

EVALUACION DEL USO OPERATIVO DE LAS ESTIMACIONES SATELITALES DE PRECIPITACIÓN

Lic. Daniel Vila ¹, Ing. Manuel Irigoyen ², Ing. Douglas Simonet ², Ing. Eduardo Zamanillo ²

¹ Instituto Nacional del Agua. Sistema de Información y Alerta Hidrológico.

² Departamento de Hidrología. Comisión Técnica Mixta Salto Grande.

Aut. Ezeiza Cañuelas km 1.62. Código Postal: 1804. Telefax: +54 -11 - 4480 - 9174. E-Mail: dvila@ina.gov.ar

RESUMEN

La estimación de la precipitación utilizando el canal térmico de los satélites geoestacionarios tiene diferentes aplicaciones en la meteorología y la hidrología. En regiones donde la cantidad de estaciones disponibles en tiempo real para aplicaciones operativas es escasa y no se disponen de otras herramientas como el radar meteorológico; la alta frecuencia temporal y la alta resolución espacial de estos sensores (4 km), como así también el tamaño del área cubierta, hacen de esta técnica una herramienta complementaria a las mediciones convencionales.

El objetivo de este trabajo es realizar una evaluación del desempeño de la técnica Hydroestimator (Vila et al, 2003) sobre la cuenca del río Uruguay, aguas arriba de la represa de Salto Grande en el período abril 2002-septiembre 2003 a partir de la comparación estadística de las estimaciones realizadas a partir de datos convencionales (mediciones pluviométricas) y la estimación realizada por el mencionado algoritmo. Asimismo se incluirá un estudio de casos particulares con precipitación moderada a intensa para una mejor interpretación y análisis de los resultados.

A través de la técnica mencionada, se calcularon los datos de las precipitaciones estimadas medias areales de la subcuencas inmediata, media y alta del río Uruguay, aguas arriba de Salto Grande para un intervalo de tiempo de 24 horas. En este trabajo también se aplicó al modelo original una corrección con datos de campo (Vila y Velasco, 2002, Vila y Velasco, 2004) obtenidos a través de la Red Mundial de Observaciones de la Organización Meteorológica Mundial. La principal ventaja de este algoritmo es la posibilidad de obtener en tiempo cuasi-real valores de precipitación estimada con una resolución de 4 x 4 km (resolución espacial del satélite GOES en el canal térmico) que luego son agregados espacialmente para el cálculo de la precipitación media areal en cada una de las subcuencas mencionadas.

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

En hidrometeorología, la precipitación es una de las variables atmosféricas más importantes de estudio debido a su alto impacto sobre las actividades humanas. No obstante, debido a su alta variabilidad espacial como temporal, es muy dificultoso su estudio a través de metodologías tradicionales como las medidas hechas con pluviómetros, ya que no representan el suficientemente bien la distribución espacio - temporal de dicha variable en escalas pequeñas. En este punto, el uso de sensores remotos como satélites y radar, ofrecen una solución adecuada para aquellas regiones donde la red de mediciones es escasa o que no se cuentan con datos en tiempo real, indispensables para el manejo operativo de embalses y represas.

El principal objetivo de este trabajo es presentar el desempeño de la técnica Hydroestimator (Vila et al, 2003) sobre la cuenca del río Uruguay, aguas arriba de la represa de

Salto Grande. Este sistema funciona en forma operativa desde el año 2002 y usa como datos de entrada las salidas de este modelo generadas por la NESDIS (NOAA-EEUU) y datos de campo obtenidos a través de la Red Mundial de Observaciones de la Organización Meteorológica Mundial.

En la siguiente sección se abordaran los temas relacionados con los datos básicos utilizados en este estudio como así también un descripción de la metodología utilizada para la obtención de la precipitación media areal que luego será evaluada estadísticamente en la sección 3.

En la sección 3 y 4 se presentan las herramientas estadísticas y los resultados obtenidos a lo largo de esta experiencia operativa, mientras que en las sección 5 se presenta un resumen del trabajo realizado, las conclusiones y el trabajo futuro que se esta desarrollando.

