

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL



**FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE MATEMÁTICAS**

**FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE MATEMÁTICAS**

PROYECTO DE GRADUACIÓN

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

“MAGÍSTER EN CIENCIAS AMBIENTALES”

TEMA

**ANÁLISIS DE ÍNDICES CLIMÁTICOS A PARTIR DE DATOS
INSTRUMENTALES METEOROLÓGICOS PARA DETERMINACIÓN
DE CAMBIO CLIMÁTICO EN LAS DEMARCACIONES
HIDROGRÁFICAS GUAYAS Y MANABÍ**

AUTOR

ING. FERNANDO XAVIER JARRÍN PÉREZ

Guayaquil – Ecuador

AÑO

2016

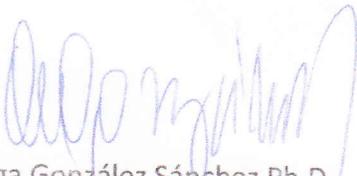
AGRADECIMIENTO

A Dios las gracias

DEDICATORIA

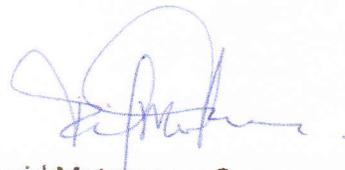
A mi amada esposa y a mis hijos

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



Olga González Sánchez Ph.D.

PRESIDENTE DE TRIBUNAL



David Matamoros Camposano Ph.D.

DIRECTOR DEL PROYECTO



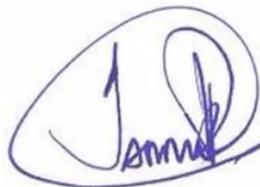
Luis Domínguez Granda Ph.D.

VOCAL PRINCIPAL

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la Escuela Superior Politécnica del Litoral”

(Art. 12 del Reglamento de Graduación de la ESPOL)



Ing. Fernando Xavier Jarrín Pérez

RESUMEN

Mediante el uso del software RClimdex y haciendo uso de series históricas de los datos registrados por estaciones meteorológicas se calcularon índices climáticos que muestran las tendencias en el comportamiento del clima a lo largo del tiempo.

Los datos previos a ser ingresados al software pasan por un proceso de control de calidad que elimina datos erróneos y otro de homogenización para corrección de las series de datos de las estaciones en base a los registros de otras estaciones con comportamiento parecidos.

Los resultados muestran tendencias de cambio climático en la zona estudiada a partir del análisis de datos registrados por las estaciones meteorológicas.

El Capítulo 2 - Revisión Bibliográfica presenta una introducción al Cambio Climático y presenta las evidencias globales de variabilidad climática determinadas por el IPCC. Se presenta además una descripción de índices climáticos y su determinación a través del software RClimdex.

En el Capítulo 3 – Metodología, se describe el proceso para la determinación de índices de cambio climático, se parte de la definición de variables, recopilación de información meteorológica, selección de área de estudio, selección de índices climáticos

En el Capítulo 4 – Análisis de Resultados, se discuten las salidas del modelo RClimdex, los índices generados, las gráficas de tendencias de los índices.

Para finalizar, en Conclusiones y Recomendaciones, se presentan los resultados obtenidos y conclusiones de la generación de índices climáticos a partir del modelo RClimdex, se plantean recomendaciones para optimizar el uso de la herramienta y se sugieren temas de investigación para dar continuidad al presente estudio.

INDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO	II
DEDICATORIA	III
TRIBUNAL DE GRADUACIÓN.....	IV
DECLARACIÓN EXPRESA.....	V
RESUMEN.....	VI
INDICE GENERAL.....	VIII
INDICE DE FIGURAS	XII
INDICE DE TABLAS	XIV
ABREVIATURAS.....	XV
CAPITULO I	1
1. INTRODUCCION	1
1.1. DEFINICION DEL PROBLEMA	2
1.2. HIPOTESIS	3

