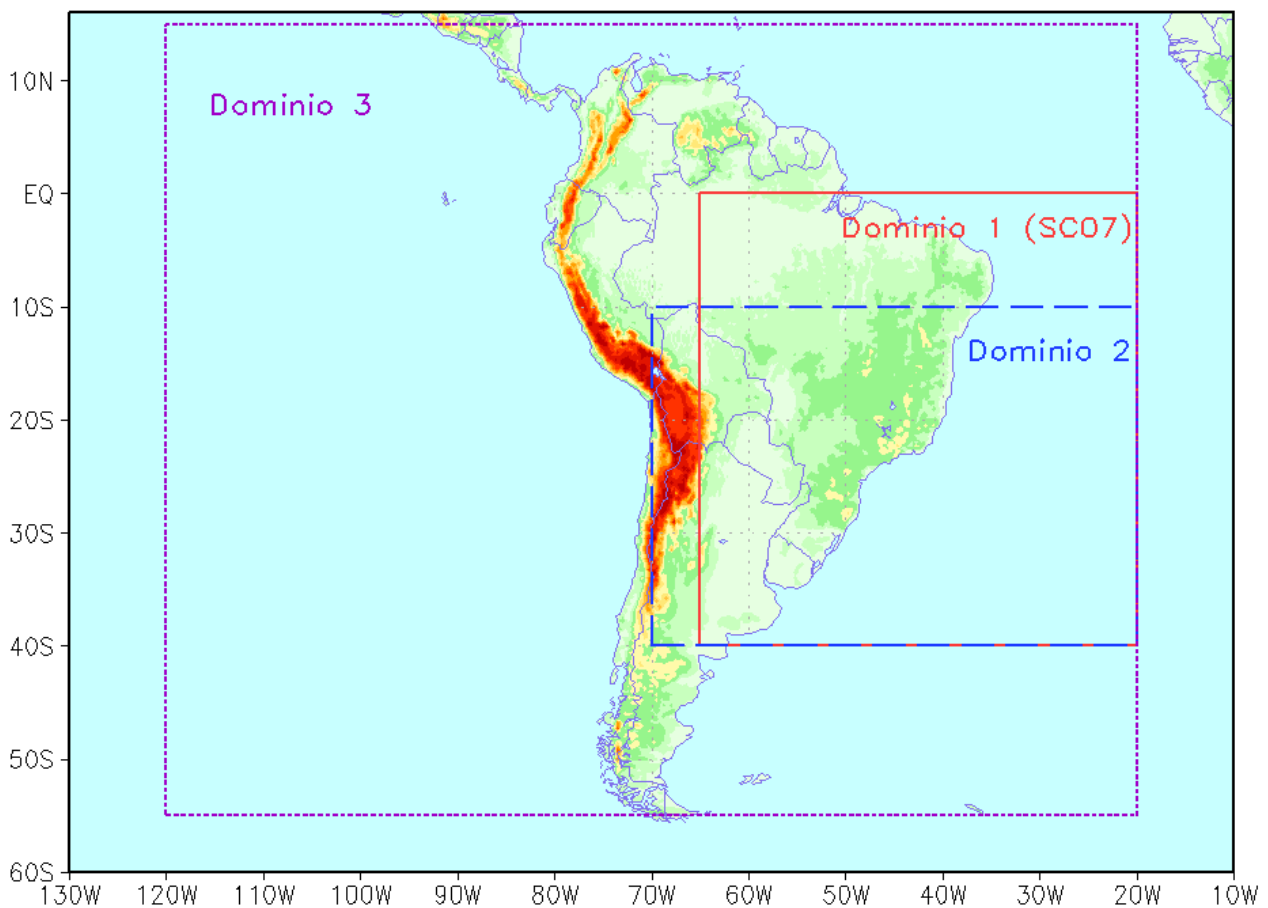
## 2. DATOS

Se utilizan las estimaciones pentádicas (P) de precipitación (promedio de cinco días) del Proyecto Global del Global Precipitation Climatology Project (GPCP) (Xie et al., 2003). El monitoreo del año 2017 se realiza utilizando la base de datos en tiempo real, mientras que el resto de los años se utiliza la base de datos regular (Ej. gpcp\_pen\_v2.2.sgi.yyyy), según las recomendaciones de SC07 de la base de datos. Además,

se utilizaron las variables humedad específica de niveles bajos ( $q$ ), temperatura del aire ( $T$ ), viento zonal ( $u$ ) y meridional ( $v$ ) del NCEP / NCAR reanálisis V1 (Kalnay et al., 1996) durante enero 1979 hasta diciembre 2017, que poseen una resolución de  $2,5^\circ$  de latitud y longitud.

