

# Validación de estimaciones de precipitación por satélite sobre Sudamérica utilizando una red de observaciones de alta resolución espacial

*María Paula Hobouchian*<sup>1,4</sup>, *Paola Salio*<sup>1,2,3</sup>, *Daniel Vila*<sup>7,8</sup> y *Yanina García Skabar*<sup>3,4,5,6</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos (FCEyN-UBA), Buenos Aires, Argentina

<sup>2</sup> Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera (CONICET-UBA), Buenos Aires, Argentina

<sup>3</sup> UMI-Instituto Franco Argentino sobre Estudios del Clima y sus Impactos, Buenos Aires, Argentina

<sup>4</sup> Departamento de Investigación y Desarrollo (SMN), Buenos Aires, Argentina

<sup>5</sup> CONICET, Buenos Aires, Argentina

<sup>6</sup> Facultad de Agronomía (UBA), Buenos Aires, Argentina

<sup>7</sup> División de Satélites y Sistemas Ambientales (CPTEC), Cachoeira Paulista, Brasil

<sup>8</sup> Cooperative Institute for Climate and Satelites (CICS-MD/ESSIC) – University of Maryland

E-mail: paula\_hian@hotmail.com

**RESUMEN:** En este trabajo se evalúa la calidad de cinco estimaciones de precipitación derivadas de observaciones provenientes de satélite: 3B42 versión 6 y RT, CPC, HYDRO y CoSch, sobre Sudamérica. La motivación se centra en informar las características de los errores de estos productos, a los usuarios en distintas áreas con interés en la distribución espacial y temporal de la precipitación. El período de evaluación, abarca octubre de 2008 a diciembre de 2010, y se utilizan datos de precipitación acumulada en 24 hs de múltiples redes interpolados a una resolución espacial equivalente a la de las estimaciones. Para ello, se analizaron numerosos índices estadísticos de verificación, y los resultados indican un mejor rendimiento de CoSch, que obtiene los valores más confiables en la región del litoral Argentino, Uruguay, Paraguay, sudeste y este de Brasil. Asimismo, esta región resulta ser la más favorable en términos estadísticos para el resto de las estimaciones a lo largo del año. A su vez, las estimaciones empeoran al aumentar el umbral de precipitación seleccionado para el análisis, indicando una dificultad asociada a las estimaciones de precipitación por satélite para la estimación de eventos extremos. En la región al sur de 20°S, las estimaciones sobrestiman los umbrales de precipitación, con excepción de HYDRO que subestima la precipitación observada en superficie en la mayoría de los umbrales. Finalmente, se observa una dependencia de los errores respecto de la época del año, aunque en general, las estimaciones sobrestiman la precipitación durante verano e invierno en el centro de Argentina.

## INTRODUCCIÓN

La precipitación es la fuente principal de agua en el área del Sudeste de Sudamérica (SESA), y su correcta medición, aporta información muy importante para la toma de decisión de múltiples usuarios. A su vez, es altamente variable espacial y temporalmente, presentando tasas que pueden alcanzar los 50 mm en pocas horas y en menos de 10 km de distancia horizontal. El conocimiento de la estructura de la misma, requiere de redes con una muy alta resolución espacial, lo cual se vuelve de muy difícil implementación en áreas tan extensas como la Argentina, donde también la red de radares meteorológicos existente no es lo suficientemente densa, y la calidad de la información está en proceso de ser calibrada. Dado que las observaciones de precipitación en superficie son insuficientes, no se distribuyen en forma homogénea, y en muchos sectores tampoco se mide con una resolución temporal adecuada; la utilización de información proveniente de satélites meteorológicos en el estudio de la precipitación, es una herramienta vital para su conocimiento acorde a estas limitaciones.

La disponibilidad de grandes volúmenes de información digitalizada y el creciente poder computacional, permiten realizar estudios comprensivos de diversos fenómenos meteorológicos, comparando, analizando y combinando los productos disponibles en diferentes bases de datos y en tiempo real. Los satélites de órbita polar han incorporado la presencia de sensores de microondas que han mejorado la calidad de las distintas estimaciones de precipitación respecto de la información que utilizan los satélites geoestacionarios, y los productos de precipitación que derivan de una combinación de observaciones infrarrojas (mayor frecuencia) y observaciones de microondas (alta calidad), resultan ser los de mejor rendimiento (Ebert et al., 2007). Además, surgieron técnicas para combinar observaciones satelitales y de superficie, que buscan mejorar la información considerando los problemas que aun muestran las estimaciones en umbrales de precipitación bajos o en áreas donde la nieve se vuelve un factor de peso importante (Huffman et al., 2007; Vila et al., 2009).

El conocimiento de la distribución espacial y temporal de la precipitación es de gran interés para diferentes áreas de aplicación como la agricultura, la hidrología, el pronóstico numérico y estudios climáticos, entre otras, que requieren una medida confiable de esta variable (Ebert et al., 2007). De este modo, el objetivo de este trabajo es evaluar el desempeño de las estimaciones de precipitación por satélite disponibles sobre Sudamérica, y caracterizar los errores de acuerdo a los diferentes regímenes de precipitación y épocas del año, enfocando el análisis de los resultados en la región que se extiende al sur de 20° S.

## DATOS Y METODOLOGÍA

### *Estimaciones de precipitación*

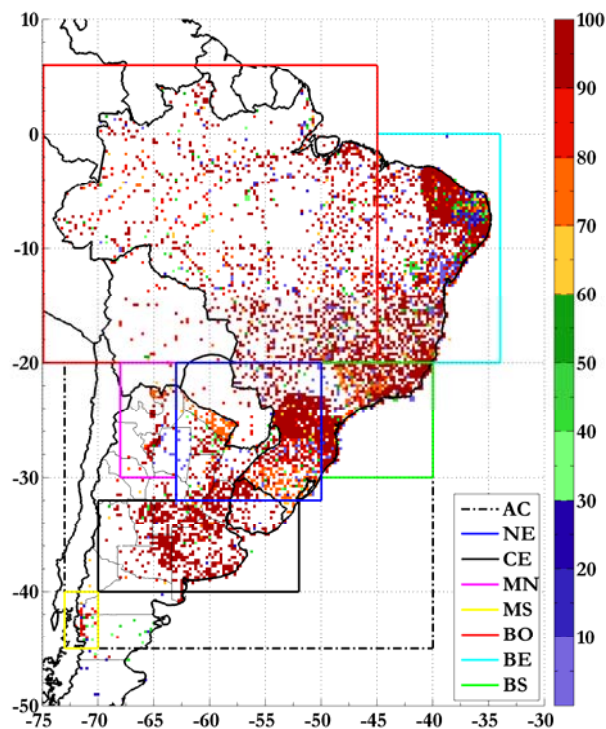
Este trabajo utiliza tres productos de estimación de precipitación por satélite disponibles, que utilizan campos de microondas: CPC MORPHing technique (CPC; Joyce et al., 2004), Tropical Rainfall Monitoring Mission Multi-satellite Precipitation Analysis (conocido como 3B42; Huffman et al., 2007) en su versión operativa