DATOS Y METODOLOGÍA

Para llevar a cabo este trabajo se contó con las estimaciones para 24 horas realizadas a través del modelo Hydroestimator (Vila et al, 2003) entre el 1ro de marzo de 2002 y el 31 de julio de 2003 sobre la cuenca del río Uruguay hasta la represa de Salto Grande. Para una mejor evaluación del desempeño del algoritmo, se dividió la cuenca en tres regiones: cuenca alta, cuenca media y cuenca baja (Figura 1).

En dicho lapso (518 días) se obtuvieron 494 imágenes con un faltante de solo 24 días, lo que representa aproximadamente un 5% del total de la muestra. Cabe destacar que toda esta información se obtuvo en tiempo real.

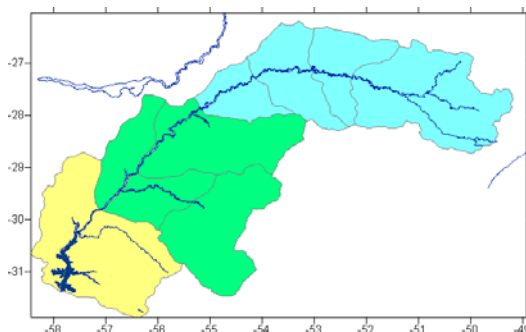


Figura 1: Representación esquemática de la cuenca del río Uruguay, aguas arriba de la represa de Salto Grande. Los colores celeste, verde y amarillo indican la ubicación de las cuencas alta, media y baja respectivamente.

Por otro lado, y para realizar la corrección con datos de campo (Vila y Velasco, 2002) se obtuvieron, también en tiempo real, los valores de precipitación en 24 horas, cuyo reporte de emite a las 12 UTC, provenientes del la red Mundial de Observaciones dependiente de la Organización Meteorológica Mundial.

La principales características de la técnica HE utilizada en la estimación de precipitación se pueden resumir en el siguiente sumario:

- *Estimación de la intensidad:* se realiza a través de una metodología totalmente automática que relaciona la temperatura de brillo del canal 4 del satélite GOES con las intensidades de precipitación observadas en superficie. Debido a la complejidad de los procesos involucrados en la precipitación, se definen dos tipos de precipitación: la precipitación del núcleo (o convectiva) cuyo valor es obtenido a través de una función exponencial y la precipitación estratiforme que es calculada como la quinta parte de la anterior y no puede exceder los 12 mmh^{-1} (Vila et al, 2003).
- *Detección de píxeles precipitantes:* esta metodología esta basada en que los píxeles que producen precipitación son mas fríos que los que se encuentran a su alrededor (Vila et al, 2003).
- *Corrección por la humedad atmosférica:* Este ajuste consiste en una corrección de los montos de la intensidad de precipitación en función de la humedad presente en la capa que se extiende desde superficie hasta 500 hPa. Este procedimiento se lleva a cabo a través de dos pasos: en primer lugar el agua precipitable existente en la mencionada capa modifica la curva original de estimación (incrementando el valor en entornos mas húmedos y disminuyéndolo en los mas secos) y en segundo lugar disminuyendo la intensidad final en función de la humedad relativa existente en la atmósfera, para simular los efectos de evaporación de la precipitación antes de alcanzar el suelo (Kuligowski, comunicación personal).

Luego, y con el objeto de mejorar la estimación realizada por el mencionado algoritmo, se ajustaron los valores de precipitación obtenidos con los datos medidos en las estaciones pertenecientes red Mundial de Observaciones dependiente de la Organización Meteorológica Mundial. Esta metodología, descrita en el trabajo de Vila y Velasco (2002), consiste esencialmente en evaluar la diferencia entre la precipitación estimada y observada en las estaciones disponibles y, a partir de estas diferencias y utilizando técnicas de interpolación, generar un campo que luego sea adicionado a la estimación original. Para realizar este ajuste se contaron con aproximadamente una 30 estaciones meteorológicas (en promedio) entre aquellas que están dentro de la cuenca de estudio y aquellas cercanas que mejoran las condiciones de borde utilizadas en las técnicas de interpolación.