### 3. METODOLOGÍA

El dominio espacial (Figura 1) utilizado para el cálculo del índice LISAM es el que definió SC07 que se extiende de  $0^\circ\text{S}$  a  $40^\circ\text{S}$  y  $65^\circ\text{O}$  a  $20^\circ\text{O}$ . A este dominio lo llamamos dominio 1. Para caracterizar el régimen del monzón se realizó el análisis combinado de EOF (EOFC) usando anomalías (definidas removiendo la media anual climatológica) de las variables descriptas anteriormente. Con este enfoque, los patrones del EOFC y el coeficiente temporal respectivo (teofc) representan la covariabilidad estacional de las variables más importantes relacionadas con la dinámica del monzón (Zhou y Lau, 1998; Gan et al., 2006).



**Fig. 1:** Dominio utilizado para el cálculo del índice LISAM (cuadrante rojo, dominio 1) según SC07, el dominio 2 (cuadrante azul) y el dominio 3 (cuadrante violeta)

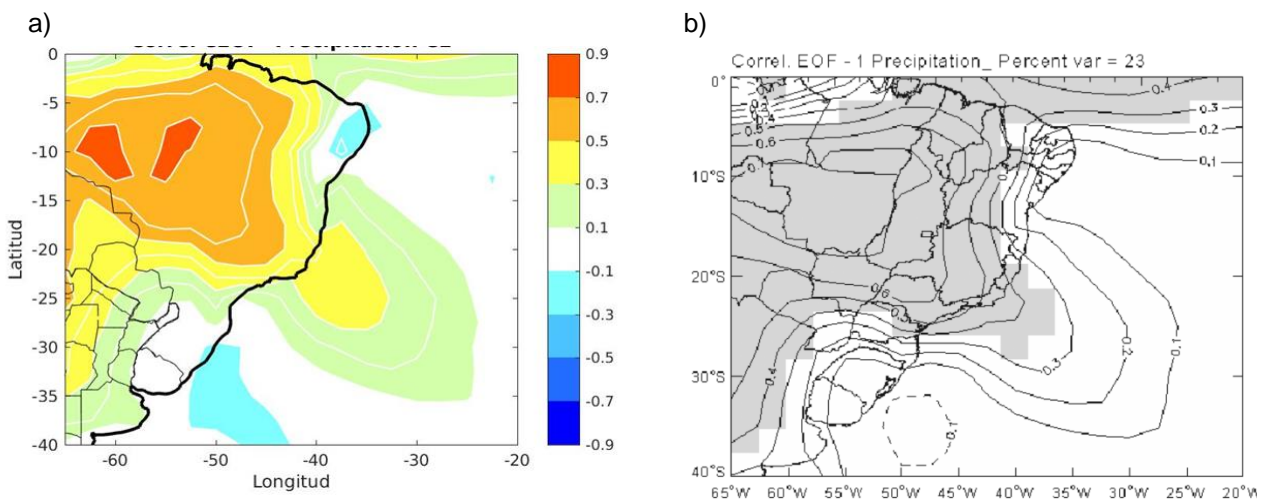
Para testear la sensibilidad del índice LISAM al dominio elegido se presentan los resultados para un dominio más extendido hacia el oeste y reduciendo el borde norte hacia el sur con el fin de incluir las características

del monzón en el norte Argentino (10°S a 40°S y 70°O a 20°O) y lo llamamos dominio 2. Por otro lado, si se extiende el dominio hacia el oeste, hacia el norte y también hacia el sur (15°N a 55°S y 120°O a 20°O, de manera de incluir latitudes medias y parte del Pacífico (toda Sudamérica), lo llamamos dominio 3.

Se definen el inicio y fin del SAMS considerando un promedio móvil de 15 días con el fin de filtrar la variabilidad sub-estacional de manera tal que el monzón ya se encuentre establecido. El inicio del SAMS se lo considera cuando el índice LISAM cambia a signo positivo y finaliza cuando cambia a negativo.