RT y versión 6 (research version) también llamado TMPA. Estos datos, poseen una resolución espacial de 0.25° de latitud-longitud y una resolución temporal de 3 horas. Los datos fueron acumulados a las 12 UTC de cada día entre el 2 de Octubre de 2008 hasta el 31 de diciembre de 2010. Se consideró este intervalo temporal, ya que es el momento en que se inicia la disponibilidad de datos de 3B42 RT. Los algoritmos mencionados, conocidos como ‘blended techniques’, presentan diferencias metodológicas entre sí: mientras el CPC utiliza observaciones infrarrojas de los satélites geoestacionarios, para estimar el desplazamiento de los sistemas nubosos, y observaciones en el espectro de las microondas disponibles en los satélites polares, para estimar en forma más exacta la precipitación asociada; el 3B42 RT realiza una comparación entre los campos de IR y los campos de microondas modificando el campo de precipitación acumulado. El algoritmo 3B42 V6, considera datos mensuales de precipitación observados a fin de obtener curvas de calibración, y a través de la técnica de “histrogram matching” recalcula los datos acumulados cada 3 horas de las estaciones en superficie obteniendo tasas de precipitación instantánea. Este trabajo también utiliza datos acumulados cada 24 horas correspondientes al Combined Scheme (CoSch; Vila et al., 2009), el cual ajusta los datos de 3B42 RT con observaciones de superficie disponibles a través de Global Telecommunication System y otras redes regionales acumuladas en 24 horas utilizando una técnica para remover el sesgo entre los datos observados y los estimados, en forma óptima. Además, para tener una comparación con una de las estimaciones más utilizadas en la región, se incorporaron los datos de Hydroestimator (HYDRO; Scofield and Kuligowski, 2003), que es un método que solo considera el canal 4 de temperatura de brillo de los satélites de órbita geoestacionaria, y factores de corrección usando información del entorno de modelos numéricos. La versión usada en el presente trabajo es la disponible en Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – Brasil, con datos cada 15 min y una resolución espacial de 4 km; cuyos datos fueron interpolados a la grilla del 3B42.

### *Datos de la red de estaciones*

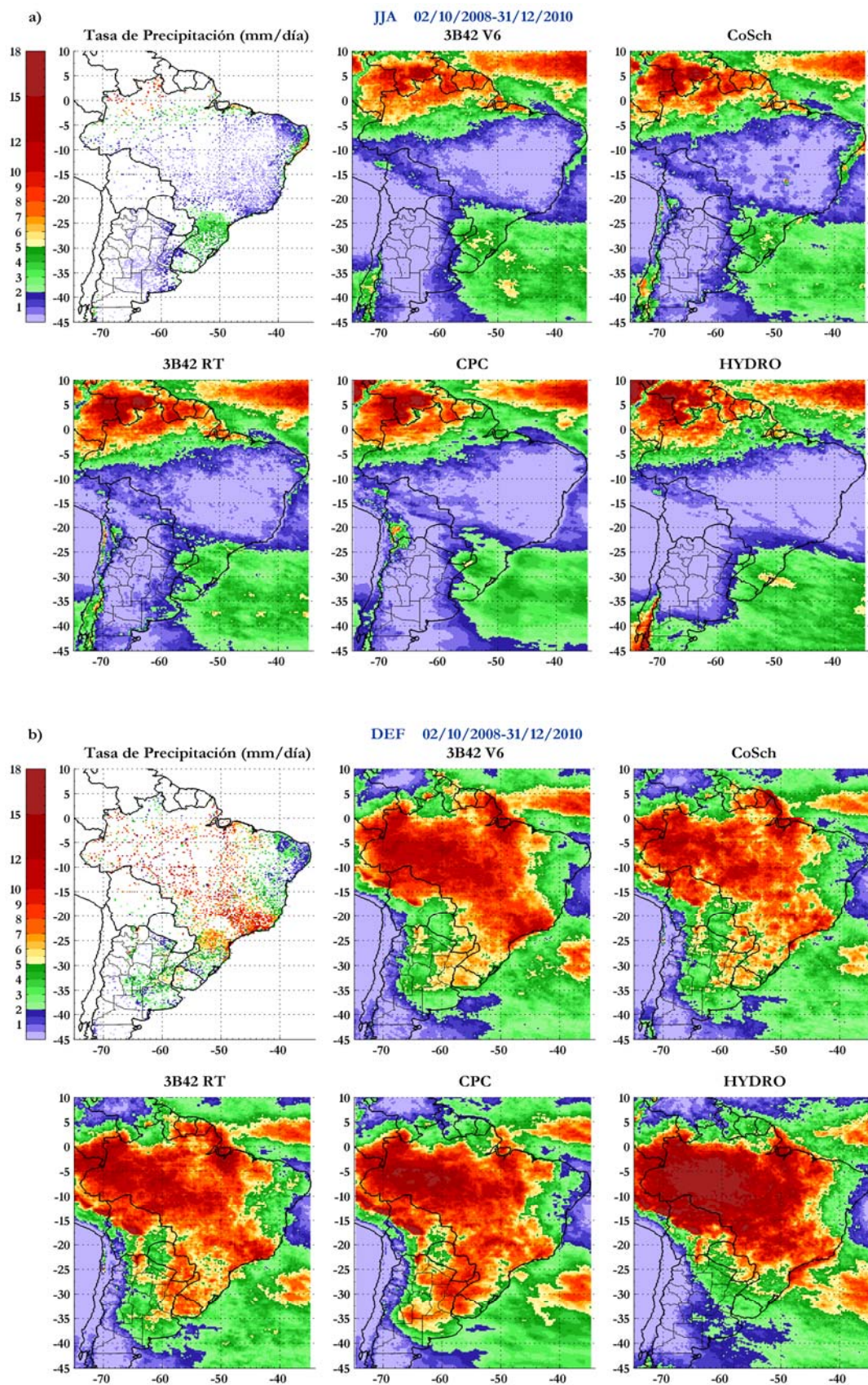
Para la realización de este trabajo, se cuenta con una extensa red de estaciones pluviométricas localizadas en Argentina, Brasil, Paraguay, Uruguay y Bolivia. La Figura 1, indica la red de observaciones de precipitación, con un total de 4635 estaciones disponibles y distribuidas en forma no homogénea en los diferentes países mencionados, junto con el porcentaje de días sin dato faltante que hay en cada punto de grilla para el periodo de análisis. Los organismos que suministraron información son: Servicio Meteorológico Nacional – Argentina; Administración Provincial del Agua – Chaco – Argentina; Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación – Argentina; Universidad de La Punta - San Luis – Argentina; Autoridad Interjurisdiccional del Agua – Neuquén – Argentina; Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria – Argentina; Bolsa de Cereales – Argentina; Dirección Nacional de Meteorología – Uruguay; Dirección de Meteorología e Hidrología - Dirección Nacional de Aeronáutica Civil – Paraguay; Comisión Técnica Mixta Salto Grande; Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – Brasil; National Oceanic and Atmospheric Administration – Estados Unidos. Los datos han sido interpolados a una grilla de 25 km de resolución, idéntica a la grilla de la estimación 3B42 en latitud-longitud, promediando los datos disponibles en cada área de 25 km de lado y asignando el valor medio al centro de la grilla. Los campos interpolados, se obtuvieron

