

VALIDACIÓN DE TRES PRODUCTOS DE PRECIPITACIÓN EN LA COSTA ECUATORIANA*

Por: Jonathan Cedeño^{1,2}

Resumen

Tres productos de precipitación con cobertura global han sido analizados para la zona costera ecuatoriana (bajo los 1350 m.s.n.m), durante el período 1964-1994, para evaluar su comportamiento y consistencia, en adición a su respuesta al ciclo estacional gobernante. Los productos de precipitación evaluados son: CRU (Climate Research Unit, University of East Anglia), GPCC (Global Precipitation Climatology Centre, Deutscher Wetterdienst), y UDEL (University of Delaware), interpolados a una grilla regular de 0.25°. El conjunto de datos de referencia escogido (INAMHI 2k) fue construido a partir del registro de 51 pluviómetros localizados en estaciones meteorológicas del litoral ecuatoriano, interpolados a una grilla de 0.25°.

El análisis se fundamenta, principalmente, en comparaciones del ciclo anual y de los totales anuales de precipitación de los conjuntos de datos por zonas de precipitación homogénea en la costa previamente definidas, usando análisis de sesgo, sesgo/error y correlación. Adicionalmente se ejecutó el test de Kruskal-Wallis sobre cada punto de grilla para evaluar las diferencias estadísticas entre esos productos y el conjunto de datos de referencia.

De forma general, los tres productos reproducen consistentemente el ciclo anual costero, sin embargo, de las comparaciones estadísticas se puede concluir que el producto GPCC es el que mejor se ajusta al régimen de precipitación observado. Además, aún cuando los tres productos de precipitación usados en este estudio son comúnmente basados en datos de precipitación provistos por los Servicios Meteorológicos e Hidrológicos alrededor del mundo, el sistema de asimilación y procesamiento de datos (que incluyen los procesos de interpolación) podrían explicar las diferencias encontradas entre los productos.

Palabras Claves: Precipitación, Costa, Ecuador, Test Kruskal-Wallis, Sesgo, Error, Ciclo Anual, Totales Anuales.

Abstract

Three precipitation products with global coverage have been analyzed for the Ecuadorian coastal zone (below 1000 m above sea level), during the period 1964-1994, to evaluate their behavior and consistency, in addition to their response to the governing seasonal cycle. The precipitation products are: CRU (Climate Research Unit, University of East Anglia), GPCC (Global Precipitation Climatology Centre, Deutscher Wetterdienst), and UDEL (University of Delaware), regridded at a regular grid of 0.25°. The reference dataset chosen (INAMHI 2k) is based on observations from 51 rain-gauges located at meteorological stations on the Ecuadorian littoral, gridded at 0.25°.

The analysis is based, principally, on comparison of the products with the observed annual cycle and total annual precipitation in previously defined homogeneous coastal precipitation zones, using bias, bias/error and correlation analyses. Additionally, a Kruskal-Wallis test was executed over every grid point to assess the statistical differences between these products and reference dataset.

Generally, the three products reproduced consistently the coastal annual cycle, however, from the statistical comparison we conclude that GPCC dataset is the one that better adjusts to the observed precipitation regime. In addition, although the three precipitation datasets used in this study are all based on rain-gauge data from National Meteorological and Hydrological Services around the world, the data assimilation and processing systems (including the interpolation procedures) could explain the differences found between the products.

Key Words: Precipitation, Coast, Ecuador, Kruskal-Wallis Test, Bias, Error, Annual Cycle, Annual Totals.

*Resumen de la tesis de grado "Validación de Tres Productos de Precipitación en la Costa Ecuatoriana", presentada el 23 de octubre del 2008, para la obtención del título de Oceanógrafo (FIMCM-ESPOL).

¹Escuela Superior Politécnica del Litoral ESPOL. P.O. Box 01-5863. Guayaquil, Ecuador.

²Instituto Oceanográfico de la Armada INOCAR. P.O. Box 5940. Guayaquil, Ecuador.

Introducción

El estudio de la variabilidad de baja frecuencia en Oceanografía y Meteorología es comúnmente limitado por la disponibilidad de series de tiempo de 30 años o de mayor duración, lo mínimo requerido para estudios climatológicos. El interés en los análisis de precipitación de largo término proviene de la necesidad de evaluar la disponibilidad de recursos de agua dulce y su manejo relacionado a uso de suelo, agricultura e hidrología, incluyendo la reducción de riesgo inundaciones y deslaves, a más de otros intereses científicos como cambio climático y su impacto en todas las escalas espaciales. Basados en estas necesidades, organizaciones nacionales e internacionales comenzaron y soportaron una gran variedad de programas de investigación, monitoreo climático y modelaje, incluyendo reanálisis y construcción de conjuntos de datos que, utilizando datos observados, a través de diversas técnicas de re-asimilación e interpolación, obtienen como “productos” series de tiempo de cerca de 40 años de duración. Dado estos antecedentes, el principal objetivo de este estudio es la validación de tres de estos productos de precipitación, y su desempeño con respecto al régimen de lluvias observado en la costa ecuatoriana.

Datos

Se tomó como base datos mensuales de precipitación en milímetros, pertenecientes a 51 estaciones meteorológicas de la zona costera (delimitada por las estribaciones occidentales de la cordillera de los Andes, hasta los 1,350 m.s.n.m). El período de evaluación fue definido para los años 1964-1994, basado en la fecha más común de inicio de los registros pluviométricos, y el estado de actualización de la base de datos disponible. Los datos fueron proveídos por el Proyecto IAI CRN-038 (Cornejo-Grunauer, 2005), suplidos a su vez por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), Dirección General de Aviación Civil (DGAC), Fuerza Aérea Ecuatoriana (FAE), Instituto Oceanográfico de la Armada (INOCAR), Comisión de Estudios para el Desarrollo de la Cuenca del Río Guayas (CEDEGE), Corporación Reguladora de Manejo Hídrico de Manabí (CRM) y por el Programa Regional para el Desarrollo del Sur (PREDESUR). Antes de la interpolación, se llevó a cabo en cada registro el proceso correspondiente de Control de Calidad, que incluyó un test de homogeneidad (Wang y Feng, 2007) basado en el t-test penalizado (Wang et al., 2007) y el F-test máximamente penalizado (Wang, 2007); los detalles de este procedimiento son dados en Cedeño (2008).

