

Sistema de monitoreo para evaluar la disponibilidad de agua y evolución de los impactos asociados al cambio climático en la parte alta de la cuenca del río Guayllabamba y en las microcuencas Papallacta y Antisana



RED DE ESTACIONES
HIDROMETEOROLÓGICAS
PROPUESTA DE
ESTANDARIZACIÓN
INFORMACIÓN
HIDROMETEOROLÓGICA



COMUNIDAD
ANDINA
SECRETARIA GENERAL



Por favor citar este documento como se indica a continuación:

(SGCA, PE) / (BM, US) / (GEF, US) / (MAE/PRAA, EC) / (FONAG, EC). 2011. Sistema de monitoreo para evaluar la disponibilidad de agua y evolución de los impactos asociados al cambio climático en la parte alta de la cuenca del río Guayllabamba y en las microcuencas Papallacta y Antisana. Propuesta y desarrollo de estandarización de la información hidrometeorológica. Quito, EC. 25 p.

Red de Estaciones Hidrometeorológicas

Propuesta y desarrollo de estandarización de la información hidrometeorológica

A. G. Muñoz y W. Torres.

Junio del 2012

Quito - Ecuador, Enero 2012

Equipo de Trabajo:

Xavier Yépez, coordinador del equipoNewVi / especialista informático.

Ángel Muñoz, asesor en cambio y variabilidad climáticos.

Daniela Rosero, especialista en caudales ecológicos.

Xavier Coello, especialista hidrólogo.

Fiscalización:

Jacqueline Cisneros, Coordinadora Programa Gestión del Agua – FONAG

Instituciones que contribuyeron:

Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE)

Proyecto de Adaptación al Impacto del Retroceso Acelerado de Glaciares en los Andes Tropicales (PRAA)

Proyecto de Adaptación al Cambio Climático a través de una Efectiva Gobernabilidad del Agua (PACC)

Fondo para la Protección del Agua (FONAG)

Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento (EPMAPS)

Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI)

Empresa Eléctrica Quito (EEQ-SA)

Contenido

Introducción	1
Homogeneización	8
Conclusiones y Recomendaciones	13
Referencias.....	14
ANEXOS.....	16
Listado de imágenes	19

Introducción

El contar con una única red de vigilancia hidrometeorológica, administrada bajo parámetros y protocolos estándar que garanticen su confiabilidad a la hora de hacer análisis, facilita el manejo de este tipo de información y hace posible compartirla horizontalmente entre todas las instituciones involucradas.

En el presente documento se presentan los resultados del empleo de la metodología sugerida para la estandarización de la información hidrometeorológica disponible para las microcuencas de Pita, San Pedro, Papallacta, Antisana y cuenca alta del río Guayllabamba. La misma se ha llevado a cabo para todos los datos disponibles, en existencia y en producción hasta el momento. Un total de 168 estaciones pertenecientes a distintas instituciones (i.e. FONAG, INAMHI, EPMAPS, IRD, INAMHI-IRD, CARE, INERHI, Hidroequinoccio y HCJB), cada una manejando un formato de datos en general diferente, fueron estandarizadas en este trabajo. Por estandarización, como se detalla en las siguientes páginas, se entiende tanto el proceso de control de calidad como el de homogeneización de las series de tiempo.

Se discuten en este documento los fundamentos, datos disponibles y metodología llevada a cabo, y se anexan tanto las figuras de homogeneización para todas y cada una de las estaciones y variables consideradas como los propios archivos de datos (formato electrónico ASCII).

Toda la información está disponible al público en el portal FONAG_GIS (<http://186.66.127.99:8082/fonagiis/index.swf>).

Estandarización de los Datos: Generalidades

Antes de proceder con cualquier análisis, es menester garantizar que la información provista por instrumentación hidrometeorológica posee un adecuado control de calidad y que las series de tiempo de las estaciones/celdas a analizar estén homogeneizadas. La Organización Mundial de Meteorología [OMM, 2002] recomienda evaluar rutinariamente el control de calidad y la homogeneidad de las series de tiempo.

El objetivo último consiste en poder garantizar que las series de tiempo de las distintas estaciones efectivamente estén representando señales asociadas al sistema climático

en la zona correspondiente, y que no se deben a ruido insertado por otras causas (e.g. errores de medición, humanos, desplazamiento de la estación, cambio del medio circundante a la estación, etc.).

Aunque existe un debate importante hoy en día sobre cuáles son los métodos idóneos o estándares para llevar a cabo el proceso mencionado en el párrafo anterior [Aguilar *et al.*, 2003], sí existe consenso en que la información disponible debe siempre pasar por un estricto *control de calidad* y, en los casos requeridos, por un proceso de *homogeneización* de las series temporales. En ambos casos, se aplica primero una serie de pasos para la *detección* de errores de diverso tipo en los datos y de falta de homogeneidad en las series, y posteriormente y si fuera posible, para la *corrección* de la información.

Estaciones y Datos del Proyecto

Según los datos suministrados para realizar este trabajo a la fecha de su elaboración (2012) en la zona de estudio operan diferentes redes de vigilancia que atienden a objetivos institucionales específicos de acuerdo al interés de cada uno de los administradores. Específicamente en la región que involucra a la zona de interés y un vecindario que le circunda, se tienen 24 estaciones hidrológicas y 144 meteorológicas (ver Figura 1), las últimas no sólo incluyendo información de precipitación y temperaturas, sino también variables adicionales de interés (e.g. humedad relativa, vientos, radiación solar).

Específicamente en el área de estudio (Microcuencas Pita, San Pedro, Papallacta, Antisana) se tiene 50 meteorológicas y 11. Se espera que estos números se incrementen con el tiempo y que las organizaciones que las implementen cumplan con los parámetros y protocolos exigidos por la OMM y además que amparen sus procesos con los estándares del INAMHI, como se ha ejecutado en estos estudios liderados por el FONAG.