para cada día entre el 2 de octubre de 2008 y el 31 de diciembre de 2010 (821 días) acumulados a las 12 UTC. El período de estudio seleccionado, corresponde con periodos simultáneos disponibles entre las estimaciones y los datos de superficie. Es importante destacar, que la red de observaciones utilizada en este trabajo está compuesta por numerosas redes no disponibles en tiempo real por ninguno de los centros que realizan ajustes en las estimaciones de precipitación, lo que vuelve a la base de datos un importante objeto de evaluación.



**Figura 1.-** Distribución espacial de la red de observaciones de precipitación disponible, porcentaje de días sin dato faltante en cada estación (821 días, 2 de octubre de 2008-31 de diciembre de 2010), y cajas seleccionadas para una verificación por regiones climáticas sobre Sudamérica.

En la etapa de desarrollo de la base de datos de precipitación acumulada en 24 horas, se controló la calidad de las observaciones y se detectaron errores en las fechas de registro de los datos que fueron eliminados, como valores atípicos extremos que fueron cuidadosamente examinados con información de las estaciones más cercanas y las condiciones del entorno durante esos días. De todos modos, para facilitar el tiempo que demandaba este proceso, se fijaron umbrales de precipitación asociados a la ubicación y época del año de cada estación en particular. Por otro lado, para trabajar con los datos más representativos y que contribuyan a una verificación más confiable y consistente, se decidió utilizar los puntos de grilla que tuvieran un 70 % de días sin dato faltante, lo cual limitó la disponibilidad de datos en aquellas zonas con un bajo porcentaje de días con observaciones, como indica la Figura 1, y se omitieron los días en los cuales la grilla estimada y observada no tuvieron algún registro de precipitación.



**Figura 2.-** Tasa de precipitación ( $\text{mm día}^{-1}$ ) correspondiente a los trimestres JJA (a) y DEF (b) considerando el periodo completo de estudio (2 de octubre de 2008-31 de diciembre de 2010), para las estaciones de la red pluviométrica y las estimaciones de precipitación utilizadas en la verificación.

La validación de las estimaciones de precipitación derivadas de observaciones satelitales, se centró principalmente en la región subtropical de Sudamérica, aunque también se estudió el comportamiento de estos productos en la región tropical de Sudamérica, comprendiendo una amplia variedad de regímenes de precipitación. Por esta razón, y tal como se muestra en la Figura 1, se dividió el dominio en diferentes áreas que fueran lo más homogéneas posibles en relación a sus condiciones climáticas, con la idea de tener en cuenta la dependencia regional de los errores. El área al sur de 20° S y en adelante AC, comprende cinco subregiones con diferentes características relacionadas con la cantidad, intensidad y duración de la precipitación: la región al noreste de Argentina (NE en la Figura 1), la región en la costa sur de Brasil (BS), la región del centro-este de Argentina y parte del sur de Uruguay (CE), la región de montaña al noroeste argentino (MN), y la región de montaña al noroeste de la Patagonia (MS). Por otro lado, la región tropical de Brasil, se subdividió en dos áreas al este (BE), y al oeste (BO). De todos modos, el análisis más detallado de estas subregiones no se incluye en este trabajo.

A su vez, es importante tener en cuenta las diferencias que se generan entre una estación cálida y una fría. Durante los meses de invierno, gran parte de la región subtropical de Sudamérica presenta precipitaciones asociadas en su mayoría, al pasaje de sistemas sinópticos, mientras que durante el verano la precipitación mantiene una naturaleza convectiva. De esta manera, se logra una verificación más sensible al separar el dominio en épocas del año y regiones con diferentes climas.

En la Figura 2, se presenta la tasa de precipitación ( $\text{mm día}^{-1}$ ) para los trimestres DEF (diciembre, enero y febrero) y JJA (junio, julio y agosto) en el periodo de análisis y sobre el dominio completo de estudio, para las estaciones de la red pluviométrica disponible, y las estimaciones de precipitación sujetas a verificación en este trabajo.

### *Metodología para la verificación*

La verificación se llevó a cabo, calculando estadísticos clásicos como la raíz cuadrada del error cuadrático medio (RMSE), que proporciona una medida del valor medio de los errores de las estimaciones, y el sesgo (BIAS), que representa el error sistemático de las mismas.