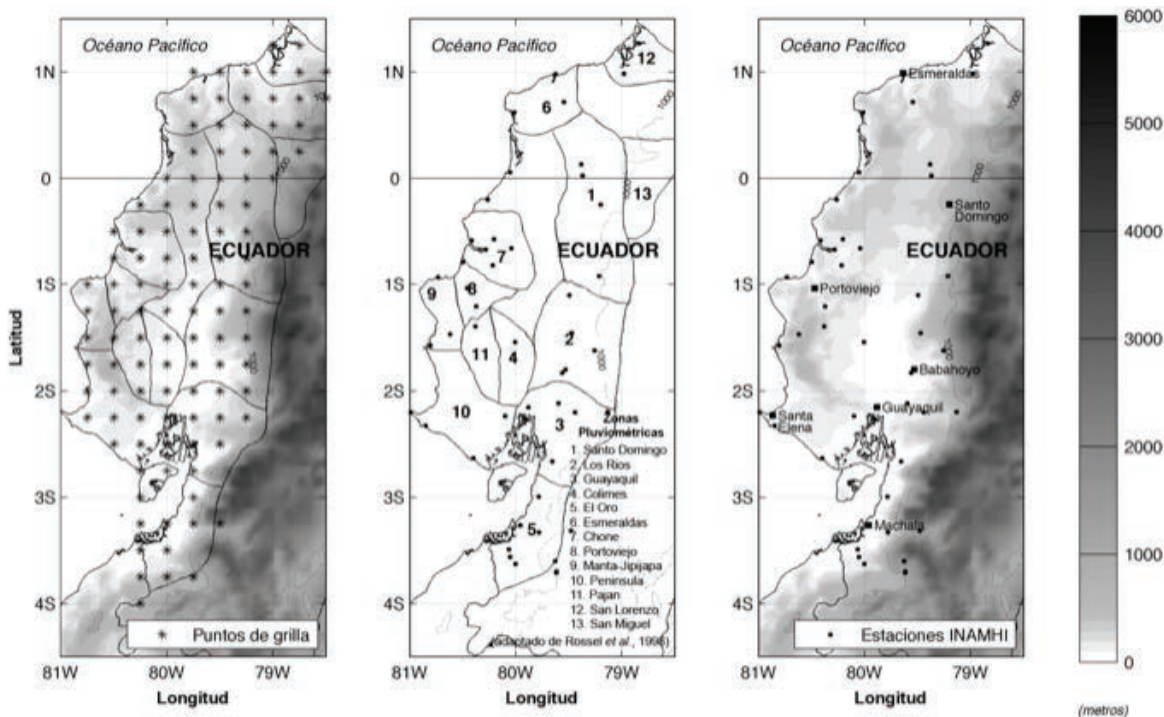


Figura 1. Ubicación de las estaciones meteorológicas con registros pluviométricos usados en este estudio (derecha). Zonas de precipitación homogénea, de acuerdo a Rossel et al., 1998 (centro). Puntos de la grilla base de 0.25° definidos para la zona costera ecuatoriana (izquierda).

Los datos de precipitación de cada estación fueron interpolados, recibiendo el nombre de INAMHI12k, el cual es usado como conjunto de datos referencial para la evaluación de los productos de precipitación. El cálculo de los promedios espaciales por cada punto de grilla consistieron en dos grandes pasos: (1) interpolación desde las estaciones al centro de cada celda ($0.5^\circ \times 0.5^\circ$ latitud/longitud) con la técnica Kriging (Deutsch y Journel, 1992), un método bien conocido para la interpolación espacial de mapas de precipitación (Bendix y Bendix, 1998); y (2) una segunda interpolación del tipo lineal (Guibas y Stolfi, 1985) a una grilla de $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ (de nuevo, al centro de cada celda). A causa de que las estaciones se encuentran en la costa, y que la máxima elevación del área de estudio es menor que 1,350 m en las estribaciones andinas y ~750 m en la cordillera costera (Figura 1), el interpolador Kriging fue ejecutado sin ninguna corrección por efecto topográfico.

La evaluación de los tres productos de precipitación corresponde al mismo período 1964-1994. El producto CRU-TS 2.1, del Climate Research Unit, Universidad de East Anglia (Mitchell y Jones, 2005), representa la quinta entrega de la serie TS (Time Series), y cubren un período extendido de 101 años (1901-2002). El producto Global Precipitation Climatology Centre GPCC Full Data Product Version 3 (Rudolf y Schneider, 2005) es la tercera versión de los Productos de Reanálisis de Datos de GPCC, y cubre 53 años de registros, desde 1951 al 2004. El Terrestrial Precipitation 1900-2006 Gridded Monthly Time Series Version 1.01 de la Universidad de Delaware UDEL (Legates y Willmott, 1990), liberado para su uso en junio del 2007, es una variante nueva y mejorada de los productos UDEL, el cual contiene 106 años de datos de precipitación, hasta el 2006.

Todos estos productos tienen cobertura global, y una resolución máxima de 0.5° , la cual en el

presente estudio fue llevada a 0.25° (27.77 km) a través de interpolación lineal, extrayéndose los valores de precipitación correspondientes a la zona costera ecuatoriana.

Metodología

El análisis está basado, principalmente, en la comparación de las diferencias de medias (también llamado sesgo), del cociente sesgo/error y de las correlaciones espacio-temporales (Bosilovich et al., 2007) del ciclo anual y de los totales anuales de precipitación entre los productos y el conjunto de datos referencial, agrupados por zonas pluviométricas definidas previamente por Rossel et al. (1998), en la cual se asume que el régimen de lluvia es homogéneo. Para la costa ecuatoriana, las zonas pluviométricas son Santo Domingo, Los Ríos, Guayaquil, Colimes, El Oro, Esmeraldas, Chone, Portoviejo, Manta-Jipijapa, Península, Paján, San Lorenzo y San Miguel (Figura 1 y Tabla 1).