#### 4.1 Descripción del índice LISAM para el período de estudio (1979-2017)

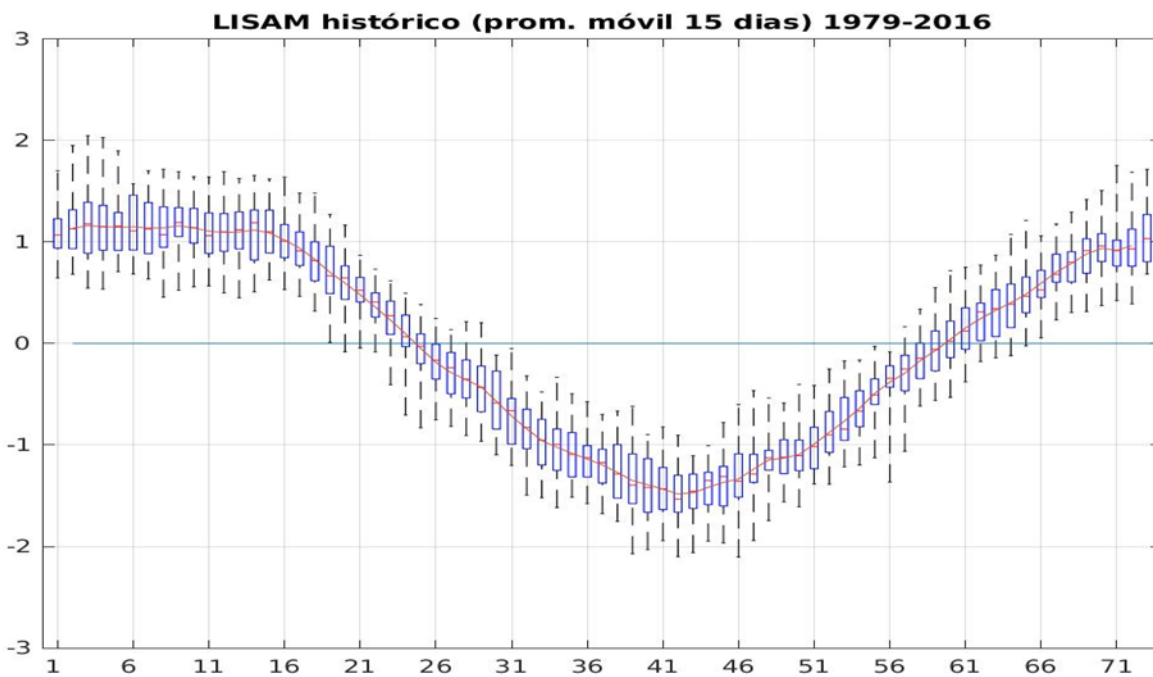
Con el fin de verificar que el índice calculado representa adecuadamente el SAMS se realiza primero un análisis de los patrones espaciales del EOF1 y los coeficientes temporales. La primera componente del EOF1 explica el 22% de la varianza mientras que la segunda explica el 9,5%. Carvalho y otros (2011) para el período 1979-2007 habían encontrado que la varianza explicada fue del 24% y 10% respectivamente. Respecto a la correlación entre la primera componente del CEOF y las variables utilizadas para el cálculo del índice, los resultados indican que los patrones de precipitación, humedad específica, viento zonal, viento meridional y temperatura presentan estructuras similares a lo encontrado por SC07 y Carvalho et al (2011). Si comparamos el patrón de precipitación (Figura 2.a) se observa que es el patrón espacial típico para el SAMS con máximos de correlación en la cuenca del Amazonas, extendiéndose hacia el sudeste siguiendo la posición de la Zona de Convergencia del Atlántico Sur (ZCAS). El patrón espacial de correlación es similar al que se muestra en el trabajo de SC07 (Fig. 2.b) y Carvalho y otros (2011) con correlaciones similares en magnitud y distribución espacial. Respecto a la correlación (no se muestra) entre la segunda componente del CEOF y las variables utilizadas (denominada SACZ por SC07), podemos destacar que se encuentran resultados equivalentes a lo encontrado anteriormente, indicando que se ha podido repetir en forma satisfactoria el cálculo del índice LISAM.



**Fig. 2:** a) Correlación entre el primer EOF1 y la precipitación del GPCP para el dominio 1. b) Ídem 1.a calculado por Silva y Carvalho 2007.