Para este trabajo, el total de las 168 estaciones pertenecientes a FONAG, INAMHI, EPMAPS, IRD, INAMHI-IRD, CARE, INERHI, Hidroequinoccio y HCJB, fueron estandarizadas. Para los detalles referentes a las estaciones analizadas, ver *Anexo 1*.

Los formatos de datos en general se presentaron de modo diferente por cada institución (y en ocasiones inclusive dentro de la misma institución), por lo que fue

primeramente necesario transformar todos los formatos a uno estándar, que correspondió al de entrada del paquete RHTest, discutido más adelante en este documento.

Una vez en el formato correcto, se procedió a llevar a cabo el control de calidad , detección de homogeneidades y correcciones en los casos posibles, según se explica en las siguientes secciones.

Control de Calidad

Los procesos de control de calidad se aplican para detectar e identificar los errores que ocurren durante la adquisición, manipulación, formato, transmisión y archivo de los datos [Aguilar *et al.*, 2003]. Naturalmente, es importante conocer los procedimientos que se han aplicado en cada caso, en aras de considerar adecuadamente la validez de las observaciones y llevar a cabo las correcciones necesarias.

En el conjunto de metadatos de las estaciones, debería especificarse si las mismas tienen o no un proceso de control de calidad sobre sus datos, y en caso positivo, debería haber información adicional sobre qué tipo de control se llevó a cabo. Típicamente estos incluyen [Aguilar *et al.*, 2003]:

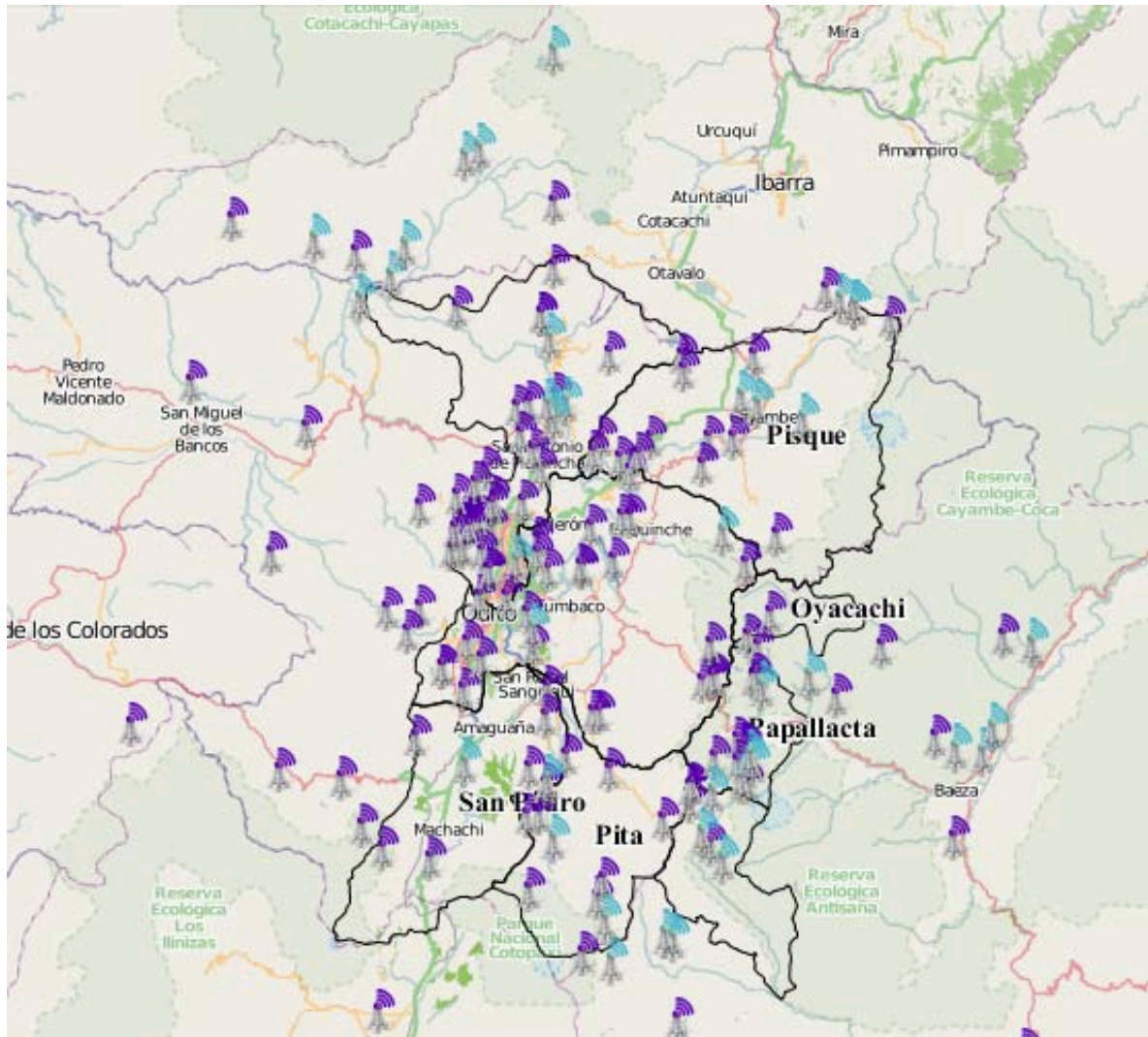


Figura 1. Ubicación de las estaciones procesadas en este trabajo. Las indicadas en violeta corresponden a las meteorológicas, y las celestes a las hidrológicas.

- Filtros locales
- Coherencia interna
- Consistencia espacial con estaciones vecinas similares
- Coherencia con valores climatológicos
- Otros

Entre las técnicas más comunes para el control de calidad se cuentan:

1. Chequeo grueso de errores: se emplean banderas especiales para señalar errores obvios en los datos (e.g. valores imposibles, anómalos, probables errores de tipeo, precipitación<0).