Los datos fueron filtrados para su uso en el análisis regional (2) con un filtro pasa-banda Butterworth (Filtro Digital de Respuesta Infinitiva a Impulsos) para un período de 3-12 meses, removiendo de esta manera el ruido inherente a la variabilidad interanual, como la asociada a ENOS (El Niño-Oscilación del Sur). Detalles de la implementación de los algoritmos para el filtrado de las series de tiempo se encuentran en Mesquita y Halldórsdóttir (2005), y Cedeño (2008). Para los totales anuales (análisis espacial y regional), los datos de cada producto y del conjunto de datos referencial no fueron filtrados. El análisis está dividido en dos partes principales: (1) sobre cada punto de grilla (análisis espacial de los promedios de los totales anuales: su sesgo, sesgo/error y test de Kruskal-Wallis de la serie de tiempo de precipitación por estación climática) usando las series de tiempo no filtradas por punto de grilla; y (2) por región

Tabla 1. Descripción de las regiones pluviométricas de la costa ecuatoriana usadas en el análisis regional.

	NO. DE ESTACS. METEORs.*	NO. DE PUNTOS DE GRILLA	ÁREA ESTIMADA**	DENSIDAD (estaciones / 10,000km ²)	DENSIDAD (puntos de grilla / 10,000 km ²)
1 Santo Domingo	4	13	12,361.92	3.24	10.52
2 Los Ríos	5	10	5,606.18	8.92	17.84
3 Guayaquil	7	11	5,373.14	13.03	20.47
5 El Oro	6	9	4,005.08	14.98	22.47
6 Esmeraldas	2	4	3,911.00	5.11	10.23
7 Chone	5	6	4,725.22	10.58	12.70

*Número de Estaciones Meteorológicas.

**Estimada bajo un esquema de cálculo de área por polígonos basado en AutoCAD®.

(análisis regional del ciclo anual y totales anuales por zona de precipitación homogénea, y su correspondiente sesgo, sesgo/error y correlación) usando las series filtradas (para el caso del ciclo anual) y no filtradas (total anual) de los productos CRU, GPCC, UDEL e INMAH12k, respectivamente.

Para evaluar las diferencias de las series de tiempo de precipitación, por punto de grilla y por región, se usó el test de varianza no-paramétrico de Kruskal-Wallis (Conover, 1980). Las presunciones detrás de este test son que las mediciones provienen de una distribución continua entre las muestras, pero no necesariamente son normales (el régimen de precipitación en la costa ecuatoriana es comúnmente explicado por una distribución gamma o chi-cuadrado, ECLIMA, 2000). El test de Kruskal-Wallis fue ejecutado sobre cada punto de grilla en el análisis espacial, tanto para la estación lluviosa como para la seca; y por región (promedios espaciales por zonas pluviométricas), definiéndose por estación seca los meses entre mayo y noviembre, y por estación lluviosa los meses de diciembre a abril (Bendix y Lauer, 1992).

Resultados

Promedio de los Totales Anuales - Análisis Espacial

Los promedios de los totales anuales, calculados como el promedio interanual del acumulado anual de precipitación por punto de grilla, son mostrados en la Figura 2. La distribución espacial de la precipitación acumulada es consistente en todos los productos de precipitación aún cuando GPCC tiende a subestimar el total anual en San Lorenzo más que los otros productos. El promedio de los totales anuales del CRU son, de manera general, los más cercanos con respecto al conjunto referencial, aunque en el margen costero de Manabí y Esmeraldas las diferencias son negativas (~+500 mm, Figura 3a). En las estribaciones andinas centrales y su zona de influencia (regiones de Santo Domingo y Los Ríos), el GPCC reporta valores de cerca de -1250 mm/año con relación al INAMH12k. Esta situación es también cierta para un área localizada al SE de Los Ríos en el producto UDEL. Hacia el suroeste de la región de Esmeraldas, UDEL muestra valores de sesgo de -1200 mm, en contraste con lo encontrado en el norte de Esmeraldas (+375 mm). El cociente sesgo/error complementa los resultados encontrados en el sesgo, determinando diferencias apreciables en el producto CRU en el margen costero desde la punta de San Lorenzo, en Manabí, hasta la ciudad de Esmeraldas (valores de -1.5). En el resto

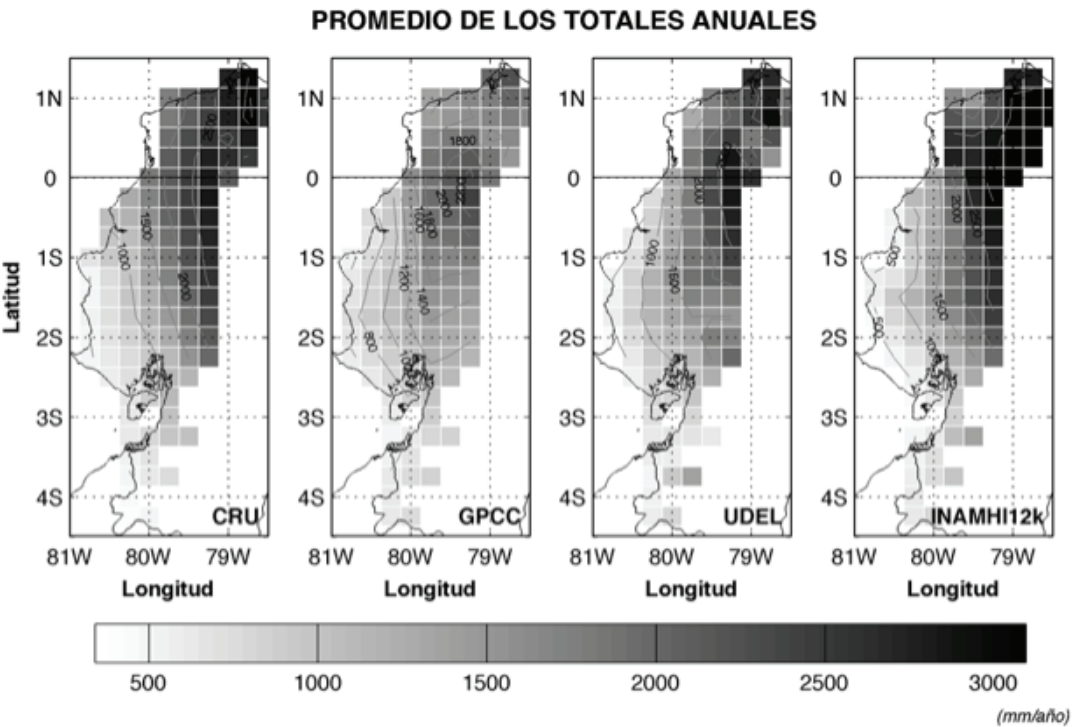


Figura 2. Promedio de los totales anuales de precipitación para cada uno de los productos evaluados y el INAMH12k, en mm/año (adaptado de Cedeño y Cornejo-Grunauer, 2008).

