

## RESUMEN

El presente trabajo fue llevado a cabo en el marco del proyecto DACC “Desarrollo y Adaptación al Cambio Climático”. Su propósito es mejorar el monitoreo del tiempo de Uruguay, en particular de la precipitación, mediante la combinación de observaciones pluviométricas y estimaciones satelitales de precipitación.

Dos productos satelitales, en una escala temporal diaria y con una resolución especial de 0.25° lat/long, fueron evaluados para determinar cual es más representativo de la precipitación en Uruguay. Los datos de referencia provienen de una red de estaciones, relativamente densa y uniformemente distribuida, de 144 pluviómetros provistas por el INUMET (Instituto Uruguayo de Meteorología, anteriormente DNM) cuyos registros comienzan en enero de 1998 y llegan hasta el presente. Los productos de precipitación satelital evaluados son el Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) en su versión cercana-al-tiempo-real (3B42RT), y el NOAA/Climate Prediction Center MORPHing technique (CMORPH).

Se computaron estadísticos de validación para todo el país para el período entre 2007 y 2009. Los estadísticos utilizados para la comparación fueron los siguientes: probabilidad de detección (POD), tasa de falsas alarmas (FAR), sesgo (FBS), puntuación de habilidad de Heidke (HSS), coeficiente de correlación lineal (Corr), sesgo multiplicativo (BIAS), error medio (ME), error absoluto medio (MAE), y la función de distribución acumulada empírica (CDF). Todas las comparaciones se hicieron contra un conjunto de datos grillados -en la misma grilla que las estimaciones satelitales- de la información de las estaciones, el cual fue obtenido eligiendo el mejor de varios métodos de interpolación: Kriging, Suma Ponderada por el Inverso de la Distancia (IDW por sus siglas en inglés) e IDW en bloque (interpolación a 0.05° y luego promediar a 0.25°).

La validación y comparación de los distintos productos satelitales mostró un mejor desempeño del CMORPH, con valores inusualmente altos (favorables) de algunos de los estadísticos, en particular Corr y POD. Por lo tanto, en vista del mejor desempeño en los estadísticos considerados más relevantes para los propósitos del estudio, CMORPH fue elegido para explorar las distintas técnicas de combinación.

Dado que hay dos versiones disponibles de CMORPH (la Versión 0.x disponible desde el 2002 hasta el presente y la Versión 1.0, un reprocesamiento de los datos de CMORPH utilizando un algoritmo fijo, disponible desde 1998 hasta el presente), se comparó el rendimiento de éstas dos versiones para diferentes períodos de tiempo. Los resultados confirman las diferencias menores entre ambas versiones y muestran un rendimiento creciente del CMORPH v1.0, con la peor performance durante los primeros años (1998-2000) y los mejores valores obtenidos para el último período (2010-2012), para la mayoría de los estadísticos. De esta forma, en vista del rendimiento similar y la mayor longitud temporal de la serie de datos disponible, se trabajó con CMORPH v1.0 para explorar las distintas técnicas de combinación.

En este trabajo, se exploraron diversos métodos para la combinación de las observaciones pluviométricas y las estimaciones satelitales de precipitación, comenzando con algunos de los más simples y progresivamente incluyendo y combinando técnicas más elaboradas.

La metodología seguida para la combinación comprende cuatro pasos básicos:

- i) Eliminación del sesgo de la estimación satelital por medio de una remoción de sesgo simple o una igualación de CDF.
- ii) Regresión de la información de las estaciones en la estimación satelital, bruta o insesgada, usando un modelo lineal generalizado.
- iii) Interpolación de los residuos de la regresión en las ubicaciones de las estaciones a la grilla completa usando un esquema de grillado universal (Kriging o IDW + tendencia) e interpolación en bloque.
- iv) Aplicación de una máscara de lluvia/no lluvia (en base a información únicamente de estaciones, únicamente de satélite o una combinación de ambas) para evitar la sobreestimación de la ocurrencia de precipitación.