2. Pruebas de tolerancia: diseñadas para detectar valores atípicos tras definir límites climatológicos en la serie de tiempo analizada.
3. Chequeo de consistencia interna: como por ejemplo, valores en los que la temperatura máxima < temperatura mínima.
4. Prueba de coherencia temporal: para verificar si la variabilidad observada de una observación a la siguiente se encuentra dentro de un límite característico para la estación (análisis de saltos anómalos en los datos).
5. Chequeo de coherencia espacial: con el objeto de verificar si el comportamiento de las observaciones son consistentes con las reportadas al mismo tiempo por otras estaciones similares en un vecindario espacial dado.

En este trabajo se hizo uso, primeramente, del paquete *RClimdex* del ExpertTeam on Climate Change Detection and Indices –ETCCDI-, el cual posee un módulo de control de calidad de datos, que consiste en una serie de pruebas para garantizar que las variables no posean magnitudes en la serie que se consideren "no permisibles" en el sentido explicado recientemente.

Adicionalmente, se hizo uso de una serie de programas escritos por Enric Aguilar (Centre for Climate Change, C3) y Marc Prohom (Servei Meteorològic de Catalunya), quienes han mejorado el código original de *Rclimdex* para llevar a cabo un control de calidad más minucioso que el que trae el paquete básico [Aguilar *et al.*, 2009]. El procedimiento está explicado en detalle en el manual escrito por Enric Aguilar, Javier Sigró y Manola Brunet, del C3 [Aguilar *et al.*, 2009]. Los pasos operativos pueden consultarse en el Wiki del

Observatorio Latinoamericano de Eventos Extraordinarios (OLE²), puesto a disposición del público por el Centro de Modelado Científico (CMC) en el url correspondiente [Muñoz, 2011].

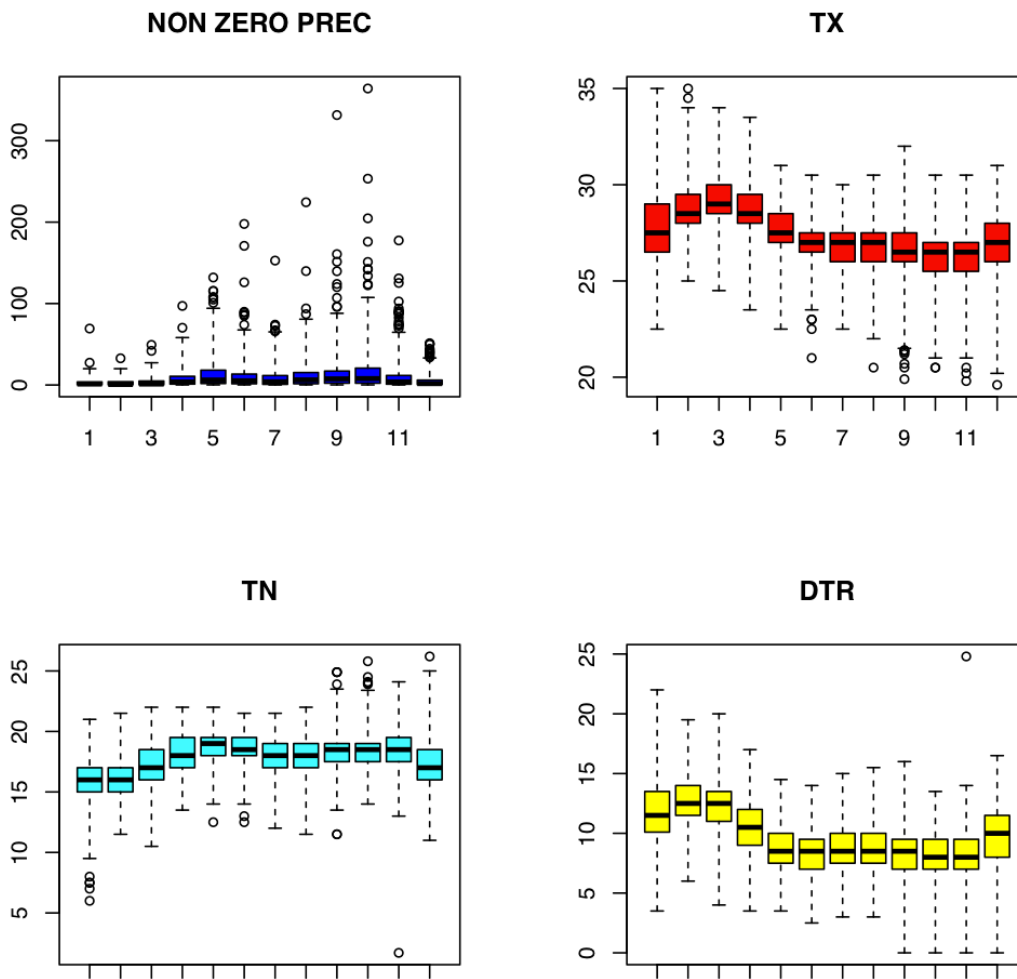


Figura 2. Boxplots con la serie mensual multianual de precipitación no nula (PREC), temperatura máxima (TX), temperatura mínima (TN) y rango diurno de temperatura (DTR). Los valores en círculos vacíos corresponden a valores atípicos.

Para ilustrar el tipo de resultados que se obtienen con estos paquetes, las Figuras 2 y 3 muestran boxplots típicos para series mensuales multianuales y series multianuales, respectivamente, para precipitación no nula (PREC), temperatura máxima (TX), temperatura mínima (TN) y rango diurno de temperatura (DTR). Los círculos vacíos representan valores atípicos detectados en el proceso de control de calidad de cada serie, que deben ser revisados por el analista para verificar si se trata de un evento extremo real o de errores propiamente dichos.