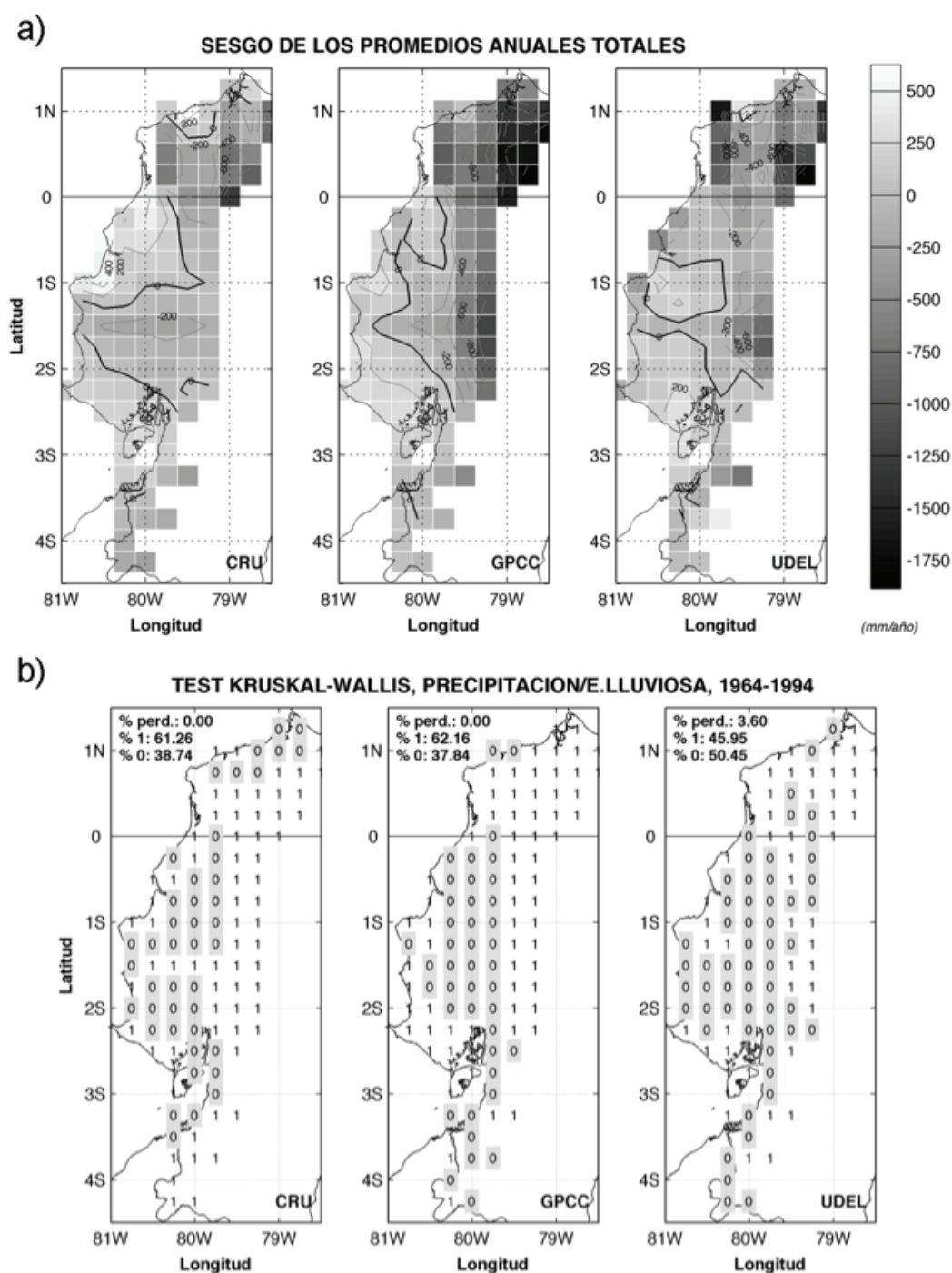


Figura 3. Sesgo de los promedios de los totales anuales entre los productos de precipitación e INAMHI12k (a) y Test de Kruskal-Wallis para las series de tiempo de precipitación para la estación lluviosa. Las áreas en donde la hipótesis nula (H_0 : las medias son iguales) es rechazada, es marcada con unos (1). El porcentaje de aceptación/rechazo de la hipótesis nula es indicada en el extremo superior-izquierdo de cada panel, así como el porcentaje de área en el cual el test de Kruskal-Wallis no fue ejecutado.

de la costa se puede apreciar que el sesgo/error oscila entre -1.5 y 1.5, a excepción de la región de San Miguel, que alcanza +2.5. GPCC obtuvo valores de sesgo/error altos en las estribaciones andinas (+2) y en el perfil costero de las regiones de Santa Elena y Chone, y en el área del golfo de Guayaquil (menores a -1.5); mientras que

la distribución de este cociente en UDEL es, a grandes rasgos, similar a la del CRU. Los mayores valores de sesgo/error de este producto son apreciadas en El Oro (-2), Chone (-1.5) y San Miguel (+3).

El test de Kruskal-Wallis empleado sobre las series de tiempo de precipitación confirman los

resultados previos. En la estación lluviosa, para los productos CRU y GPCC, el 60% del área en estudio no presenta diferencias significativas con respecto a INAMHII2k, siendo para ambos casos el litoral interno el área en la que falla su representación (y en el caso del GPCC, de manera más puntual, Esmeraldas, Figura 3b). En la estación seca, los resultados del test no son del todo concluyentes ya que los valores sobre los cuales se trabaja son muy cercanos al cero, teniendo un margen de decisión muy reducido.

Ciclo Anual - Análisis Regional

Se muestran resultados de seis de las doce regiones pluviométricas analizadas, las cuales han sido definidas con datos de dos o más estaciones meteorológicas (Tabla 1). Estas regiones son: Guayaquil y El Oro (7 registros cada uno), Los Ríos y Chone (5 registros cada una), Santo Domingo (4 registros) y Esmeraldas (2 registros).