Las características climatológicas del índice LISAM se muestran en la Fig. 3 a través de un diagrama de box-plot. El análisis se realiza sin considerar el año 2017 ya que después se va a utilizar este año para verificar la capacidad del índice LISAM para el monitoreo. Los resultados muestran que, al igual que lo

encontrado por SC07, en promedio el SAMS se inicia en la pentada 61 (28 de octubre al 01 de noviembre) y finaliza en la pentada 24 (26 al 30 de abril). El inicio y fin del SAMS presenta una variabilidad importante en el período de análisis. Los valores extremos se analizan a través del percentil 25 y 75 de la distribución del índice. Los resultados muestran que el percentil 25 se ubica en la pentada 58 (13 al 17 de octubre) y el percentil 75 en la pentada 66 (22 al 26 de noviembre) para el inicio del SAMS y en la pentada 23 (21 al 25 de abril) y 26 (06 al 10 de mayo) para su finalización, respectivamente. Cuando se analiza la evolución temporal del LISAM en los 38 años de datos se observa que se estabiliza en valores mayores a 1 en la pentada 71 (17 al 21 de diciembre) y comienza a disminuir en magnitud a partir de la pentada 15 (16 al 12 de marzo). Luego presenta una disminución sostenida incluso cuando termina el SAMS hasta la pentada 42 (25 al 29 de julio) cuando alcanza su valor mínimo medio.



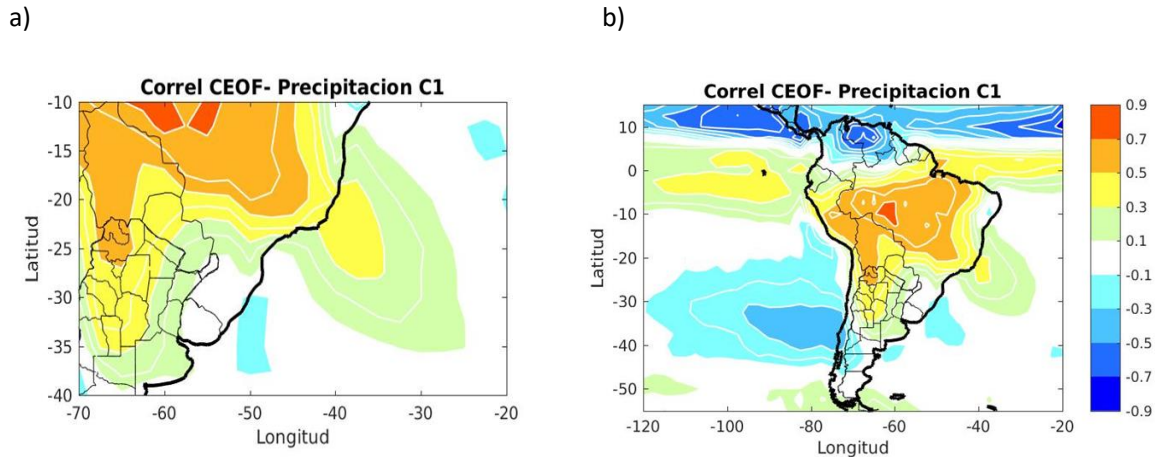
**Fig. 3:** Box plot del índice LISAM para el período 1979-2016 para el dominio 1 (las líneas punteadas marcan los extremos para cada pentada). En rojo la media del índice LISAM para cada pentada.

Los resultados del dominio 1 se comparan con el mismo análisis realizado en el dominio 2 y en el dominio 3. Los resultados en el dominio 1 muestran que la varianza explicada del primer EOFc aumenta al 23,3% y para el segundo EOFc a 10,7%. Por otro lado, en el dominio 3 la varianza explicada disminuye a 16,8% para el primer EOFc y 6% para el segundo EOFc.

Si comparamos los resultados para el dominio 1 y el dominio 2 respecto a la correlación entre la primer componente del EOFc y las variables utilizadas para el cálculo del índice, no se observa que el patrón cambie significativamente y tampoco las magnitudes de las correlaciones (Ej: precipitación en la Figura 4a). Mientras que si se compara el dominio 1 y el dominio 3 las magnitudes de las correlaciones disminuyen significativamente (Figura 2a y Figura 4b). Cabe destacar que cuando se hizo el mismo análisis para la segunda componente del EOFc (no se muestra) se encuentran resultados equivalentes entre el dominio 1 y



2 pero entre el dominio 1 y 3 los cambios son importantes, y en el dominio 3 no se observa la presencia de la ZCAS. Por otro lado, si se analizan las componentes 3 y 4 del EOF del dominio 3 (explican menos del 5% de la varianza) se observa un patrón del tipo ZCAS aunque con menor correlación (no se muestra).