Uno de los grandes inconvenientes encontrados en la aplicación de esta técnica (Vila et al, 2003; Vila et Lima, 2004) es la falta de imágenes que se observa en el hemisferio sur, especialmente durante la ultima parte del día. Como se puede observar en la Figura 2 solo 355 de las 494 estimaciones disponibles contaron con una cantidad de imágenes superior a las 28. Se ha decidido tomar este umbral en la cantidad de imágenes (siguiendo los mismos lineamientos que en el trabajo de Vila et Lima, 2004), ya que cuando dicha cantidad es menor, la calidad de la estimación se puede ver afectada por esa falta de información generando, de esa manera, resultados espurios.

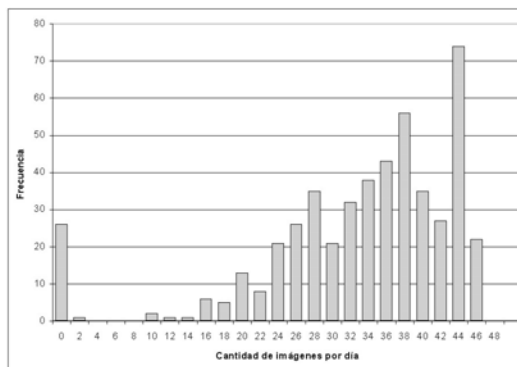


Figura 2: Frecuencia de días con una dada cantidad de imágenes diarias. La primera barra representa la cantidad de días sin estimación.

VALIDACIÓN ESTADÍSTICA

En la primera parte de éste capítulo, la técnica utilizada para la validación estadística de los resultados se basará en la comparación de las estimaciones areales realizadas a través de técnicas tradicionales (medias ponderadas de datos pluviométricos de diversas fuentes disponibles: CTMSG, policía, prefectura, etc.) y las estimaciones areales obtenidas a través del algoritmo presentado en este trabajo. En este caso, se consideraran los resultados sin corregir (el valor bruto que arroja la metodología) y los resultados corregidos con valores de campo.

En este último punto vale aclarar que en el caso de la cuenca inmediata la cantidad de datos que se usaron en la corrección es muy inferior al de los datos usados para realizar la media areal ponderada, por lo que podríamos considerar ambas estimaciones como independientes. No es así en el caso de las cuencas media y alta donde la escasez de datos es mayor y por lo tanto no es posible lograr esta independencia en las fuentes. No obstante, debido a las técnicas utilizadas en uno y otro caso es posible comparar ambos resultados, teniendo en cuenta las limitaciones expresadas.

Es por ello, que el análisis se presenta dividido en dos regiones: por un lado las cuencas media y alta (donde se verá que el comportamiento es similar) y por otro la cuenca inmediata.

Otro tópico que sobre el es importante discutir es el hecho de que en este trabajo se realiza *una comparación de dos estimaciones* ya que, en realidad, no es posible comparar los datos pluviométricos (donde el área de captación cubre apenas unos centímetros cuadrados) con una estimación hecha por satélite cuya menor unidad de resolución cubre una extensión de 16 km².

Como parámetros estadísticos a evaluar, y siguiendo los lineamientos internacionales en la materia (Ebert, 1996) se evaluaron tres variables a saber:

- **Bias:** Es la diferencia entre la estimación de satélite y la estimación areal realizada a partir de datos pluviométricos.

- Diferencia cuadrática media: es la raíz cuadrada de la suma de las diferencias entre estimaciones (por satélite y convencional) elevadas al cuadrado y dividido la cantidad total de casos.
- Coeficiente de correlación: es una medida de la calidad del ajuste de una recta en el plano entre los valores estimados por satélite (eje X) y por pluviómetros (eje Y).