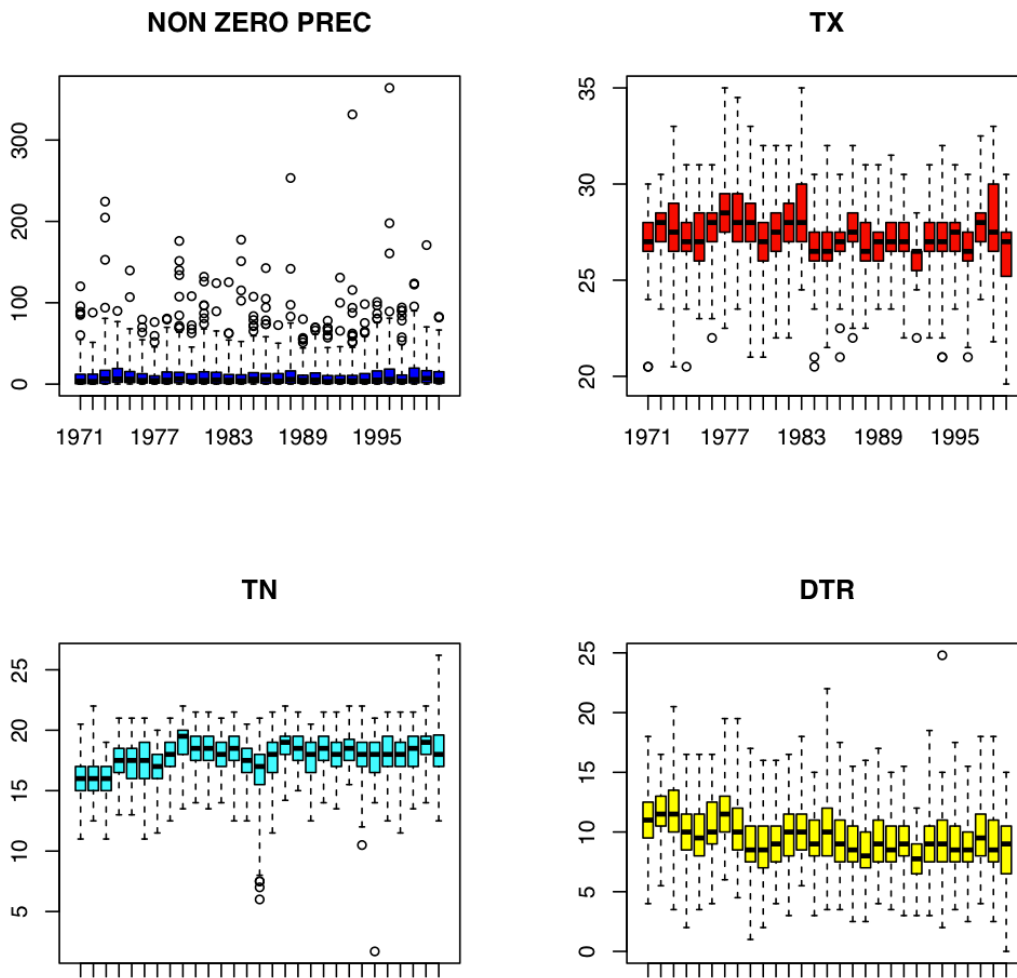


Figura 3. Igual que en la Figura 2, pero para series anuales.

Con estas herramientas (las figuras y los archivos de texto con información sobre los distintos filtros llevados a cabo por el paquete de software, ver [Aguilar *et al.*, 2009]) es fácil percatarse rápidamente de valores sospechosos, que requieren de una inspección detallada por parte del analista y, según el caso, de una corrección. Para detalles adicionales sobre el procedimiento de control de calidad, consultar [Aguilar *et al.*, 2009; Muñoz, 2011].

Una vez realizado el control de calidad de las estaciones, y siempre manteniendo el mismo formato estándar de escritura de los datos de modo que sea posible introducirlos en el siguiente paquete, se procedió al estudio de homogeneización, cuyos detalles se describen a continuación.

Homogeneización

Una vez garantizada la calidad de la data, puede procederse con la detección de inhomogeneidades y, en los casos posibles, con la homogeneización de las series de tiempo. El objeto de este proceso es, en resumen, el reconocimiento de discontinuidades no naturales (i.e. no asociados a señales climáticas reales) en las observaciones, y la correspondiente corrección si fuera posible.

La homogeneidad en los datos climáticos es indispensable para poder llevar a cabo un análisis fidedigno y para cualquier uso posterior de los mismos en un modelo hidrológico. Naturalmente, antes de realizar este proceso debe de haberse realizado primero el control de calidad. Para la caracterización de las tendencias hidrológicas y climáticas, así como de su variabilidad a múltiples escalas en el área de estudio en cuestión, resulta fundamental disponer de series de tiempo homogeneizadas. La presencia de discontinuidades en los datos está frecuentemente producida por cambios inevitables de la ubicación de la estación, o del observador mismo, o en los procedimientos de medición o tipo de instrumentación. Algunos de estos cambios artificiales están documentados en los metadatos mientras que otros no. Cuando se tiene evidencia de estas modificaciones, puede procederse a homogeneizar las series claramente con metodologías sugeridas por [Vincent *et al.*, 2002; Menne y Williams 2005; DeGaetano, 2006; Wang, 2006; Wan et al. 2007]. Es por ello importante que en la medida de lo posible siempre estén reflejados en la metadata de la estación. Sin embargo, es frecuente también la ausencia de metadatos indicando estos cambios, de modo que diversos métodos estadísticos se han diseñado para detectarlos (ver por ejemplo [Lund y Reeves 2002; Wang, 2003, 2008; Caussinus y Mestre 2004; Wang *et al.*, 2007] y referencias ahí citadas).