Por otro lado, se aplicaron estadísticos categóricos considerando eventos de lluvia por debajo o sobre los siguientes umbrales: 0.5, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 15, 20, 30 y 50  $\text{mm día}^{-1}$ . Para ello, se clasificó cada punto de grilla dentro de una de las cuatro categorías resultantes de la verificación: acierto (precipitación observada y estimada por encima de un umbral), sorpresa (precipitación observada por encima de un umbral y estimada por debajo), falsa alarma (precipitación estimada por encima de un umbral y observada por debajo) o correcto negativo (precipitación observada y estimada por debajo de un umbral). Los índices que se incluyeron, y que combinan diferente información para una correcta verificación son: el Bias score (BIASS), que es la relación entre la cantidad de eventos de precipitación estimada y la cantidad de eventos de precipitación observada, con un valor óptimo igual a uno; el Equitable threat score (ETS) que es la fracción de precipitación correctamente estimada considerando el número de aciertos aleatorios y un valor

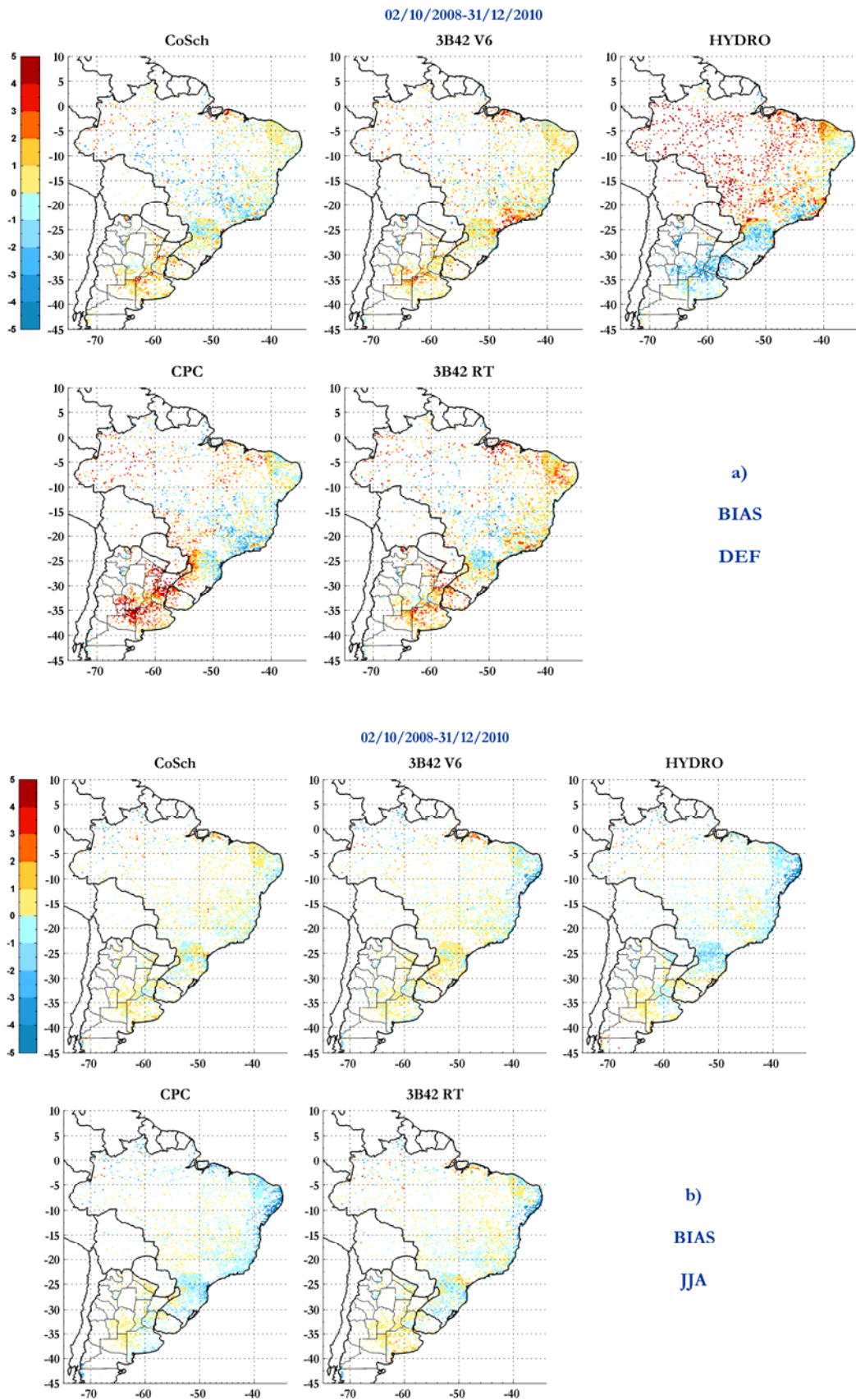
igual a uno corresponde a una estimación perfecta; la probabilidad de detección (POD) que es la relación entre el número de aciertos y la cantidad de eventos de precipitación observada, con un valor óptimo igual a uno; y las falsas alarmas (FAR) que como su nombre lo indica, es la relación entre el número de falsas alarmas y la cantidad de eventos de precipitación estimada, con un valor óptimo igual a cero. Las fórmulas de los índices utilizados en este trabajo están disponibles en múltiples libros de estadística, o en la página de Internet Forecast Verification Website (<http://www.cawcr.gov.au/projects/verification/>).

Estos estadísticos se analizaron en cada punto de grilla disponible, y en las distintas cajas detalladas previamente, teniendo en cuenta el periodo completo de estudio y las estaciones del año. Los resultados se obtuvieron en función de cada umbral de precipitación seleccionado, o bien a partir de diagramas de cajas (box plots), como se describe a continuación en la sección de resultados.