**Fig. 4:** Correlación entre el primer EOF y la precipitación del GPCP para el dominio 2 (izq) y dominio 3 (der).

Con el fin de detectar cambios en el inicio y finalización del monzón se comparan los tres dominios y se analizaron las diferencias. En el dominio 1, el inicio del monzón (tabla 1) ocurre en la pentada 61, mientras que en el dominio 2 se adelanta (pentada 60), y en el dominio 3 la retrasa (pentada 64). Respecto a los percentiles no se observan grandes cambios entre el dominio 1 y el dominio 2, sin embargo se observa que para el dominio 3 la mayoría de los eventos se retrasan (entre la pentada 62 y 65). Los eventos extremos durante el inicio del monzón muestran una gran variabilidad cuando se modifica el dominio, siendo el dominio 3 donde se observan los mayores cambios.

Respecto a la finalización del SAMS, que en promedio ocurre en la pentada 24, en el dominio 1 (tabla 2) presenta mayor similitud con el dominio 3 que en promedio está retrasado una pentada, mientras que en el dominio 2 se adelanta dos pentadas. Los percentiles 25 y 75 presentan similitudes a lo encontrado al inicio del SAMS, ya que los eventos se adelantan para el dominio 1 y lo retrasan para el dominio 2. Los valores extremos de finalización del monzón son similares entre los dominios 1 y 2, y difieren respecto al dominio 3 que presenta el final del SAMS más adelantado en la pentada 23 y más atrasado en la pentada 27.

**Tabla 1:** Péntada en la que se inicia el SAMS según el índice LISAM para el dominio 1, dominio 2 y dominio 3.

Inicio del SAMS	Dominio 1	Dominio 2	Dominio 3
Media	61	60	64
P25 - P75	58 - 62	58 - 61	62 - 65
Valores extremos	55 - 66	57 - 64	61 - 66

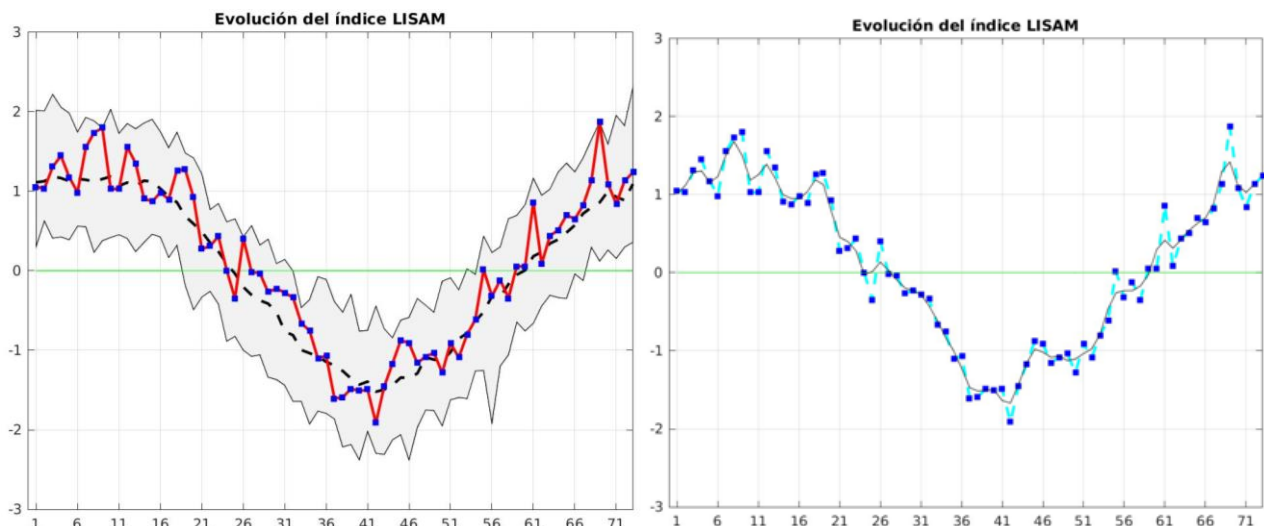


**Tabla II:** Pentada en la que finaliza el SAMS según el índice LISAM para el dominio 1, dominio 2 y dominio 3.

Fin del SAMS	Dominio 1	Dominio 2	Dominio 3
Media	24	22	25
P25 - P75	23 - 26	21 - 23	24 - 26
Valores extremos	19 - 29	18 - 27	23 - 27