En las regiones de Santo Domingo y Los Ríos, el ciclo anual se ubica dentro de una desviación estándar bajo el promedio con respecto al INAMHII2k. Pese a ello, si se comparan el sesgo y el cociente sesgo/error, las diferencias obtenidas de los productos con respecto al conjunto de datos referencial entre las distintas regiones son consistentemente más altas que en el resto. Para estas dos regiones, el sesgo marca como máximo ~ 100 mm en la estación lluviosa, siendo los productos UDEL y CRU los que mejor representan los regímenes del ciclo anual. Aún cuando CRU mantiene los valores de sesgo y sesgo/error más bajos, la correlación con respecto al conjunto de datos patrón es sostenidamente más baja que los otros productos, y en la gran mayoría de los casos, no es siquiera significativa al nivel de confianza propuesto (95%, Figura 4).

Para el resto de regiones, los productos exhiben un ajuste casi perfecto; en los cuales el cociente sesgo/error oscila entre ± 0.5 , siendo el GPCC y CRU los que ajustan mejor al ciclo anual del conjunto de datos referencial. En estas regiones, los valores de correlación del GPCC y UDEL se encontraron entre 0.8 y 1, teniendo el producto CRU similar desempeño que en las regiones 1 y 2 (esto es, bajas correlaciones).

En Esmeraldas el ajuste de los productos al ciclo anual patrón de INAMHII2k mejoró cuando se eliminaron los puntos de grilla correspondientes

a Muisne y su área circundante, siendo GPCC y CRU quienes mejor representan el ciclo anual en esta región.

Una característica común del producto CRU dentro del ciclo anual fue su pobre desempeño en el análisis de correlación. Es casi una constante las bajas correlaciones y, como se lo mencionó anteriormente, que en la mayoría de las regiones estas no sean estadísticamente significativas.

Totales Anuales - Análisis Regional

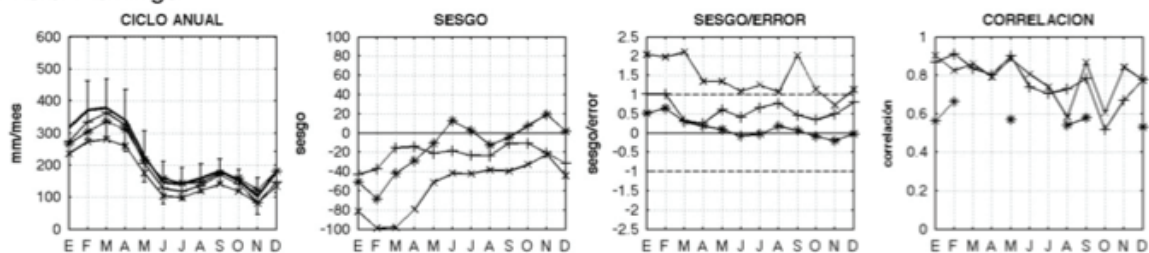
En las regiones de Guayaquil, El Oro y Chone, el total anual de los productos de precipitación reportan valores de sesgo/error cercanos a 0 (para Guayaquil, el GPCC subestimó lluvia en valores promedios a -62 mm, que en términos de sesgo/error equivale a ~ 3). A excepción de la región de Guayaquil, en donde se anotó que GPCC subestima lluvia, se considera que los productos UDEL y GPCC ajustan mejor al total anual de precipitación observado.

En las regiones de Santo Domingo y Los Ríos, el CRU obtuvo el menor sesgo y sesgo/error, aún cuando este producto subestima el total anual en cerca de -124.5 mm promedio. En contraste, los otros dos productos subestiman en promedio -300 mm (UDEL) y -650 mm (GPCC), valores que oscilan de manera general entre ± 1 en el cociente sesgo/error, a excepción de los años 1982 y 1987 (Figura 5).

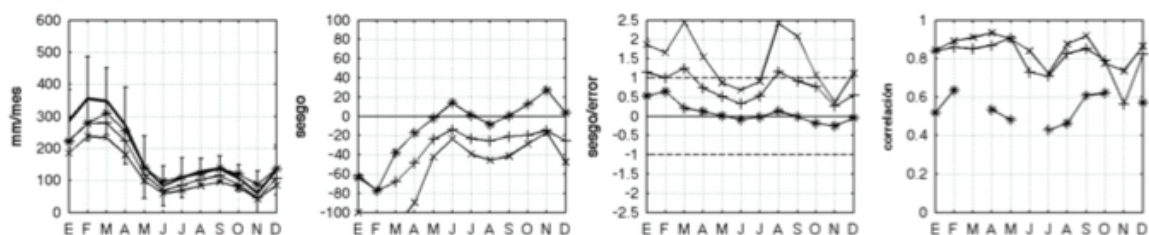
Para Esmeraldas, UDEL y GPC representaron de mejor manera los totales anuales (los valores de sesgo oscilaron más cercanamente al cero, acumulando menos sesgo/error).

El análisis de correlaciones mostró resultados similares con respecto al ciclo anual, en donde las correlaciones de los productos GPCC y UDEL tendieron a uno en gran parte de los casos (se nota como una constante que en la década de los 80s la correlación tiende a bajar, para ubicarse en 0.8). Así mismo, CRU mantiene correlaciones significativamente más bajas que sus pares, siendo en algunos años no significativa al 95% de confianza (la línea que lo representa es entrecortada). Otra característica del CRU es que en los años 1983, 1986 y 1987, éste producto muestra picos extremos que no se reflejan en los datos observados (esto es particularmente cierto para las regiones de Los Ríos, Guayaquil, El Oro y Chone).