La segunda parte en la evaluación del uso de la técnica se basará en un estudio de dos casos para la cuenca inmediata donde la densidad de estaciones es superior al resto de la cuenca. En este caso, la técnica utilizada se basa en la comparación entre la estimación a partir de datos de pluviómetros y la estimación por satélite.

RESULTADOS

En esta primera parte del capítulo se presentan los resultados correspondientes a la comparación de la media areal de los 355 días con una cantidad superior a 28 imágenes para realizar la integración diaria. Por otro lado, se descartaron aquellos eventos en que la lluvia haya sido nula en la región de estudio (tanto estimada por satélite como a través de pluviómetros) para evitar resultados estadísticos espurios.

En la Figura 3 se presenta un grafico de dispersión donde se muestran los valores estimados (por satélite) vs. valores observados (estimados por pluviómetros). En este caso se utilizaron los valores sin corregir para la cuenca media y alta.

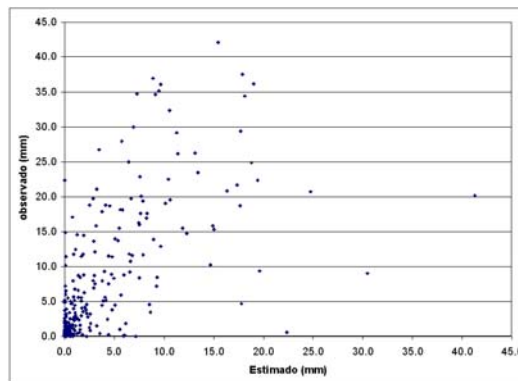


Figura 3 : Grafico de dispersión entre valores observados y estimados sin corregir para la cuenca media y alta.

En primer lugar se puede observar que los valores observados, en promedio, son mayores a los valores estimados a través de la técnica en este trabajo. En este caso se encontró un valor de bias igual a -3.7 mm en promedio para toda la muestra, una diferencia cuadrática media de 10.0 mm y un coeficiente de correlación de 0.64 .

Si se considera solamente la cuenca inmediata (no se muestra el gráfico), los valores estadísticos son bastante similares: el bias es de -3.5 mm, la diferencia cuadrática media de 14.3 mm y un coeficiente de correlación de 0.58 .

Si ahora se consideran las estimaciones satelitales corregidas con valores de campo a través de la técnica propuesta por Vila y Velasco (2002), los resultados mejoran sensiblemente a los obtenidos por las estimaciones sin corregir. En la Figura 4 se muestra el diagrama de dispersión para la cuenca media y alta, mientras que en la Figura 5 se observan los puntos obtenidos para la

Region/Parametro	BIAS	DCM	CORR
Media y Alta	0.3	3.9	0.91
Inmediata - pp<10 mm	0.6	2.5	0.64
Inmediata - pp>10 mm	-2.4	12.6	0.74

Tabla 1: Valores estadísticos de la estimación de precipitación corregida con valores de campo.

cuenca inmediata

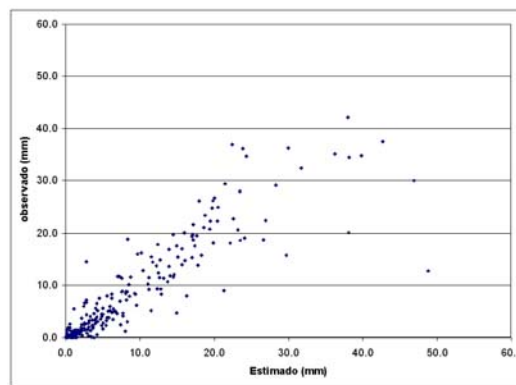


Figura 4: Grafico de dispersión entre valores observados y estimados corregidos con datos de campo para la cuenca media y alta .