1.3.	OBJETIVOS	4
1.3.1.	Objetivo General	4
1.3.2.	Objetivos Específicos	4
1.4.	ALCANCE	4
1.4.1.	Alcance Geográfico	4
1.4.2.	Alcance Técnico	6
1.5.	ESTRUCTURA DEL PROYECTO	6
CAPITULO II		8
2.	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	8
2.1.	CAMBIO CLIMÁTICO	8
2.2.	ÍNDICES DE CAMBIO CLIMÁTICO	13
2.2.1.	RClimdex	13
2.2.2.	Funcionamiento del modelo	14
CAPITULO III		16
3.	METODOLOGÍA	16
3.1.	DEFINICIÓN DE VARIABLES METEOROLÓGICAS	16

3.1.1.	Precipitación	16
3.1.2.	Temperatura del aire.....	17
3.2.	RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN.....	18
3.2.1.	Selección del área de estudio	18
3.2.2.	Selección de estaciones meteorológicas	19
3.2.3.	Selección de índices de cambio climático.....	23
3.3.	PROCESAMIENTO DE DATOS.....	25
3.3.1.	Control de calidad de datos	26
3.3.2.	Homogenización de datos.....	29
3.4.	EJECUCIÓN DEL MODELO	31
3.4.1.	Preparación de información}.....	31
3.4.2.	Interfaz gráfica.....	32
3.4.3.	Cálculo de índices	36
3.4.4.	Salida de resultados	37
CAPITULO IV.....		39
4.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	39

4.4. Análisis de índices climáticos	39
4.5. Confiabilidad de los resultados obtenidos	48
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	49
Conclusiones.....	49
Recomendaciones	50
BIBLIOGRAFÍA.....	52
ANEXO 1. ÍNDICES DE CAMBIO CLIMÁTICO.....	56
ANEXO 2. ESTACIONES METEOROLOGICAS Y PORCENTAJE DE DATOS	
FALTANTES	59

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Zona de estudio: demarcaciones hidrográficas guayas y manabí	5
Figura 2. Comparación entre las simulaciones y las observaciones del aumento de temperatura por efectos naturales y antropogénicos	10
Figura 3. Incrementos promedio de temperatura en superficie, nivel del mar, cobertura de nieve como consecuencia del cambio climático para el período 1850 – 2100	12
Figura 4. Densidad de registros por estación dentro de la demarcación hidrográfica guayas a partir del software hydraces.	21
Figura 5. Identificación de datos faltantes por décadas de rclimdex	27
Figura 6. Gráficos box plots del proceso de control de calidad de datos de rclimdex: a) precipitación, b) $t_{máx}$, c) $t_{mín}$, d) $t_{máx} - t_{mín}$	28
Figura 7. Homogenización de series a partir de rclimdex: a) determinación de puntos de inflexión, b) generación de estación ficticia c) proceso guiado d) proceso no guiado.....	31
Figura 8. Formato de ingreso de datos para rclimdex	31
Figura 9. Formato de presentación de datos de inamhi	32

Figura 10. Pantalla de inicio de rclimdex	33
Figura 11. A) parámetros de entrada para ejecución de rclimdex	34
Figura 12. A) mensaje de errores en temperatura	36
Figura 13. Ventana de selección de índices climáticos para calcular con rclimdex.....	37
Figura 14. Resultado gráfico para el índice climático r95p (días muy húmedos)	38
Figura 15. Resultado gráfico para el índice climático tn10p (número de noches frías)	43
Figura 16. Resultado gráfico para el índice climático tn90p (número de noches calientes)	44
Figura 17. Resultado gráfico para el índice climático tnn (mínima temperatura mínima).....	46
Figura 18. Resultado gráfico para el índice climático txx (máxima temperatura máxima)	47

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Estaciones seleccionadas para la demarcación hidrográfica guayas.....	22
Tabla 2. Estaciones seleccionadas para la demarcación hidrográfica manabí	22
Tabla 3. Índices climáticos de rclimdex considerados dentro del estudio	23
Tabla 4. Indices climáticos para las estaciones de la Demarcación Guayas.....	40
Tabla 5. Resultados de índices climáticos para las estaciones de la Demarcación Manabí.....	41

ABREVIATURAS

IPCC: Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático

GEI: Gases de efecto invernadero

CO₂: Dióxido de Carbono

WMO: Organización Mundial de Meteorología (Por sus siglas en inglés)

INAMHI: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología

NU: Naciones Unidas

CCI: Iniciativa del Cambio Climático (Por sus siglas en Inglés)