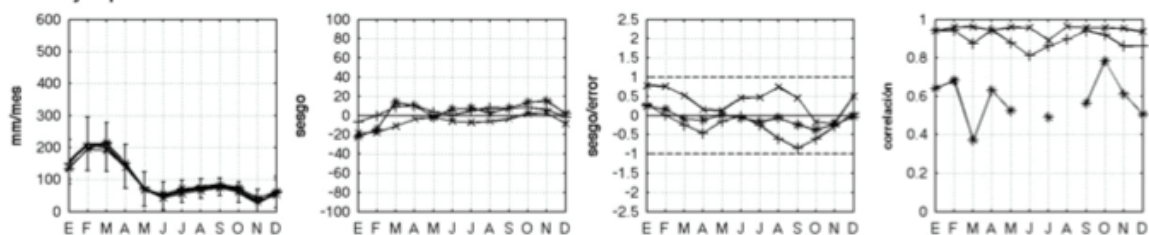
a) 1 Sto. Domingo



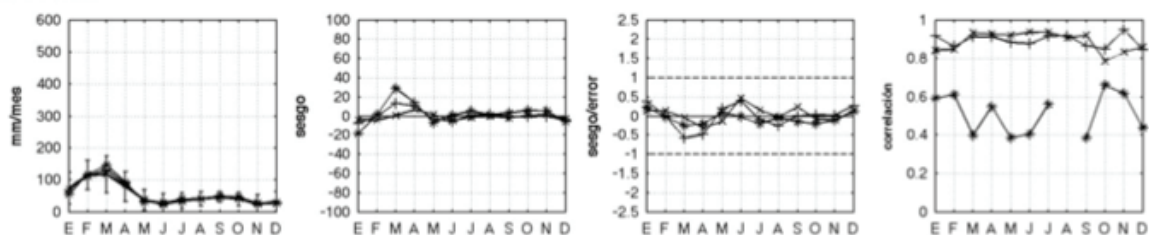
b) 2 Los Ríos



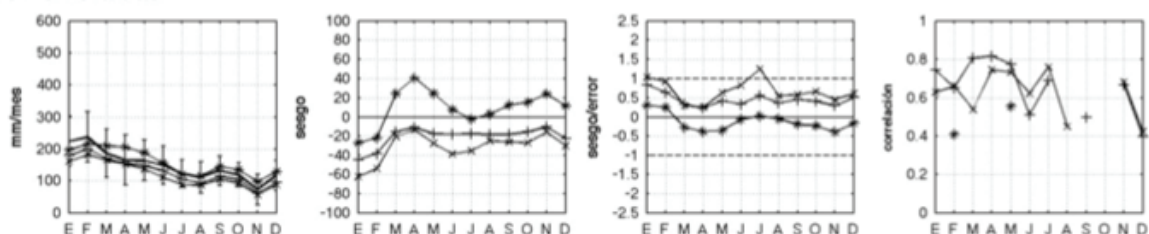
c) 3 Guayaquil



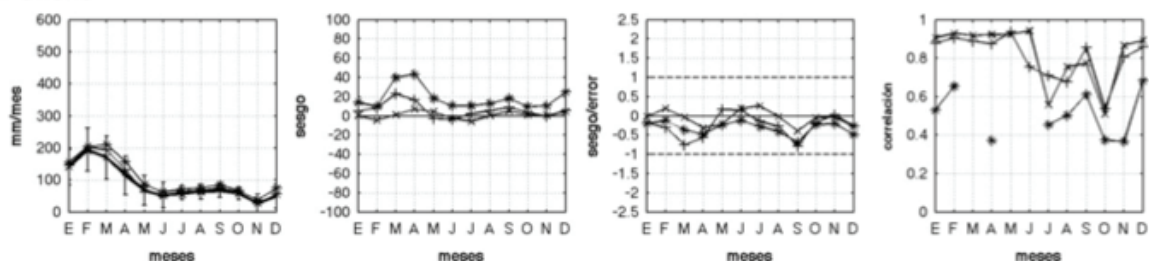
d) 5 El Oro



e) 6 Esmeraldas



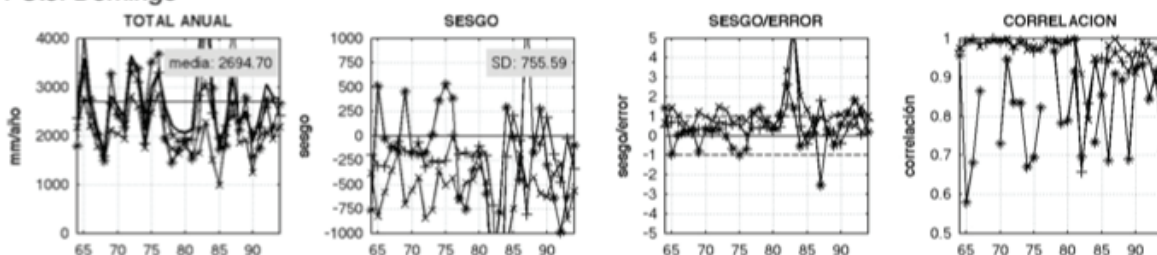
f) 7 Chone



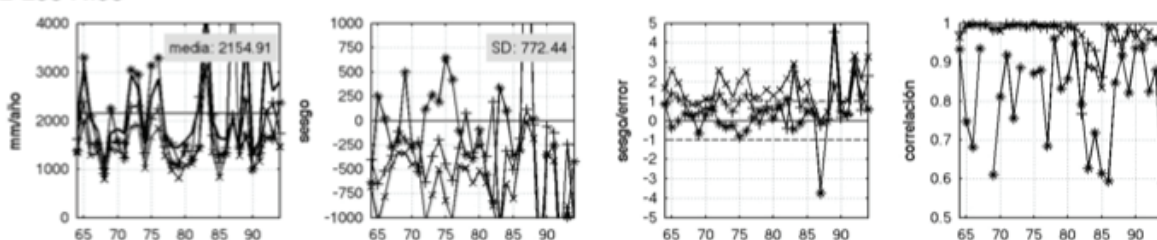
* CRU * GPCC + UDEL — INAMHI12k

Figura 4. Ciclo Anual, Sesgo, Sesgo/Error y Correlación ($\alpha = 0.05$) para las regiones especificadas. En el Ciclo Anual se muestra además las barras de error para una desviación.