## RESULTADOS

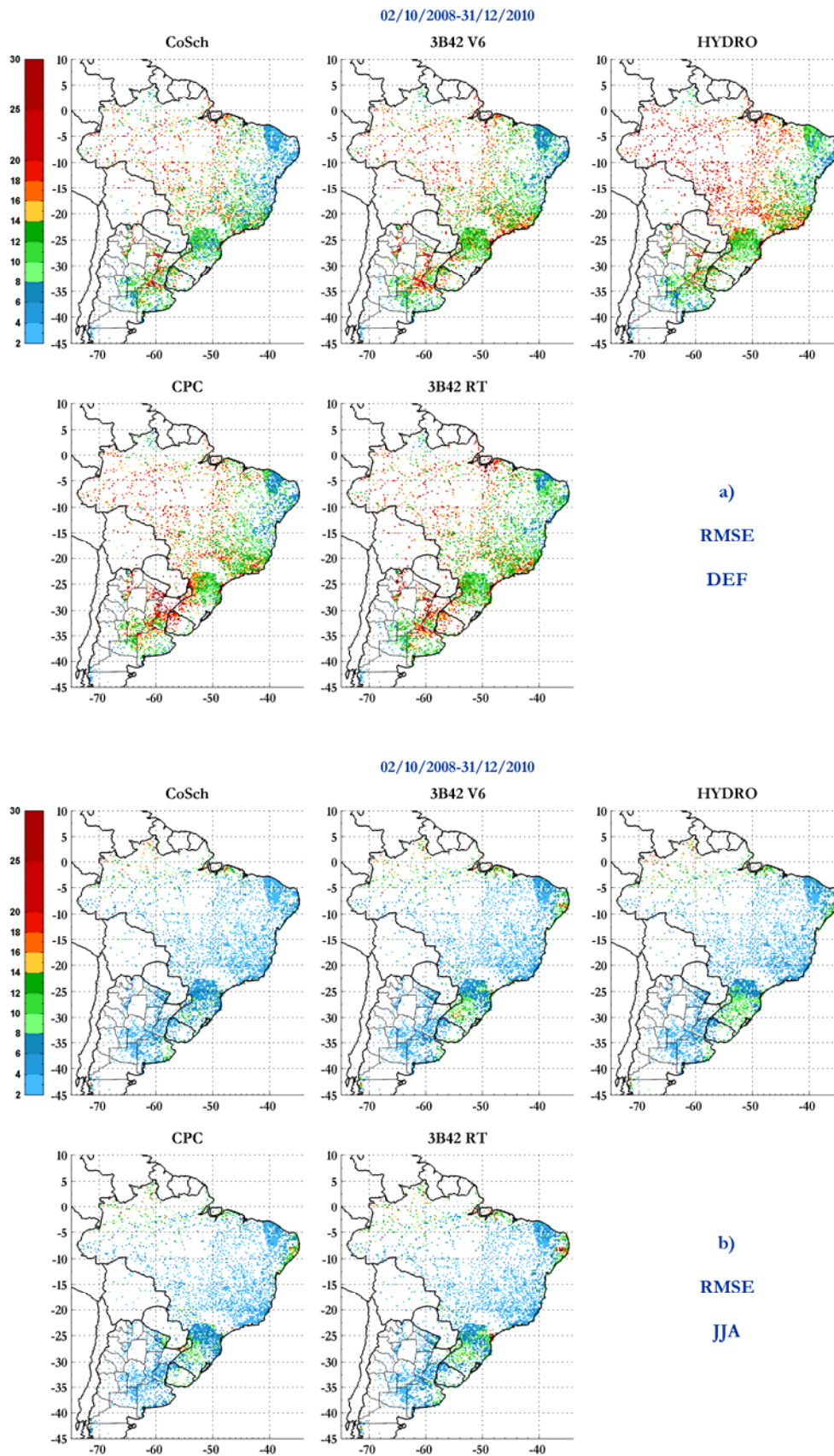
### *Campos espaciales de los estadísticos en época cálida y fría*

Para evaluar los resultados sobre la región completa de estudio, se generaron los mapas espaciales de BIAS y RMSE separados por época cálida (DEF) y fría (JJA), para cada punto de grilla donde se tienen observaciones de superficie (Figuras 3 y 4). En general, se observa que los valores que indican un mejor rendimiento se atribuyen a los campos de CoSch. Durante el verano, esta estimación tiende a sobrestimar la precipitación en el centro, noreste y un sector del noroeste de Argentina, como así también en el norte de Uruguay. Aunque los valores más altos de RMSE, se asocian a la cuenca del Plata y el noroeste de Argentina donde se registra un mayor número de eventos de precipitación muy intensos en esta época. Asimismo, también los errores y desviaciones más grandes respecto de la precipitación observada se encuentran en el centro, norte y noroeste de Brasil, asociado con la intensa actividad convectiva que ocurre en estos meses en el centro de Sudamérica y la región del Amazonas. Por otro lado, presenta menor error en el sur de la Pampa, la región de Cuyo, la Patagonia, y el noreste de Brasil. El comportamiento de 3B42 V6 y 3B42 RT es similar en la estación cálida, aunque la versión 6 logra mejorar la estimación operativa al utilizar observaciones mensuales de precipitación. En particular, CoSch corrige una importante sobrestimación que mantiene 3B42 al sureste de Brasil, dada la gran incorporación de observaciones en esta región. En estos mismos meses, CPC presenta los valores más altos de BIAS positivo sobre el centro y noreste de Argentina, indicando una gran sobrestimación de la precipitación, que también se repite al norte y noroeste de Brasil, con valores altos de RMSE también en ambas regiones. En la región del sureste de Brasil, el resultado es opuesto, con una subestimación por parte de este producto.



**Figura 3.-** Campos de BIAS para la región completa y el periodo entero de estudio, correspondientes al trimestre DEF (a) y JJA (b).





**Figura 4.-** Campos de RMSE para la región completa y el periodo entero de estudio, correspondientes al trimestre DEF (a) y JJA (b).