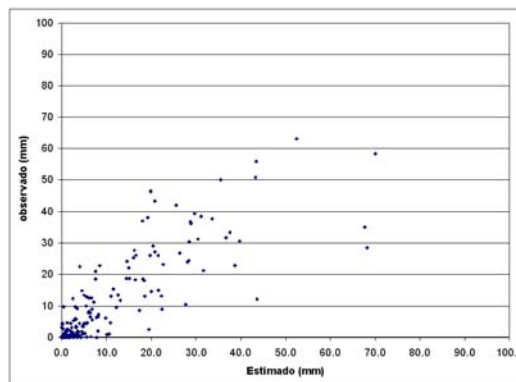


Figura 5: Grafico de dispersión entre valores observados y estimados corregidos con datos de campo para la cuenca inmediata .

En la Tabla 1 se pueden observar los parámetros estadísticos más importantes para ambas regiones.

A partir de la inspección visual de los gráficos y de los resultados obtenidos a través de la estadística, es posible concluir que los resultados de las estimaciones areales de precipitación mejoran sensiblemente con respecto a los presentados anteriormente. En el caso de la cuenca media y alta se debe tener en cuenta que los datos utilizados para corregir también fueron utilizados en la evaluación de la estimación areal de la lluvia a través de pluviómetros, por lo que los resultados pueden resultar algo sesgados.

En el caso de la cuenca inmediata, donde la independencia entre las fuentes de datos es mayor, se puede observar valores relativamente pequeños de desvío (bias) y de diferencia cuadrática media para precipitaciones menores a 10 mm y una dispersión algo mayor en el caso de eventos con valores acumulados mayores a los 10 mm en 24 horas. Este hecho es claramente visible en la Figura 5.

En el caso de estudio de casos, se presentan a continuación los eventos producidos el 8 de abril, 12 de abril y 1 de diciembre de 2002. Cada uno de estos eventos tienen características particulares (en cuanto al funcionamiento del algoritmo) que se discutirán en esta sección del capítulo.

Para esta evaluación se contó los datos diarios de precipitación de 51 estaciones pluviométricas ubicadas en la cuenca inmediata, tanto del lado argentino como del lado uruguayo. La interpolación de estos datos se llevo a cabo utilizando la técnica conocida como kriging, utilizada frecuentemente en la interpolación de datos de lluvia.

El campo obtenido se comparó con las estimaciones realizadas a través de la técnica Hydroestimator tanto en su versión sin corrección como corregida. Es de destacar que en este ultimo caso solo 5 estaciones (Monte Caseros, Salto, Artigas, Paso de los Libres y Bella Unión) fueron utilizados en el proceso de corrección, por lo que se puede considerar que el ambas fuentes de datos son independientes.

Otro importante hecho para destacar es que mientras en el caso de las estimación, el valor acumulado es entre las 12:00 Z (09:00 hora local) de día anterior y las 12:00Z del día de la medición, los valores pluviométricos son medidos a las 10:00Z con el acumulado de las ultimas 24 horas. Si bien, entonces, estos valores no son estrictamente comparables, si lo son a fines prácticos ya que existe una superposición de 22 horas entre ambas estimaciones (interpolación y satélite).

En el primer caso de estudio (Figura 6) se muestra la lluvia ocurrida entre el 7 y el 8 de abril de 2004. En este evento, se puede observar a través de los datos observados una franja horizontal entre 30° y 31 ° S con valores superiores a 40 mm y un máximo de alrededor de 100 mm sobre la cuenca uruguaya. Estas mismas características se observan en la estimación realizada, tanto en la versión sin corrección (Figura 7) como corregida (Figura 8). En este caso los valores medios de precipitación areal fueron, en todos los casos, entre 35 y 40 mm (diferencia del orden de 10%)

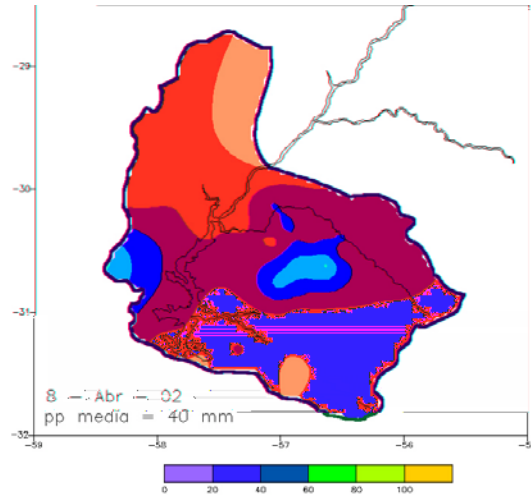


Figura 6: Precipitación observada en la cuenca inmediata el día 8 de abril de 2002.