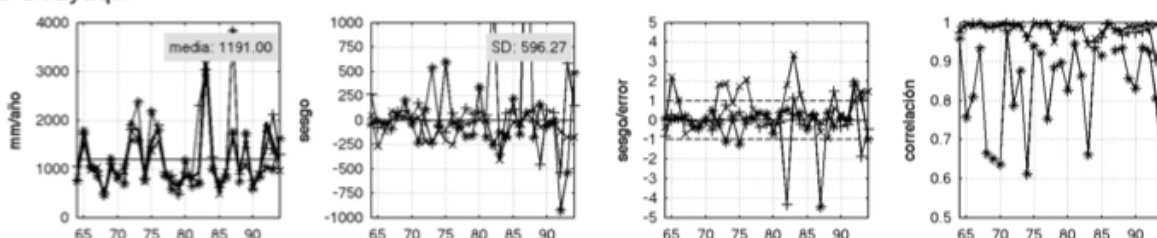
a) 1 Sto. Domingo



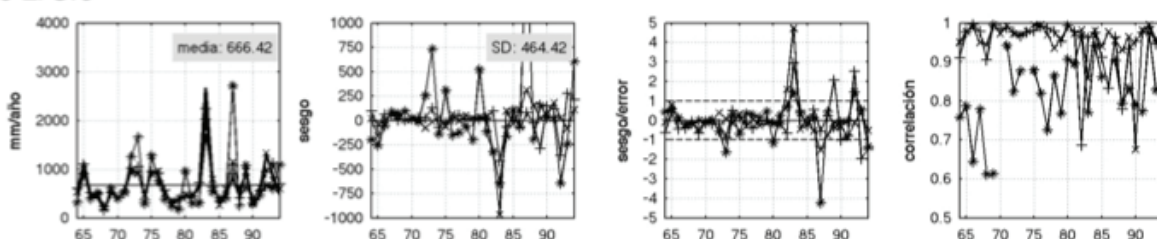
b) 2 Los Ríos



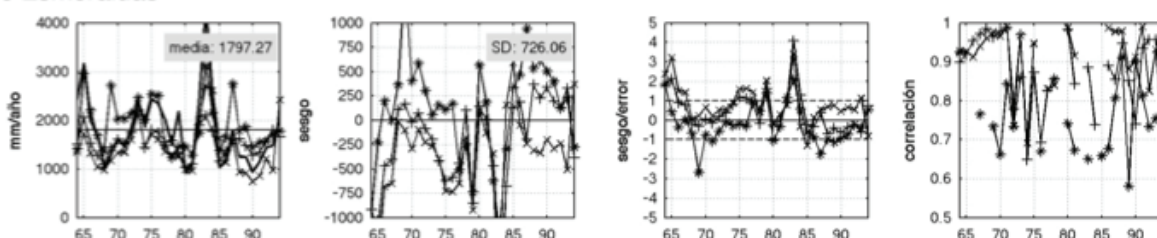
c) 3 Guayaquil



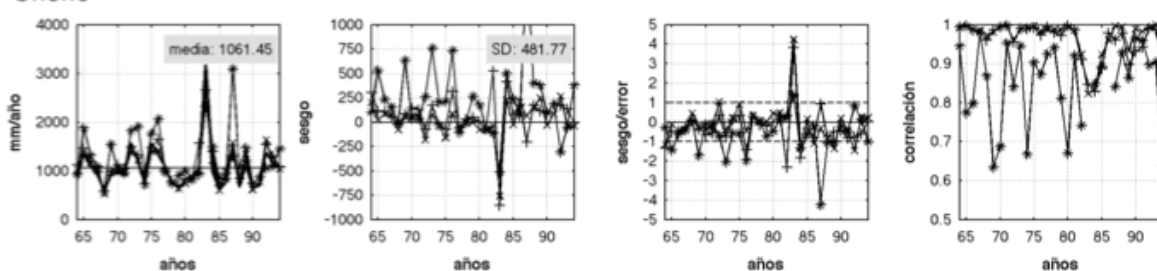
d) 5 El Oro



e) 6 Esmeraldas



f) 7 Chone



—*— CRU —x— GPCC —+— UDEL ——— INAMHI12k

Figura 5. Totales Anuales, Sesgo, Sesgo/Error y Correlación ($\alpha = 0.05$) para las regiones especificadas. Se muestran también los valores promedios y de desviación estándar del total anual patrón (INAMHI12k).

Conclusiones

- Las regiones propuestas por Rossel et al. (1998) fallan en su representación del régimen de precipitación en las regiones de Esmeraldas y Península. Las estaciones que permitieron detectar estas inconsistencias fueron Muisne (región Esmeraldas) y Chongón (región Guayaquil). Muisne revela un régimen pluviométrico que es más cercano a San Lorenzo que a la región de Esmeraldas; y Chongón con Guayaquil, en detrimento de la región de la Península. A causa de esto, Chongón y su área de influencia, los datos fueron re-dirigidos a Guayaquil, y Muisne no fue tomado en cuenta en el análisis regional y espacial (basado en el hecho de que la distribución del total anual de precipitación de la región más cercana no explica el régimen de Muisne; INAMHI, 1996 e INAMHI, 2006).

- Es necesario efectuar un estudio detallado de la calidad de datos y régimen pluviométrico asociados a la estación meteorológica Muisne (provincia de Esmeraldas). En precipitación, se ha detectado inhomogeneidades durante la década de los 80s, pero no existe un criterio unificado acerca de cómo reconstruir la serie de tiempo y de la certeza del registro durante el espacio de tiempo más estable de la serie.

- El producto que mejor ajusta el régimen de precipitación en la costa ecuatoriana, de manera general, es el GPCC. En las regiones de Esmeraldas y San Lorenzo, el CRU presentó menores valores de sesgo, aún cuando en el análisis de correlación muestra sistemáticamente, en todas las regiones, valores bajos, y en algunos casos, no significativos (95%).

- En el análisis espacial, los resultados sugieren que la topografía puede jugar un papel activo en la explicación del sesgo en los totales anuales. Las regiones en la cual la H_0 es rechazada está mayormente asociada con las estribaciones andinas.

- Ninguno de los productos usan un algoritmo de interpolación que toma en cuenta el efecto de elevación, a pesar de que la evidencia muestra que la precipitación en los trópicos dependen de varios factores, entre ellos, la altitud.

- Los ciclos anuales en las regiones pluviométricas escogidas fueron reproducidos consistentemente, a pesar de las diferencias reportadas. La variabilidad interanual, vista a través de los totales anuales, tiene un considerable sesgo asociado en las regiones de San Lorenzo,

Esmeraldas, Los Ríos y Santo Domingo, siendo éstas regiones las que muestran menor densidad de información base (Tabla 1).