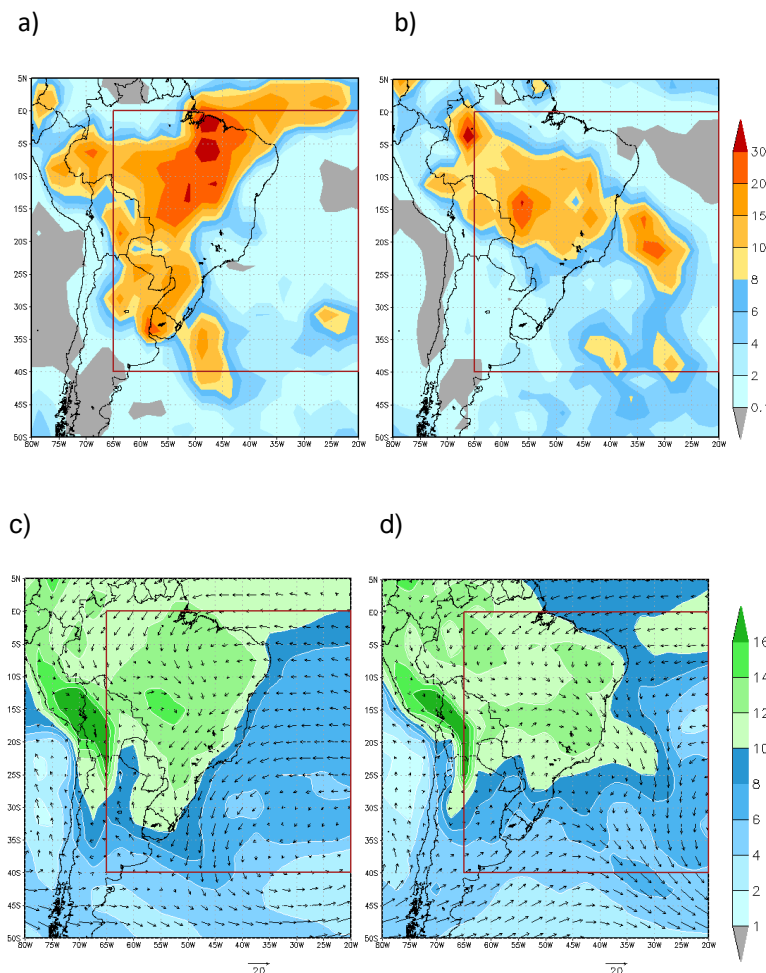
## 4.2 Monitoreo del índice LISAM

Para analizar la utilidad del índice LISAM como herramienta de monitoreo, se muestra a modo de ejemplo su evolución para el año 2017 (figura 5.a) y se muestra la curva de la serie filtrando la variabilidad menor a 15 días que se calcula con un promedio móvil de 3 pentadas (figura 5.b). Según SC07, el índice LISAM muestra que en promedio el monzón se inicia en la pentada 61 y finaliza en la pentada 24, además la duración promedio es de 37 pentadas. En el dominio 1 se observa que en el año 2017 el monzón había finalizado en la pentada 26, sin embargo los datos sin filtrar muestran que hubo un pequeño rompimiento del SAMS en los días previos (pentada 24). El SAMS se restablece alcanzando nuevamente valores positivos en la pentada 59 (18-22 de octubre 2017), sin embargo el primer valor positivo se observa en la pentada 55 pero recién a partir de la pentada 59 el índice mantiene de manera sostenida valores positivos. Esto nos indica la importancia de monitorear la variabilidad intraestacional del índice antes de definir la fecha de inicio del monzón.