Si bien no hay consenso sobre cuál es la mejor metodología para la detección y corrección de inhomogeneidades, la de Wang [2008] llama la atención por ofrecer ventajas sobre otra de las más empleadas, de Alexandersson [1986]. Para detalles se sugiere al lector consultar las referencias citadas. La metodología de Wang *et al.* [2007] emplea funciones de prueba maximizadas F y t con penalización (PMT y PMF), capaces de detectar desplazamientos en la media de series de tiempo de tendencia nula, empleando una función de penalización construida empíricamente para emparejar el perfil de la tasa de falsas alarmas (posee típicamente forma de U). Wang *et al.* [2007] muestran que su prueba estadística posee una potencia significativamente

mayor para detección de los casos de interés que las pruebas de Alexandersson [1986].

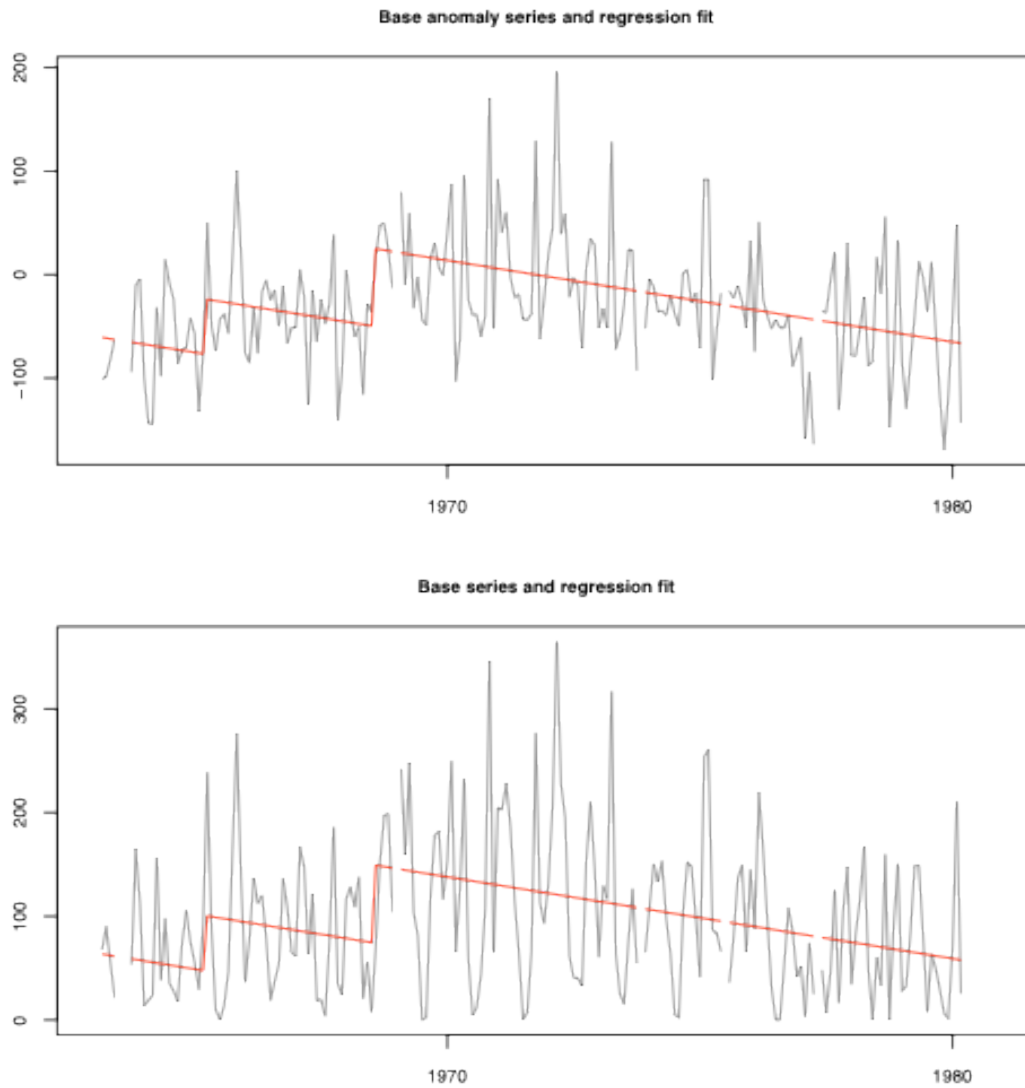


Figura 4. Detección de discontinuidades en la serie de tiempo de anomalía de precipitación de la estación M571, con el paquete RHTest. Arriba: serie de tiempo de anomalías. Abajo: serie de tiempo original con control de calidad.

Otra ventaja del método empleado en este trabajo es que ya ha sido codificado en R y el paquete está disponible públicamente con el nombre de RHTest [Wang *et al.*, 2007]. Para detalles en castellano concernientes al procedimiento a seguir para ejecutar el software, puede verse [Muñoz, 2011].

Básicamente el procedimiento detecta saltos en el tiempo $t=k$ en las series de tiempo $\{X_t\}$ de la variable, con tendencia lineal \square probando la hipótesis nula.

$$H_0: X_t = \mu + \beta t + \varepsilon_t, t = 1, 2, \dots, N \quad (1)$$

contra la alternativa

$$H_a: \begin{cases} X_t = \mu_1 + \beta t + \varepsilon_t, & t \leq k \\ X_t = \mu_2 + \beta t + \varepsilon_t, & k - 1 \leq t \leq N, \end{cases} \quad (2)$$

donde ε_t denota una variable gaussiana distribuida idéntica e independientemente con media cero y varianza desconocida, y siendo en la ecuación (2) μ_1 y μ_2 diferentes. Cuando H_a es cierta, entonces $t=k$ es un punto de salto y $\Delta = |\mu_1 - \mu_2|$ corresponde a la magnitud del salto (o cambio de media). Para detalles adicionales ver Wang [2008].