- El bajo desempeño del producto CRU puede ser explicado por el sistema de re-procesamiento de datos. La construcción de los campos de precipitación en el CRU usa una metodología basada en la conversión de los valores de precipitación en anomalías para, en un paso final, reconvertir a valores absolutos la grilla de anomalías interpoladas a través de la combinación de éstas con las normales de 1961-1990. Este proceso de conversión resulta, en algunos casos, en una substancial pérdida de datos (Mitchell y Jones, 2005). En contraste, GPCC y UDEL tienen un esquema más tradicional de procesamiento de datos (aún cuando UDEL usa un esquema de interpolación ayudado por climatología CAI, Climatological-Aided Interpolation, que trabaja sobre valores absolutos de precipitación.

- A partir de la validación de estos productos, y del mejor criterio de elección basado en los resultados obtenidos en este estudio, se esperaría que la comunidad que usualmente es usuaria de datos de precipitación (desde planificadores de políticas gubernamentales, tomadores de decisión, ingeniería y diseño de estructuras: hasta científicos en el área de hidrología, climatología y variabilidad climática) usen estos productos, beneficiándose de las ventajas que ofrecen, como: acceso sin restricciones, cobertura espacio-temporal, y resolución. Así mismo, esta metodología puede ser aplicada para otros estudios de validación de diferentes conjuntos de datos y de reanálisis, así como para mejorar el esquema de asimilación de datos en una escala reducida.

Agradecimientos

Se agradece la colaboración de María del Pilar Cornejo-Grunauer, profesora de la Fac. de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar de la ESPOL, y directora del centro CADS-ESPOL; por su invaluable contribución a que ésta investigación llegue a buen término, en su calidad de directora de tesis. A Verónica Ruiz (ESPOL) por las aproximaciones estadísticas; a Gonzalo Ontaneda (INAMHI) por el acceso a los registros de metadata de las estaciones meteorológicas enlistadas en este estudio, a Telmo De la Cuadra (INP), ambos por sus valiosos comentarios aportados en las diversas etapas de desarrollo del estudio. Un reconocimiento especial a las oficinas

de INAMHI Quito e INAMHI Guayaquil por los criterios emitidos en torno a la estación M-153 Muisne, así como por la provisión parcial de datos de precipitación de la región costera. Este trabajo fue realizado con el soporte del Proyecto 4 "Sistemas de Manejo Ambiental en Acuicultura y Agricultura" del programa VLIR-ESPOL, y por la Escuela Superior Politécnica del Litoral ESPOL.

Referencias

- Bendix J. y A. Bendix (1998).** *Climatological Aspects of the 1991/1992 El Niño in Ecuador.* Bull. Inst. fr. Études Andines 27(3), 655-666.
- Bendix, J. y W. Lauer (1992).** *Die Niederschlagsjahrszeiten in Ecuador und Ihre Klimadynamische Interpretation.* Erdkunde 46, 118-134.
- Bosilovich M.G., J. Chen, F.R. Robertson y R.F. Adler (2007).** *Evaluation of Global Precipitation in Reanalyses.* Proc. 21st Conference on Hydrology, San Antonio, TX, January, 2007.
- Cedeño J. (2008).** *Validación de Tres Productos de Precipitación en la Costa Ecuatoriana.* Tesis de Grado en Oceanografía, FIMCM-ESPOL, Guayaquil.
- Cedeño J. y M.P. Cornejo-Grunauer (2008).** *Evaluation of Three Precipitation Products on Ecuadorian Coast.* Presented as Poster at 3rd World Climate Research Program WCRP International Conference on Reanalyses, Tokyo, Japan. January 2008.
- Conover W.J. (1980).** *Practical Nonparametric Statistics.* 2nd Ed., J. Wiley & Sons, New York.
- Cornejo-Grunauer M.P. (2005).** *Final Report of IAI CRN-038 "Multi-Objective Study of Climate Variability for Impact Mitigation in the Trade Convergence Climate Complex" Project.* Tech. Report, ESPOL, Guayaquil.
- Deutsch, C.V., y A.G. Journel (1992).** *GSLIB - Geostatistical Software Library and User's Guide,* Oxford University Press, New York, 338 pp.
- ECLIMA (2000).** *Distribución de la Precipitación.* Disponible en: <http://www.fimcm.espol.edu.ec/Webpages/Eclima/investigacion/rainfall.htm>
- Guibas, L., y J. Stolfi (1985).** *Primitives for the Manipulation of General Subdivisions and the Computation of Voronoi Diagrams.* ACM Transac. Graph. 4(2), 74-123.
- INAMHI (1996).** *Anuario Meteorológico 1995,* 35. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología INAMHI. Quito.
- INAMHI (2006).** *Anuario Meteorológico 2005,* 45. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología INAMHI. Quito.
- Legates D.R. y C.J. Willmott (1990).** *Mean Seasonal and Spatial Variability in Gauge-Corrected, Global Precipitation.* Intl. J. Climatol. 10, 111-127.
- Mesquita M. y S. Halldórsdóttir (2005).** *Data Analysis: Filtering, Crosscorrelation, Coherence and Applications to Geophysical Data using MATLAB.* Tech. Report, University of Bergen, Bergen.
- Mitchell T. y P. Jones (2005).** *An Improved Method of Constructing a Database of Monthly Climate Observation and Associated High-Resolution Grids.* Intl. J. Climatol. 25, 693-712.
- Rossel F., R. Mejia, G. Ontaneda, R. Pombosa, J. Roura, P. Le Goulven, E. Cadier y R. Calvez (1998).** *Régionalisation de l'influence du Niño sur les précipitations de l'Equateur.* Bull. Inst. fr. Études Andines 27(3), 819-827.
- Rudolf B. y U. Schneider (2005).** *Calculation of Gridded Precipitation Data for the Global Land-Surface using in-situ Gauge Observations.* Proc. 2nd Workshop of the International Precipitation Working Group IPWG, Monterey October 2004, EUMETSAT, ISBN 92-9110-070-6, ISSN 1727-432X, 231-247.
- Wang X.L. (2007).** *Penalized maximal F-test for detecting undocumented mean-shifts without trend-change.* J. Atmos. Oceanic Tech., accepted.
- Wang X.L., Q.H. Wen, y Y. Wu (2007).** *Penalized maximal t-test for detecting undocumented mean change in climate data series.* J. Appl. Meteor. Climatol. 46(6), 916-931. DOI:10.1175/JAM2504.1
- Wang X. L. y Y. Feng (2007).** *RHtestV2*
User Manual. Disponible en: <http://cccma.seos.uvic.ca/ETCCDMI/software.shtml>