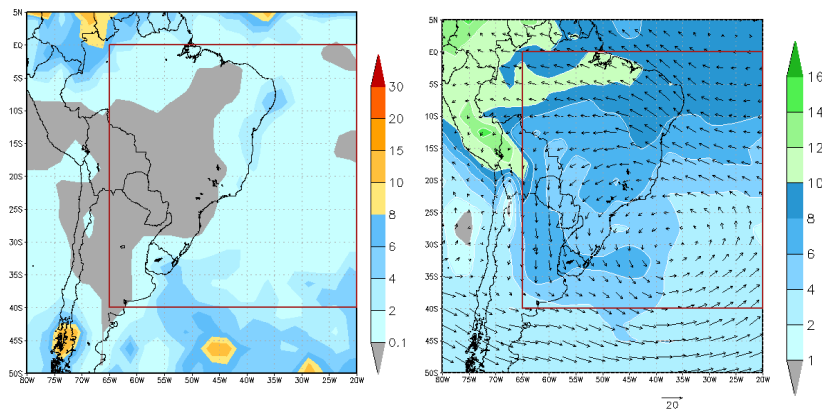
**Fig. 5:** Evolución del índice LISAM durante el año 2017 (puntos azules, serie de coeficiente temporales) para el dominio 1. Izquierda: Se incluye el valor medio (negro, línea punteada) y los extremos para cada pentada (negro, líneas llenas). Derecha: Se incluye el promedio móvil a 15 días.

Si observamos la evolución del índice respecto a sus valores medios absolutos nos indica que el monzón estuvo muy activo durante el mes de febrero, por encima de la media, alcanzando un máximo en la pentada 15. La precipitación media en ese período nos muestra un patrón de lluvias típico del monzón sobre la cuenca del Amazonas (Figura 6a). En su etapa de finalización se observa que en los meses de abril y mayo el índice decae lentamente y luego lo hace de forma abrupta a partir de la pentada 32 alcanzando su mínimo en la pentada 42. El patrón de precipitación que se observa para esa fecha (figura 7) muestra convección totalmente inhibida en la cuenca del Amazonas, sudeste de Brasil y norte de Argentina que es un patrón típico de invierno. Luego el índice LISAM aumenta en magnitud hasta alcanzar valores positivos mostrando algunas fases más activas asociadas a variabilidad intraestacional como se mencionó anteriormente en la pentada 55. Por otro lado, si analizamos la evolución de la precipitación pentádica desde el inicio del monzón del año 2017, el patrón presenta diferencias en el campo medio. Al inicio, la región con mayor precipitación, se concentró en el sur de Brasil y norte de Argentina hasta la pentada 63 (no se muestra). Luego la región con mayores lluvias se consolida en la cuenca del Amazonas y la ZCAS oceánica.



**Fig. 6:** Ejemplos de la fase activa del SAMS. a) Precipitación total para la pentada (mm/día) del 10 al 14 de febrero 2017 (pentada 9) y b) para la pentada del 07 al 11 de diciembre 2017 (pentada 69, derecha). El cuadrante rojo es el dominio original (dominio 1). c) y d) Idem 5.a a 5.b para el viento ( $m s^{-1}$ ) y humedad específica en 850hPa ( $g kg^{-1}$ ).

El máximo del 2017 se registra en la pentada 69 (Figura 6b), alcanzando un valor record histórico, con un patrón de precipitación extendido por la cuenca del Amazonas pero debilitado en el sur de Brasil y norte de Argentina. Se detecta para esta fecha el desarrollo más claro de la ZCAS sobre el océano. Los resultados indican que es necesario observar la serie filtrada para establecer con mayor seguridad el inicio y finalización del monzón, sin embargo para detectar rompimientos del SAMS se sugiere observar también la serie sin filtrar.