La Figura 4 muestra la salida del paquete RHTest para la detección de las discontinuidades en una serie de tiempo de precipitación. Una vez hechas las detecciones, el método procede a homogenizar corrigiendo las magnitudes de los saltos en cada punto en cuestión, pudiendo hacerse por ajuste de media (mean-adjust) o por ajuste de cuantiles (QM-adjust). La Figura 5 evidencia los resultados para cada uno de estos casos mencionados. El método ofrece, por supuesto, información sobre los niveles de significancia estadística encontrados, que permiten evaluar en parte el desempeño del procedimiento.

Para un procedimiento detallado correspondiente a la ejecución del paquete RHTest, ver Anexo 2 de este documento.

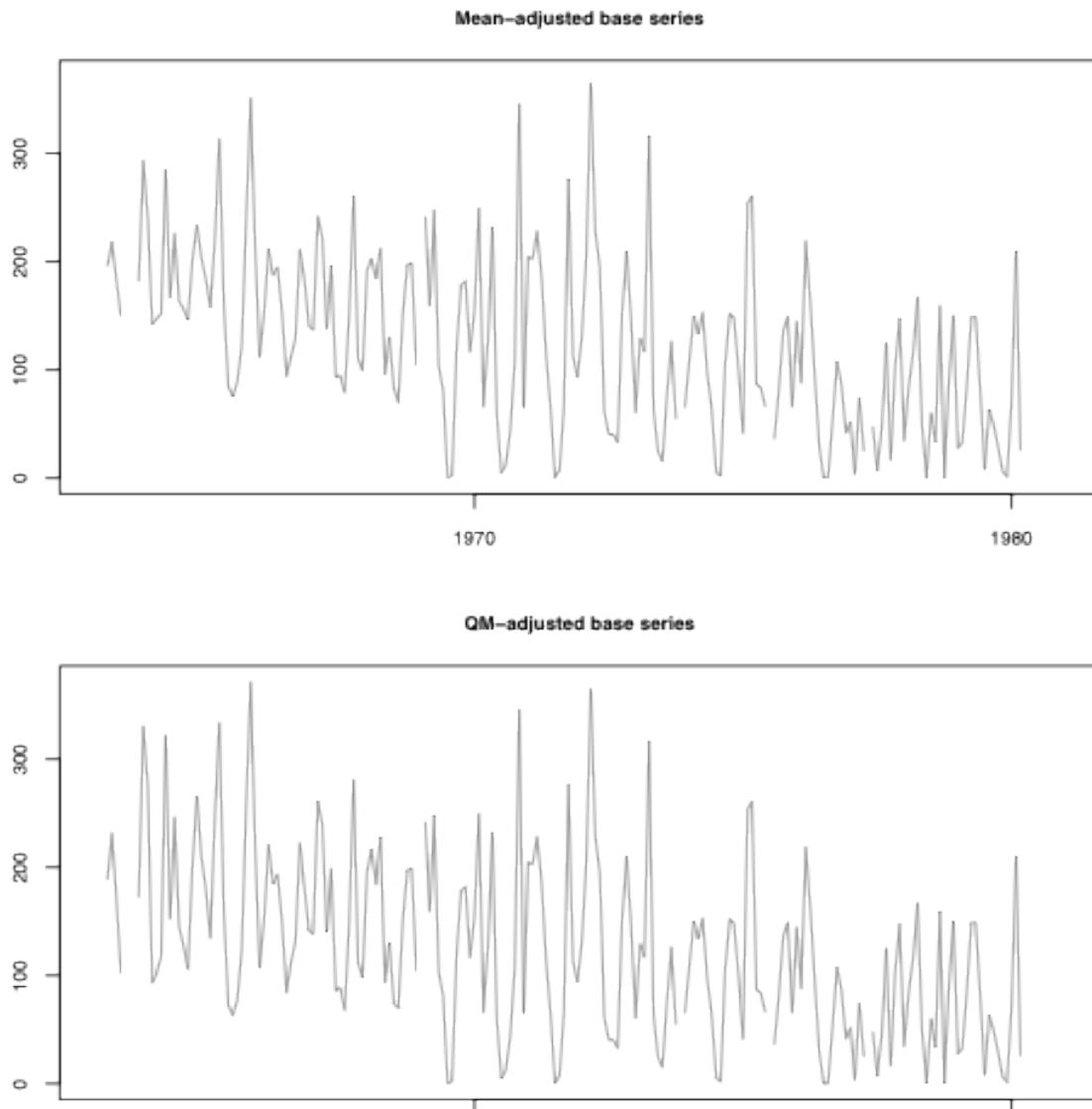


Figura 5. Homogeneización de la serie de tiempo de la Figura 4 con el paquete RHTest. Arriba: ajuste por media únicamente. Abajo: ajuste por cuantiles (QM-adjust).

El mejor resultado tiende a obtenerse al usar el ajuste por cuantiles, que es el que se empleó en este trabajo. El procedimiento debe repetirse para cada una de las 168 estaciones, para lo cual se creó un ciclo simple de procesamiento dentro del lenguaje R, habiendo introducido en un archivo la lista de todas las estaciones a procesar (para detalles técnicos, ver [Muñoz, 2011]).

En el *Anexo 3* es posible encontrar todas las figuras del proceso final de estandarización, para cada estación. El archivo comprimido *DatosFONAGHomogeneizados_AGMunoz2012.zip* contiene las imágenes en PDF, los

archivos de datos ya homogeneizados y archivos adicionales con información de las correcciones hechas en los casos correspondientes. Típicamente, para cada estación (que en este ejemplo llamamos “ESTAC”) se tiene la siguiente lista de archivos en el comprimido mencionado anteriormente:

ESTAC_1Cs.txt (copia de seguridad que lista los puntos de cambio y su significancia estadística),

ESTAC_mCs.txt (archivo a modificar que lista los puntos de cambio y su significancia estadística),

ESTAC_Ustat.txt (estadísticas),

ESTAC_U.dat (archivo de salida; 3a columna: dato original; 5a columna: ajustado por media; 9a columna: QM-ajustado),

ESTAC_U.pdf (archivo pdf con imágenes de los ajustes de la serie y al final la distribución de los QM-ajustes).