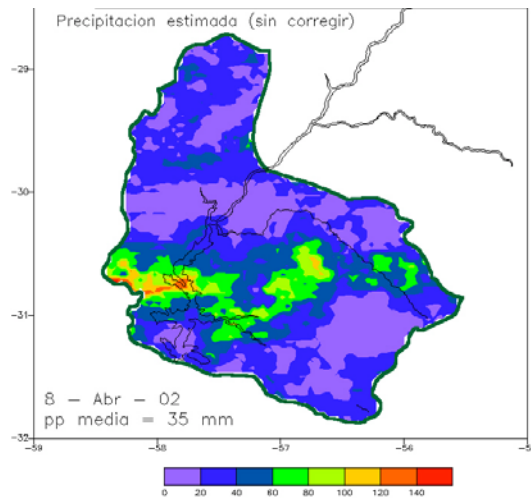


Figura 7: Precipitación estimada a partir de la técnica Hydroestimator (sin corregir) en la cuenca inmediata para el día 8 de abril de 2002.

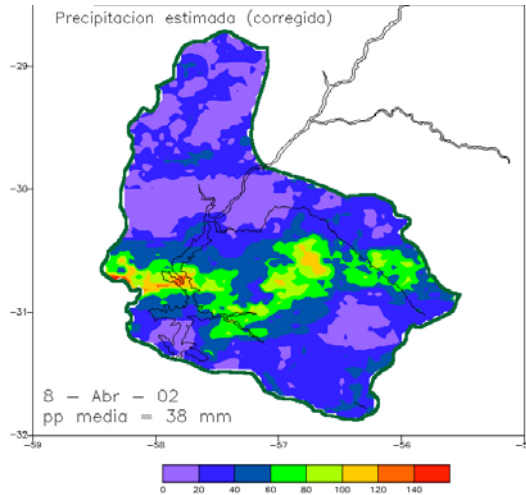


Figura 8: Ídem Figura 7 pero corregida con valores de campo

El segundo caso de estudio, se refiere al evento del 12 de abril de 2002. En la Figura 9 se observan los máximos de precipitación en el límite norte de la cuenca (con valores superiores a 40 mm), mientras que en el caso de la estimación (solo se muestra aquella que no fue corregida, ya que la corregida, como en el caso anterior, es similar) los máximos están ubicados más al sudeste y con valores mayores a los observados (Figura 10). Esta discrepancia puede deberse a diferentes factores: en primer lugar es importante tener en cuenta el desplazamiento de los sistemas nubosos que producen lluvia y que, debido a la diferencia horaria entre ambas estimaciones, este desplazamiento puede influir en las mediciones. Por otro lado, si se compara el valor areal, el mismo es 35 mm en utilizando las observaciones tradicionales y de 42 mm si se calcula a través de la estimación de satélite.

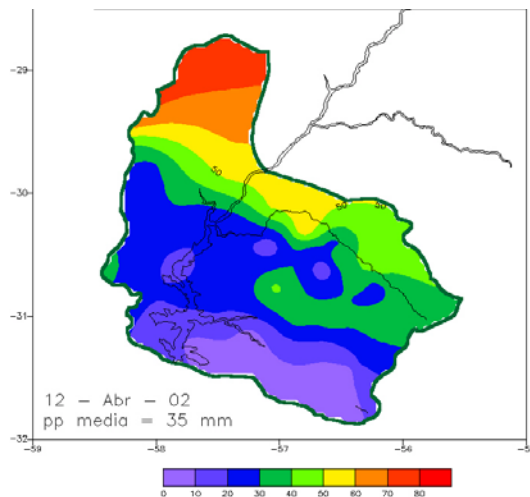


Figura 9: Ídem Figura 6 para el 12 de abril de 2002.