**Fig. 7:** Ejemplo de la fase inactiva del SAMS. Idem Fig. 5 para la pentada del 25 al 29 de julio 2017 (pentada 42).

## 4. CONCLUSIONES

Se computó el índice LISAM utilizando la técnica definida por SC07 con el fin de incluir una nueva herramienta para el monitoreo del Monzón Sudamericano. El cálculo del índice LISAM fue realizado de manera satisfactoria utilizando la técnica definida por SC07. Se compararon los patrones espaciales a través de correlaciones del índice con las diferentes variables utilizadas (temperatura, humedad, viento y precipitación) mostrando coherencia con lo encontrado por SC07. Se modificó el dominio original por un dominio más extendido hacia la Argentina encontrando una mayor varianza explicada sin cambios significativos respecto al inicio y finalización del SAMS. También se modificó el dominio extendido a toda Sudamérica y parte del Pacífico resultando en una disminución de la varianza explicada y un retraso en el inicio esperado del SAMS y su finalización. Se monitoreó el índice respecto a lo ocurrido durante el año 2017 encontrando los siguientes resultados: finalización del monzón en la pentada 26 pero presenta un rompimiento en la pentada 24. Inicio del SAMS durante el mes de octubre en la pentada 59, un poco antes de lo esperado según la climatología, presentando los primeros valores positivos del índice en la pentada 55. Luego se mantiene positivo durante el resto del año desde la pentada 59. Por otro lado, el índice fue capaz de detectar la variabilidad intraestacional que se puede ver en el ejemplo del valor máximo obtenido en la pentada 69 cuando se establece la ZCAS y durante el inicio o finalización del monzón. Esto permite utilizar al LISAM como un herramienta útil para el monitoreo del estado del SAMS.

## 5. Agradecimientos

El trabajo fue realizado en el contexto de los proyectos CLIMAR/PIDDEF 2014/2017 Nro 15 y el Proyecto CLIMAX Belmont Forum/ANR-15-JCL/0002-01.

## 6. REFERENCIAS

Carvalho, L.M.V., Silva, A.E., Jones, C. et al. 2011: Moisture transport and intraseasonal variability in the South America monsoon system. *Clim Dyn* 36:1865-1880.

Gan MA, Rao VB, Moscati MCL.2006: South American monsoon indices. *Atmos Sci Lett* 6:219–223.

Kalnay E y otros 1996: The NCEP-NCAR 40 year reanalysis project. *Bull Am Meteorol Soc* 77:437–471

Silva AE, Carvalho LMV. 2007: Large-scale index for South America monsoon (LISAM). *Atmos Sci Lett* 8:51–57.

Vera, C., W. Higgins, J. Amador, T. Ambrizzi, R. Garreaud, D. Gochis, D. Gutzler, D. Lettenmaier, J. Marengo, C.R. Mechoso, J. Nogue-Paegle, P.L. Dias, and C. Zhang. 2006: Toward a Unified View of the American Monsoon Systems. *J. Climate*, 19, 4977–5000.

Xie, P., et al. 2003: GPCP pentad precipitation analyses: An experimental dataset based on gauge observations and satellite estimates. *J.Climate*, 16, 2197 - 2214.

Zhou JY, Lau KM. 1998: Does a monsoon climate exist over South America? *J Clim* 11:1020–1040.

## Instrucciones para publicar Notas Técnicas

En el SMN existieron y existen una importante cantidad de publicaciones periódicas dedicadas a informar a usuarios distintos aspectos de las actividades del servicio, en general asociados con observaciones o pronósticos meteorológicos.

Existe no obstante abundante material escrito de carácter técnico que no tiene un vehículo de comunicación adecuado ya que no se acomoda a las publicaciones arriba mencionadas ni es apropiado para revistas científicas. Este material, sin embargo, es fundamental para plasmar las actividades y desarrollos de la institución y que esta dé cuenta de su producción técnica. Es importante que las actividades de la institución puedan ser comprendidas con solo acercarse a sus diferentes publicaciones y la longitud de los documentos no debe ser un limitante.

Los interesados en transformar sus trabajos en Notas Técnicas pueden comunicarse con Ramón de Elía ([rdelia@smn.gov.ar](mailto:rdelia@smn.gov.ar)), Luciano Vidal ([lvidal@smn.gov.ar](mailto:lvidal@smn.gov.ar)) o Martin Rugna ([mrugna@smn.gov.ar](mailto:mrugna@smn.gov.ar)) de la Gerencia de Investigación, Desarrollo y Capacitación, para obtener la plantilla WORD que sirve de modelo para la escritura de la Nota Técnica. Una vez armado el documento deben enviarlo en formato PDF a los correos antes mencionados. Antes del envío final los autores deben informarse del número de serie que le corresponde a su trabajo e incluirlo en la portada.

La versión digital de la Nota Técnica quedará publicada en el Repositorio Digital del Servicio Meteorológico Nacional. Cualquier consulta o duda al respecto, comunicarse con Melisa Acevedo ([macevedo@smn.gov.ar](mailto:macevedo@smn.gov.ar)).