Es importante notar que, para cada estación procesada, el archivo que contiene los datos estandarizados tiene la terminación, en el nombre, de “*_U.dat”, y que la columna que interesa es la novena (9ª). La primera columna posee la información de la fecha de cada punto de la serie de tiempo.

Conclusiones y Recomendaciones

En este documento se han reportado los trabajos relacionados con la estandarización de los datos de las 168 estaciones disponibles para el Proyecto. Se han revisado algunos aspectos importantes referentes a control de calidad y homogeneización de series de tiempo de variables hidroclimáticas.

La metodología empleada involucra el software en lenguaje R desarrollado por Aguilar y Prohom [Aguilar *et al.*, 2009] para control de calidad, mientras que los procedimientos de Wang et al. [2007] para detección de discontinuidades, tanto anotadas en metadata como no, y la subsecuente corrección (también disponible gratuitamente en lenguaje R). Los datos de entrada, los programas de procesamiento de cada fase y los archivos de salida ya estandarizados, así como figuras con los detalles de las series de tiempo se han incluido como anexos de este documento y están disponibles para todo el público.

Vale mencionar que algunas estaciones, especialmente las provenientes del IRD, no requirieron ni control de calidad ni homogeneización, lo cual evidencia que ya habían sido procesadas por esa institución, y que el método empleado por la misma ofrece resultados semejantes al utilizado en este trabajo.

Estos procesos deben realizarse periódicamente sobre los nuevos datos producidos por estaciones en el dominio espacial de interés, tomando en cuenta que por el carácter estadístico de los métodos, cuanto mayor sea la serie de tiempo, más robustos serán los resultados. Para tal fin se entrenó a personal del FONAG, y se entrega el Anexo 2 como guía operacional.

No deben emplearse los datos *bajo ninguna circunstancia* si no está hecho el control de calidad y la homogeneización mencionada. Adicionalmente, vale resaltar que debe llevarse a cabo el más extremo escrutinio en cada paso de los procesos mencionados para garantizar que las series de tiempo final cumplan con las características deseables, y que efectivamente representen la evolución de las variables climáticas e hidrológicas, como corresponde.

Referencias

Aguilar, E., J., Sigró, M. Brunet, 2009: RClimdex con funcionalidades extra de control de calidad. Manual de Uso, versión 1.0. Documento descargado del ClimateChangeResearchGroup, University Rovira i Virgili, Tarragona, España. 12 pp.

Aguilar, E., I. Auer, M. Brunet, T. C. Peterson, y J. Wieringa, 2003: Guidelines on Climate Metadata and Homogenization, WCDMP GUIDELINES SERIES, WMO/TD no 1186, Llansó, P. ed., 50 pp., WMO, Geneva.

Alexandersson, H., 1986: A homogeneity test applied to precipitation data. *J. Climatol.*, 6, 661–675.

Caussinus, H., y O. Mestre, 2004: Detection and correction of artificial shifts in climate. *Appl. Stat.*, 53, 405–425.

DeGaetano, A. T., 2006: Attributes of several methods for detecting discontinuities in mean temperature series. *J. Climate*, 19, 838–853.

Lund, R., y J. Reeves, 2002: Detection of undocumented changepoints: A revision of the two-phase regression model. *J. Climate*, 15, 2547–2554.

Menne, M. J., y C. N. Williams Jr., 2005: Detection of undocumented changepoints using multiple test statistics and composite reference series. *J. Climate*, 18, 4271–4286.

Muñoz, Á.G., 2011: Preparando los Datos. Entrada del wiki del Observatorio Latinoamericano de Eventos Extraordinarios (OLE²). [Disponible en línea en: http://www.cmc.org.ve/mediawiki/index.php?title=Preparando_los_datos]

OMM, 2002: WMO Technical Document 1125, GCOS-76.

Vincent, L. A., X. Zhang, B. R. Bonsal, y W. D. Hogg, 2002: Homogenization of daily temperatures over Canada. *J. Climate*, 15, 1322–1334.

Wan, H., X. L. Wang, y V. R. Swail, 2007: A quality assurance system for Canadian hourly pressure data. *J. Appl. Meteor. Climatol.*, 46, 1804–1817.

Wang, X.L., 2003: Comments on “Detection of undocumented changepoints: A revision of the two-phase regression model.” J. Climate, 16, 3383–3385.

_____, 2006: Climatology and trends in some adverse and fair weather conditions in Canada, 1953–2004. J. Geophys. Res., 111, D09105, doi:10.1029/2005JD006155.

_____, y Y. Feng, 2007: RHtestV2 user manual. Climate Research Division, Science and Technology Branch, Environment Canada, Toronto, Ontario, Canada, 19 pp. [Disponible en línea en: http://cccma.seos.uvic.ca/ETCCDMI/RHtest/RHtestV2_UserManual.doc]

_____, 2008: Penalized maximal F test for detecting undocumented mean shift without trend change. J. Atmos. Oceanic Technol., 25, 368–384.