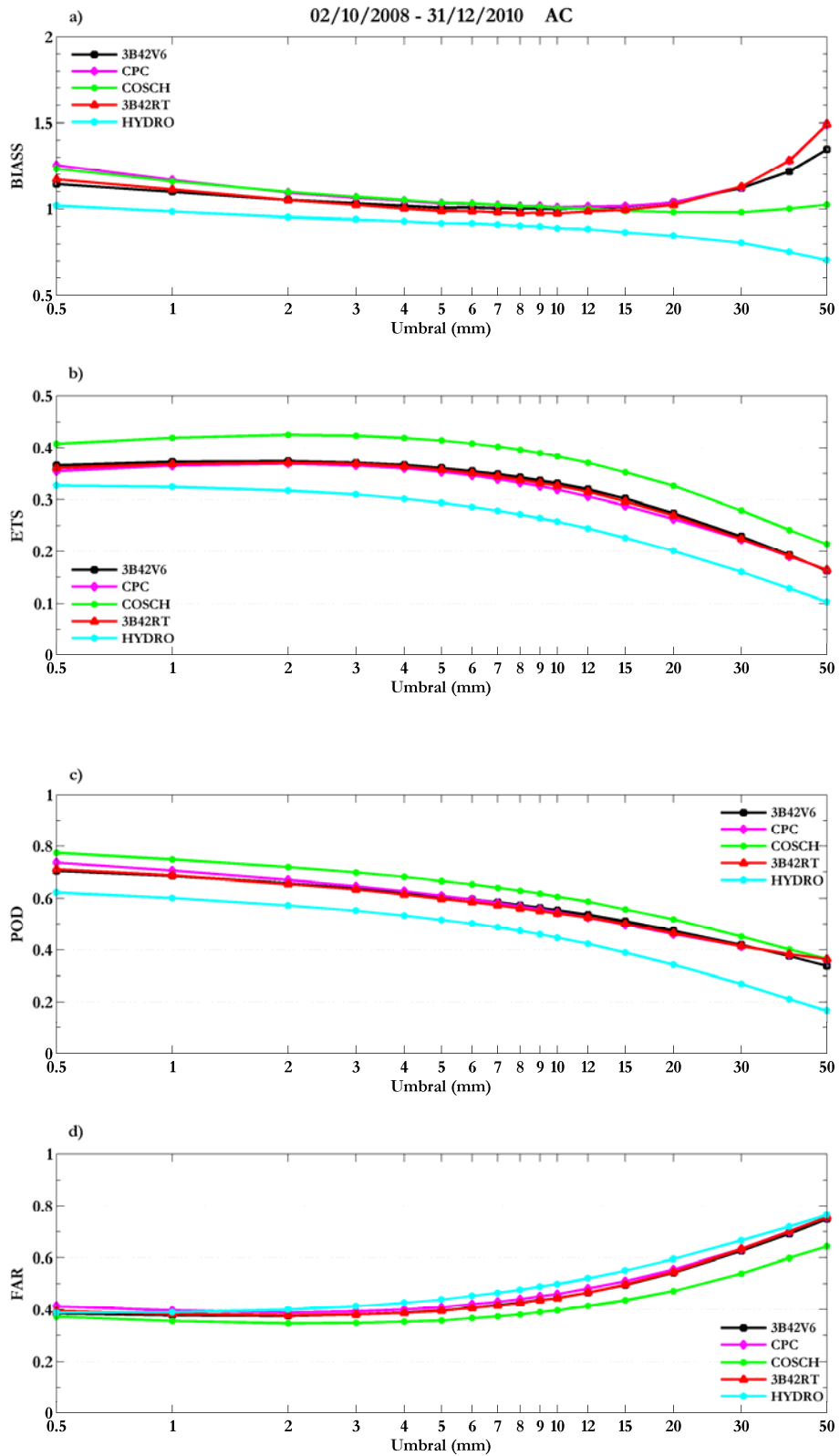
Finalmente HYDRO, tiene un funcionamiento que se quiebra entre 25° S y 20° S, dejando la zona subtropical con una importante subestimación de la precipitación con un BIAS menor a -5 mm en la estación cálida, y valores de BIAS por encima de 5 mm en casi toda la región tropical, salvo el sureste y este de Brasil donde sigue estando por debajo de la precipitación observada. Este resultado es consistente con los altos valores de RMSE que se obtienen en el centro, norte y noroeste de Brasil para esta estimación.

En los puntos de la red ubicados en La Patagonia, los valores de BIAS y RMSE son mínimos durante la estación cálida, para todas las estimaciones. De todos modos, hay que tener en cuenta que en zonas complejas de montaña, la sobrestimación por parte de las estimaciones de precipitación puede estar asociada con la evaporación de la precipitación antes de alcanzar la superficie, y con errores asociados a la dificultad de los algoritmos de microondas en estimar precipitación sobre superficies cubiertas por nieve (Ebert et al., 2007).

Los estadísticos dependen de la cantidad de eventos de precipitación, el origen y la intensidad de los mismos. En general, la tasa de precipitación sobre Sudamérica, es mayor durante DEF, por lo que aumenta la magnitud de los errores durante esta estación. Por esta razón, en JJA la desviación con respecto a los valores observados disminuye considerablemente en toda la región, mientras que solo aumenta en la zona al sur de 40° S y el sector de Brasil que se extiende hacia el este. Estos sitios, tienen la estación húmeda en el invierno y en general las estimaciones tienden a subestimar la cantidad de lluvia que se registra en estos meses, para el período de análisis. Sin embargo, al norte de Brasil donde también se observa la estación húmeda, los datos derivados de observaciones satelitales, siguen sobrestimando la precipitación acumulada diaria.

#### *Diagramas de los estadísticos para la región al sur de 20° S y las distintas épocas del año*

Focalizando los resultados obtenidos para todo el período de análisis y sobre la región AC de la Figura 1, en la Figura 5 se evalúa la calidad de las estimaciones de precipitación, a partir del índice BIASS, ETS, POD y FAR, en función de los umbrales elegidos. En esta región, el BIASS es superior a uno en los umbrales bajos para todas las estimaciones con excepción de HYDRO, indicando una sobrestimación por parte de las mismas en los eventos de precipitación débil. Luego, en los eventos de precipitación moderada, entre 5 y 20 mm de umbral, todas se acercan a uno, mientras que HYDRO subestima en mayor medida la precipitación a medida que aumenta el valor del umbral de precipitación. Finalmente, en los umbrales altos, tanto CPC como 3B42 V6 sobrestiman considerablemente la precipitación, y CoSch logra un mejor rendimiento en todos los umbrales al realizar la corrección con observaciones en superficie descripta previamente. Es importante remarcar, que de las estimaciones de precipitación que se encuentran en forma operativa (3B42 RT, CPC e HYDRO), 3B42 RT presenta un mejor resultado para este índice que proporciona una medida de los errores sistemáticos de las estimaciones.



**Figura 5.-** Gráfico de BIAS (a), ETS (b), POD (c) y FAR (d) en función de los umbrales de precipitación seleccionados, para el periodo completo de estudio y sobre la región AC. El eje x, presenta una escala logarítmica para mejorar la interpretación de los resultados en los umbrales de precipitación débil.