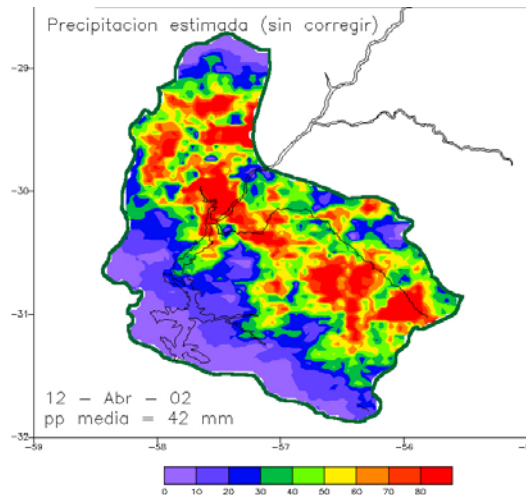


Figura 10: Ídem Figura 7 para el 12 de abril de 2002

RESUMEN Y CONCLUSIONES

En el presente trabajo se realizó una validación estadística del funcionamiento del algoritmo Hydroestimator para la estimación de la precipitación a partir de imágenes en la banda del infrarrojo térmico de satélite GOES 8. La metodología de trabajo consistió en la recepción, en tiempo real, de las estimaciones satelitales y de los valores de precipitación medidos a través de la red de estaciones de la Organización Meteorológica Mundial para la ajuste de estas estimaciones con datos de campo.

Los principales resultados se pueden resumir en los siguientes puntos:

- La recepción en tiempo y forma de las estimaciones ha tenido una eficiencia cercana al 95%. Del total de las estimaciones recibidas correctamente, el 72% ha sido construida con mas de 28 imágenes por día.
- Si se considera las estimaciones sin el ajuste con valores de campo, se observa un bias negativo sistemático (los valores estimados son menores que los medidos) del orden de los -3.5 mm para toda la muestra, mientras que si se considera la diferencia cuadrática media el valor trepa a orden de los 10 mm.
- Si, en cambio, se consideran las estimaciones areales ajustadas con valores de campo, los parámetros estadísticos disminuyen a valores del orden de la cuarta parte de los obtenidos en forma directa en la cuenca media y alta. En la cuenca inmediata, discriminando los eventos de precipitaciones débiles e intensas, el valor medio del bias es del orden del 15 % entre los valores estimados a través de satélite y por metodologías convencionales.
- El estudio de casos particulares de precipitaciones moderadas a intensas arroja resultados satisfactorios aunque se observa que la bondad de la estimación es altamente sensible a varios factores: falta de imágenes, tipo de precipitación (convectiva o estratiforme) y otros factores

inherentes a la metodología de la estimación de la precipitación a partir de la información de los topes nubosos.

BIBLIOGRAFÍA

- Ebert, E. E.**,1996: *“Result of the 3rd Algorithm Intercomparison Project (AIP-3) of the Global Precipitation Climatology Project (GPCP)”*. Bureau of Meteorology Centre, Report N° 55, Melbourne, Australia, 199 pp.
- Vila D. A.** et al., 2003; *“Satellite Rainfall Estimation Over South America: Evaluation Of Two Major Events”* – NOAA Technical Report NESDIS N° 114, U.S. Department of Commerce, pp 1-17
- Vila D., Velasco I., Goniadzki D.**, 2001, *“Satellite Rainfall Estimation Using Rainfal Observed Data: Two events evaluation”*. Anales del CONGREGMET VIII y CLIMET IX, Buenos Aires, Argentina, Mayo 2001
- Vila D. y Lima A.**, 2004, *“Satellite Rainfall Estimation Over South America: The Hydroestimator Technique”*. Anales del 14th International Conference on Clouds and Precipitation, Bologna, Italia, Julio 2004.