ANEXOS

Anexo 2

Guía Rápida para Usuarios de RClindex y RHTests

Preparada por

Xiaolan L. Wang

ClimateResearchDivision, STB, EnvironmentCanada

18 May 2010

Traducción y explicaciones menores de

Ángel G. Muñoz

agmunoz@cmc.org.ve

Centro de Modelado Científico (CMC) – La Universidad del Zulia

3 Junio 2011

Pasos para usar el paquete combinado RClindex y RHTests:

1. Escriba `source(RClindex.r)` en el terminal de R para que RClindex lleve a cabo los controles de calidad de la data diaria de `tmax`, `tmin` y `prcp`.
2. Escriba `source(RClindex_RHtest.r)` en el terminal de R para usar `RClindex_RHtest`¹, o escriba `source(RHtestsV3.r)` y luego `StartGUI()` para usar el botón **Transform Data** en el modo gráfico (GUI), para producir los archivos de entrada para las pruebas de homogeneización y ajustes correspondientes. El script provee 9 archivos de salida²: para `tmax`, `tmin` y `prcp`, mensuales (MLY) y diarios (DLY), un archivo con una serie de totales mensuales de días en los que `prcp` \geq 1mm (`*_prcpMLY1mm`), y las series transformadas-log de las dos

¹ El comando en la terminal tiene este formato:

```
RClindex_RHtest(ArchivoEntrada, MissingStr='-99.9')
```

² Se asigna la bandera de faltante (-99.9) a un valor mensual si faltan más de 3 días en dicho mes.

series mensuales de precipitación total, respectivamente (*_LogprcpMLYand *_LogprcpMLY1mm). Nótese que si las series a ser transformadas-log incluyen un valor de cero en alguna parte, cada uno de estos valores más 1 es transformado; esto es: $\log(P_i + 1)$ es la serie transformada de P_i .

3. Homogeneización mensual primero: usar una de las funciones de RHtestsV3 (por ejemplo, FindU si no se tiene una serie de referencia o FindU.wRef si sí se posee) para detectar los puntos de cambio en las series mensuales y para determinar cuáles necesitan ser ajustados. Este proceso provee los archivos siguientes: ESTAC_1Cs.txt (copia de seguridad que lista los puntos de cambio y su significancia estadística), ESTAC_mCs.txt (archivo a modificar que lista los puntos de cambio y su significancia estadística), ESTAC_Ustat.txt (estadísticas), ESTAC_U.dat (archivo de salida; 3ª columna: dato original; 5ª columna: ajustado por media; 9ª columna: QM-ajustado) y ESTAC_U.pdf (archivo pdf con imágenes de los ajustes de la serie y al final la distribución de los QM-ajustes).
 - a. Es menester identificar en ESTAC_mCs.txt los puntos de cambio que no sean estadísticamente significativos (o subjetivamente no significativos) y eliminarlos.
 - b. Una vez eliminados, ejecutar StepSize (o StepSize.wRef si se tiene una serie de referencia) para actualizar los puntos de cambio.
 - c. Repetir el procedimiento a y b hasta que todos los puntos sean estadísticamente significativos.
4. Para temperatura, use QMadj.GaussianDLY³ (con esta lista de puntos de cambio y la serie original de datos de temperatura diarios) para obtener una serie diaria QM-ajustada⁴. La 5ª columna en el archivo de salida *_QMadjDLY_F.dat es la serie diaria QM-ajustada.

³ El comando tiene este formato:

```
QMadj.GaussianDLY(InSeries='/PATH...',InCs='/PATH.../Nombre_mCs.txt',  
output='/PATH.../salida/')
```

```
MissingValueCode='-99.9', GUI=FALSE, ladj=10000, Mq=10, Ny4a=0)
```

⁴ “QM-ajustada” significa “ajustada empleando el algoritmo de Ajuste de Cuantiles (QM: QuantileMatching)”.

5. Para precipitación diaria, escriba `source(RHtests_dlyPrcp.r)` en el terminal de R y use `FindU.dlyPrcp`, `FindUD.dlyPrcp`, y `StepSize.dlyPrcp` para detectar y ajustar las inhomogeneidades en las series de precipitación diaria (empleando `pthr=0.99 mm`). Esto se hace debido a que diariamente se realiza la prueba `prcp>pthr` en estas funciones, mientras que `RClimDex` emplea diariamente `prcp ≥ 1.0 mm` para calcular los índices. El procedimiento para usar estas funciones⁵ es el mismo que en caso de `FindU` y `StepSize` en el `RHtestsV3`. La serie de datos diarios de precipitación QM-ajustados aparecen en la 5ª columna del archivo de salida `*_QMadjDLY_UC.dat` o `*_QMadjDLY_UDfinal.dat`.

⁵ Los comandos tienen este formato:

```
FindU.dlyPrcp(InSeries='/PATH...', output='/PATH.../salida/Nombre',
```

```
MissingValueCode='-99.9', GUI=FALSE, pthr=0.99, Mq=10, Ny4a=0, p.lev=0.95,  
ladj=10000)
```

```
FindUD.dlyPrcp(InSeries='/PATH...', InCs='/PATH.../Nombre_mCs.txt',  
output='/PATH.../salida/Nombre',
```

```
MissingValueCode='-99.9', GUI=FALSE, pthr=0.99, Mq=10, Ny4a=0, p.lev=0.95,  
ladj=10000)
```

```
StepSize.dlyPrcp (InSeries="D:\..." InCs="D:\..._mCs.txt", output="D:\...",
```

```
MissingValueCode="-999.99", GUI=FALSE, pthr=0.99, Mq=10, Ny4a=0, p.lev=0.95,  
ladj=10000)
```


Listado de imágenes

Figura 1. Ubicación de las estaciones procesadas en este trabajo. Las indicadas en violeta corresponden a las meteorológicas, y las celestes a las hidrológicas. 4

Figura 2. Boxplots con la serie mensual multianual de precipitación no nula (PREC), temperatura máxima (TX), temperatura mínima (TN) y rango diurno de temperatura (DTR). Los valores en círculos vacíos corresponden a valores atípicos..... 6

Figura 3. Igual que en la Figura 2, pero para series anuales..... 7

Figura 4. Detección de discontinuidades en la serie de tiempo de anomalía de precipitación de la estación M571, con el paquete RHTest. Arriba: serie de tiempo de anomalías. Abajo: serie de tiempo original con control de calidad. 9

Figura 5. Homogeneización de la serie de tiempo de la Figura 4 con el paquete RHTest. Arriba: ajuste por media únicamente. Abajo: ajuste por cuantiles (QM-adjust).
..... 11