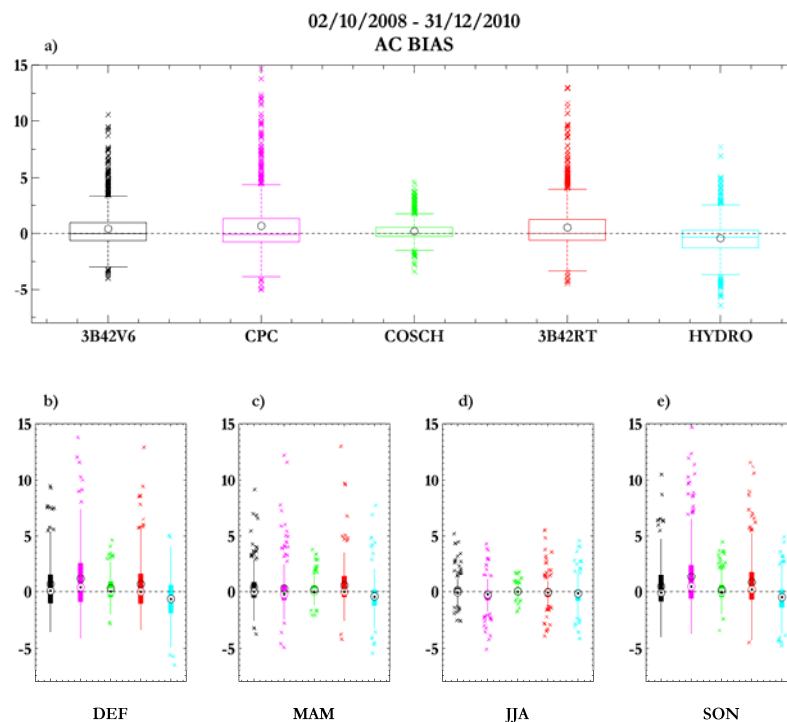
Al utilizar el ETS, se suma mayor sensibilidad a los errores asociados con la ubicación y el tiempo de ocurrencia de los sistemas precipitantes, teniendo en cuenta la chance aleatoria de acierto. CoSch presenta nuevamente un mejor rendimiento con respecto al resto de las estimaciones, principalmente en los umbrales chicos alcanzando un valor de 0.43 para el umbral de 2 mm. Luego, el ajuste espacial y temporal de las estimaciones empeora a medida que aumenta el umbral, dejando en evidencia la limitación en la exactitud de las estimaciones para los eventos de precipitación extrema. A su vez, HYDRO obtiene el peor resultado asociado a este índice, y el resto de las estimaciones presentan un comportamiento intermedio similar entre sí.

Los índices POD y FAR, en la Figura 5 nuevamente manifiestan que CoSch resulta más hábil para detectar la precipitación sobre la región de estudio, gracias a la calibración que emplea para mejorar los resultados. Asimismo, también presenta una baja proporción de falsas alarmas con referencia al resto. El peor desempeño se observa en HYDRO, que baja la calidad de las detecciones de los sistemas precipitantes, sin una diferencia notoria en cuanto a falsas alarmas. Además, es notorio como la habilidad de las estimaciones es fuertemente dependiente del umbral de precipitación, siendo que por ejemplo en el caso de CoSch, la probabilidad de detección decrece desde aproximadamente un 80 % en los umbrales bajos a un valor cercano al 40 % para umbrales por encima de 30 mm. En concordancia, la proporción de falsas alarmas aumenta en los umbrales más altos. Un resultado interesante es que CPC parece funcionar mejor que las estimaciones 3B42 en los umbrales bajos si solo se analiza el índice POD. Sin embargo, teniendo en cuenta los resultados del índice BIAS, es evidente, que si bien detecta los sistemas precipitantes, la cantidad de lluvia que les atribuye es incorrecta, y de ahí la importancia de examinar una cantidad de índices que proporcionen información combinada para una correcta verificación.

Además, para analizar el comportamiento de las estimaciones de precipitación en AC, se sumaron los resultados de diferentes estadísticos en diagramas de cajas (Box Plots), que sirven para evaluar similitudes en términos de simetría, dispersión y determinar la existencia de valores extremos, entre la distribución de los valores de las estimaciones y la distribución de los datos observados, en forma similar a los trabajos de Ebert et al. (2007) y Sapiano et al. (2009). Estos gráficos indican la distribución diaria que tiene un índice entre el percentil 25 y el 75, la línea horizontal dentro de la caja muestra la mediana y los llamados “bigotes” marcan los valores máximo y mínimo que no están fuera de rango. Los valores atípicos, apartados del cuerpo principal de valores de un determinado índice, aparecen con una cruz y son valores que se separan más de 1,5 veces el rango inter-cuartil (P75-P25) por encima del límite superior o inferior de la caja. Además, se incluye el valor de la media con un círculo como una medida de referencia.

En la Figura 6 y 7, se muestran los box plots para el BIAS y el RMSE respectivamente, para el período entero de estudio, y las diferentes épocas del año. En el caso del BIAS (Figura 6), y analizando primero los valores medios, se observa que tanto las estimaciones 3B42 V6 y RT, como CPC adquieren valores positivos si se toma el intervalo de tiempo completo, con un mayor grado de sobrestimación de la precipitación por parte de CPC en acuerdo con los resultados previos. A su vez, CoSch mejora las estimaciones de

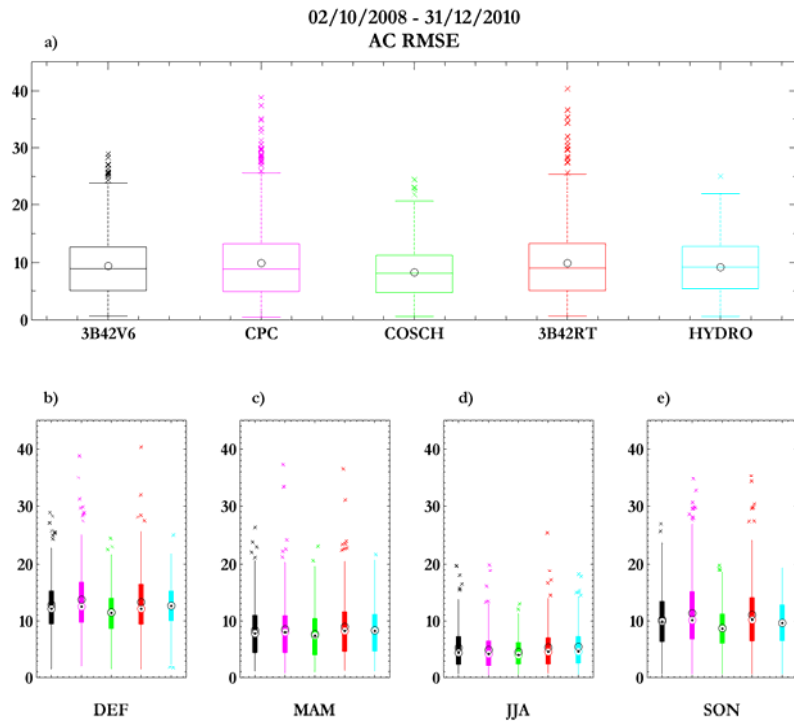
precipitación sobre la región, con el valor de BIAS más cercano a cero, una distribución simétrica, con baja dispersión, y valores atípicos que no son demasiado grandes en módulo, como en el caso de CPC. En cuanto a HYDRO, tanto la media como la mediana marcan la subestimación por parte de esta estimación en la región AC, con valores extremos inferiores a -5 mm en el BIAS. Por otra parte, 3B42 V6 logra disminuir la dispersión y la magnitud de los valores extremos con respecto a RT, sin presentar diferencias muy marcadas entre sí. Este comportamiento se mantiene al analizar los trimestres DEF y SON (septiembre-octubre-noviembre), y con una menor dispersión y mayor cantidad de valores atípicos en MAM (marzo-abril-mayo). Sin embargo, en JJA, si bien el BIAS es cercano a cero para todas las estimaciones (tanto media como mediana) y la dispersión disminuye considerablemente; queda en evidencia que al haber una menor frecuencia de eventos de precipitación, que son menos intensos y con una génesis principalmente sinóptica, se dificulta la estimación correcta de estos casos por parte de los productos que derivan de algoritmos que utilizan las microondas, y se suman numerosos valores atípicos negativos para todas las estimaciones en la estación fría, que en los otros trimestres no se observan.