Seguendo este esquema, varios productos combinados fueron implementados utilizando las siguientes configuraciones:

**Tabla 1: Productos combinados implementados y probados**

Producto Combinado	Técnica de Eliminación de Sesgo	Método de Interpolación	Máscara de Lluvia/No Lluvia
IDW_Raw	No	IDW en Bloque	Solo Satélite
IDW_CDF_1	Igualación de CDF	IDW en Bloque	Solo Satélite
IDW_CDF_2	Igualación de CDF	IDW en Bloque	Solo Estaciones
Kriging_CDF	Igualación de CDF	Kriging en Bloque	Solo Satélite

Para evaluar las distintas aproximaciones, la información de las estaciones se dividió aleatoriamente en un conjunto de entrenamiento, con un tercio de las observaciones, y un conjunto de validación, con los restantes dos tercios. Luego, los estadísticos de validación se calcularon para todo el país usando el conjunto de validación como información de referencia.

En la comparación se incluyó un conjunto grillado por medio de IDW en bloque de la información de las estaciones de entrenamiento (representando la habilidad actual de la red pluviométrica) y la estimación bruta del satélite (para evaluar la mejora en la habilidad de la información satelital cuando se combina con observaciones en tierra).

Los resultados muestran un aumento general de la habilidad, en comparación con la estimación satelital bruta, al usar las técnicas de combinación propuestas, indicando una mejora en la precisión de la estimación debido a la incorporación de las observaciones en tierra. Comparando la información grillada de las estaciones con el producto combinado, la información de las estaciones muestra un desempeño un poco mejor en términos de cantidades de precipitación, mientras que el producto combinado es mejor en los estadísticos de detección de precipitación. Aun así, la interpolación del conjunto de entrenamiento por medio de IDW en bloque (usando sólo las observaciones) obtuvo los mejores resultados para la mayoría de los estadísticos a través de todos los períodos evaluados.

De esta manera se puede concluir para el caso particular de Uruguay, donde se dispone de una densidad relativamente alta de observaciones en superficie, que la información de las estaciones es de mayor calidad que las estimaciones satelitales (y tan buena como los productos combinados). Países con redes pluviométricas de menor densidad y con topografías más complejas podrían beneficiarse más de la información satelital y usarla como un conjunto de datos complementario de libre acceso cuando no se disponga de observaciones, pero para obtener la mayor precisión la información observada en las estaciones sigue siendo preferida. Estos resultados son consistentes con los obtenidos en trabajos previos realizados para Uruguay por De Vera y Terra, 2012 (Combining CMORPH and Rain Gauges Observations over the Rio Negro Basin. *J. Hydrometeor.*, 13, 1799-1809).

Una conclusión adicional es que la alta congruencia entre la información del conjunto de validación y la información del conjunto de entrenamiento, coeficientes de correlación cercanos a 0.9 y valores de POD cercanos a 0.95, muestran un alto grado de homogeneidad en la información disponible en las estaciones y una alta representatividad de la información contenida en las series de datos del INUMET.

Durante el transcurso de la investigación, surgieron algunos problemas e ideas que precisan de una mayor exploración. Posibles líneas de trabajo futuro incluyen: i) realizar análisis diferenciados para el semestre Abril-Setiembre (estación fría) y Octubre-Marzo (estación cálida), ii) probar otras configuraciones de combinación y en particular otros métodos de interpolación como interpolación óptima o modelado de la estructura espacial mediante cópulas, iii) interpolación puntual (no en bloque) de alta resolución para mitigar los problemas encontrados frente a eventos extremos, iv) usar la distribución gamma para el modelo lineal generalizado de la etapa de regresión, v) mejorar el remuestreo de la grilla satelital, usando interpoladores más avanzados como el filtro de Lanczos y vi) explorar la combinación con distintos números de estaciones.