**Figura 6.-** Diagramas de cajas para el BIAS en la región AC, para el período completo de estudio (a), y en las diferentes épocas del año (b, c, d y e). La caja representa el intervalo inter-cuartil (percentiles 25 y 75), la línea horizontal interior la mediana, la línea vertical el total de valores que no están fuera de rango, las cruces indican los valores atípicos y el círculo el valor medio.

Al analizar los resultados para el RMSE (Figura 7), se observa que los errores son coherentes con las diferencias encontradas a partir del BIAS. El valor total más bajo lo tiene CoSch, y es cercano a los 8 mm, mientras que CPC y 3B42 RT presentan un valor medio cercano a los 10 mm. Luego, las principales diferencias se encuentran entre las estaciones del año, que por lo misma razón que se mencionó

anteriormente, y que está asociada a la naturaleza convectiva de los sistemas precipitantes durante la época cálida, y al pasaje de sistemas sinópticos durante la época fría, se encuentran valores medios del RMSE próximos a los 12 mm durante DEF y próximos a los 5 mm durante JJA para el caso de CoSch que adquiere los valores mínimos de error, menor dispersión y una distribución simétrica de este estadístico.



**Figura 7.-** Diagramas de cajas para el RMSE en la región AC, para el período completo de estudio (a), y en las diferentes épocas del año (b, c, d y e). La caja representa el intervalo inter-cuartil (percentiles 25 y 75), la línea horizontal interior la mediana, la línea vertical el total de valores que no están fuera de rango, las cruces indican los valores atípicos y el círculo el valor medio.

## CONCLUSIONES

Las estimaciones de precipitación derivadas de sensores remotos, tienen suma importancia en zonas con una red de observaciones poco densa e irregular, ya que cubren regiones desprovistas de información, resultando de gran utilidad en numerosas áreas de la meteorología y sus aplicaciones. Si bien este trabajo avanza en la evaluación de estas estimaciones, es indudable que es necesario continuar con la instalación de equipamiento en superficie que permita disponer de una red adecuada de precipitación, como así también bogar por la integración nacional y regional de las redes actualmente disponibles sobre los países que componen SESA.

A través de los resultados expuestos, es importante destacar que los productos de estimaciones de precipitación que incluyen información de microondas presentan un destacado desempeño, aunque el ajuste de las mismas mediante la inclusión de observaciones de superficie, como es el caso de 3B42 V6 y CoSch, indudablemente mejora su desempeño, mostrando una adecuada performance en las distintas regiones estudiadas.

Si bien estos productos han evolucionado notablemente, es necesario profundizar su evaluación, en particular estudiando su relación con la topografía y áreas donde la precipitación es sólida. Asimismo, es importante analizar en mayor detalle la representación de los valores extremos asociados a la precipitación convectiva sobre SESA, donde se detecta una clara sobrestimación de las estimaciones, con excepción de HYDRO que subestima la precipitación observada en superficie en la mayoría de los umbrales.

**Agradecimientos.** En este trabajo, se agradece a la Universidad de Buenos Aires que financió una beca de estudiante para la primera autora, y permitió la realización de estas tareas. Los organismos que suministraron información para este trabajo son: Servicio Meteorológico Nacional – Argentina; Administración Provincial del Agua – Chaco – Argentina; Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación – Argentina; Universidad de La Punta - San Luis – Argentina; Autoridad Interjurisdiccional del Agua – Neuquén – Argentina; Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria – Argentina; Bolsa de Cereales – Argentina; Dirección Nacional de Meteorología – Uruguay; Dirección de Meteorología e Hidrología - Dirección Nacional de Aeronáutica Civil – Paraguay; Comisión Técnica Mixta Salto Grande; Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – Brasil; National Oceanic and Atmospheric Administration – Estados Unidos. Personalmente, se desea agradecer a: Brant Liebmann, Dave Allured, Mario Bidegain, Marcela González y Julián Baez, quienes contribuyeron a desarrollar la base de datos de observaciones de precipitación.

Los proyectos de investigación que financiaron esta tarea son: ANPCyT PICT 2008-215, PICT 2007-00355, PICT 2006 – 1282, UBACYT X633, PIP Nicolini 2009-2011, MCT/CNPq 14/2010- Universa, y PIDDEF 47/2010.

## REFERENCIAS

- Ebert, E. E., Janowiak, J., and Kidd, C., 2007. Comparison of near real time precipitation estimates from satellite observations and numerical models. *Bull. Amer. Met. Soc.*, 88, 47-64.
- Huffman, G. J., and Coauthors, 2007. The TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA): Quasi-Global, Multiyear, Combined-Sensor Precipitation Estimates at Fine Scales. *J. Hydrometeor.*, 8, 38–55.
- Joyce, R. J., Janowiak, J. E., Arkin, P. A., and Xie, P., 2004. CMORPH: A method that produces global precipitation estimates from passive microwave and infrared data at high spatial and temporal resolution. *J. Hydrometeor.*, 5, 487–503.
- Sapiano, M. R. P., and Arkin, P. A., 2009. An Intercomparison and Validation of High-Resolution Satellite Precipitation Estimates with 3-Hourly Gauge Data. *J. Hydrometeor.*, 10, 149–166.
- Scofield, R. A., and Kuligowski, R. J., 2003. Status and outlook of operational satellite precipitation algorithms for extreme-precipitation events. *Mon. Wea. Rev.*, 18, 1037-1051.
- Vila, D. A., De Goncalves, L. G. G., Toll, D. L., and Rozante, J. R., 2009. Statistical evaluation of combined daily gauge observations and rainfall satellite estimates over continental South America. *J. Hydrometeor.*, 10, 533-543.