CLIVAR: Programa Internacional de Variabilidad y Predictibilidad Climática (Por sus siglas en inglés)

JCOMM: Comisión Técnica Conjunta para la Oceanografía y Meteorología Marina (Por sus siglas en inglés)

NCDC: Centro Nacional de Datos Climáticos (Por sus siglas en inglés)

NOAA: Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (Por sus siglas en inglés)

RR: Precipitación

Tmáx: Temperatura máxima

Tmín: Temperatura mínima

mm: Milímetros

°C: Grados Celsius

T: Temperatura termodinámica

K: Grados Kelvin

EM: Estación Meteorológica

EMC: Estación Meteorológica Convencional

EMA: Estación Meteorológica Automática

MVR: Método del Vector Regional

CC: Control de calidad

CAPITULO I

1. INTRODUCCION

El Panel Internacional de Cambio Climático (IPCC) que lidera el cuerpo internacional para la evaluación de cambio en el clima, define el término Cambio Climático como un cambio del estado del clima identificable a raíz de un cambio en el valor medio y/o en la variabilidad de sus propiedades, y que persiste mediante un período prolongado.

Las causas del cambio climático pueden ser por origen natural o por origen antropogénico. (IPCC, s.f.). Las actividades humanas generan emisiones Gases de Efecto Invernadero (GEI) de larga permanencia que han venido aumentando considerablemente las concentraciones en la atmósfera. La función del CO₂ en la

atmósfera terrestre es la de retener parte de la radiación solar y calentar la superficie terrestre. Un exceso en la generación de CO₂ (retiene parte de la radiación solar y calienta la superficie terrestre) conlleva a la elevación de la temperatura media de la superficie terrestre lo que ocasiona alteraciones en el tiempo climático, en la intensidad y ocurrencia de eventos extremos.

Las mediciones de los parámetros meteorológicos son necesarias para introducir datos en los modelos de predicción meteorológica numérica, para fines hidrológicos y agrícolas, y como indicadores (índices) de variabilidad del clima. (WMOB, 2008).

1.1. DEFINICION DEL PROBLEMA

Según el Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC, 2007) de los doce últimos años del período 1995-2006, once figuran entre los doce años más cálidos de los registros instrumentales de la temperatura mundial en la superficie (desde 1850). Es muy probable que los días fríos, las noches frías y las escarchas sean ahora menos frecuentes en la mayoría de las áreas terrestres, mientras que los días y noches cálidos serían ahora más frecuentes.

Nuestra investigación se dirige hacia determinar si existen cambios en el comportamiento del clima a través del estudio de los parámetros meteorológicos precipitación y temperatura en un período que oscila entre los años 1960 y 2010, registrados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI).

Los datos de precipitación servirán para analizar si los períodos lluviosos y secos varían en duración y ocurrencia a lo largo de los años. En cuanto al parámetro temperatura, se analizará la variación de las temperaturas máximas y mínimas y las diferencias entre ellas para cada año de investigación.

Como resultado se podrá establecer si existen o no anomalías en el comportamiento del clima.

1.2. HIPOTESIS

Dentro del período comprendido entre los años 1960 a 2010 existen diferencias importantes en el comportamiento de la precipitación y temperatura durante la última década en relación a las medias observadas en décadas anteriores dentro de las Demarcaciones Hidrográficas Guayas y Manabí.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo General

Identificar si han ocurrido variaciones en el comportamiento del clima durante el período 1960-2010, en base a las series de datos históricos de precipitación y temperatura registrados por las estaciones meteorológicas dentro de las Demarcaciones Hidrográficas Guayas y Manabí.

1.3.2. Objetivos Específicos

Generar a través del software RClimdex índices de cambio climático a partir de las series de datos históricos de las estaciones meteorológicas existentes en las Demarcaciones Hidrográficas Guayas y Manabí.

Determinar tendencias de cambio climático partir del análisis de índices climáticos para las Demarcaciones Hidrográficas Guayas y Manabí.

1.4. ALCANCE

1.4.1. Alcance Geográfico

El alcance geográfico del presente proyecto de tesis está dado para las Demarcaciones Hidrográficas Guayas y Manabí.

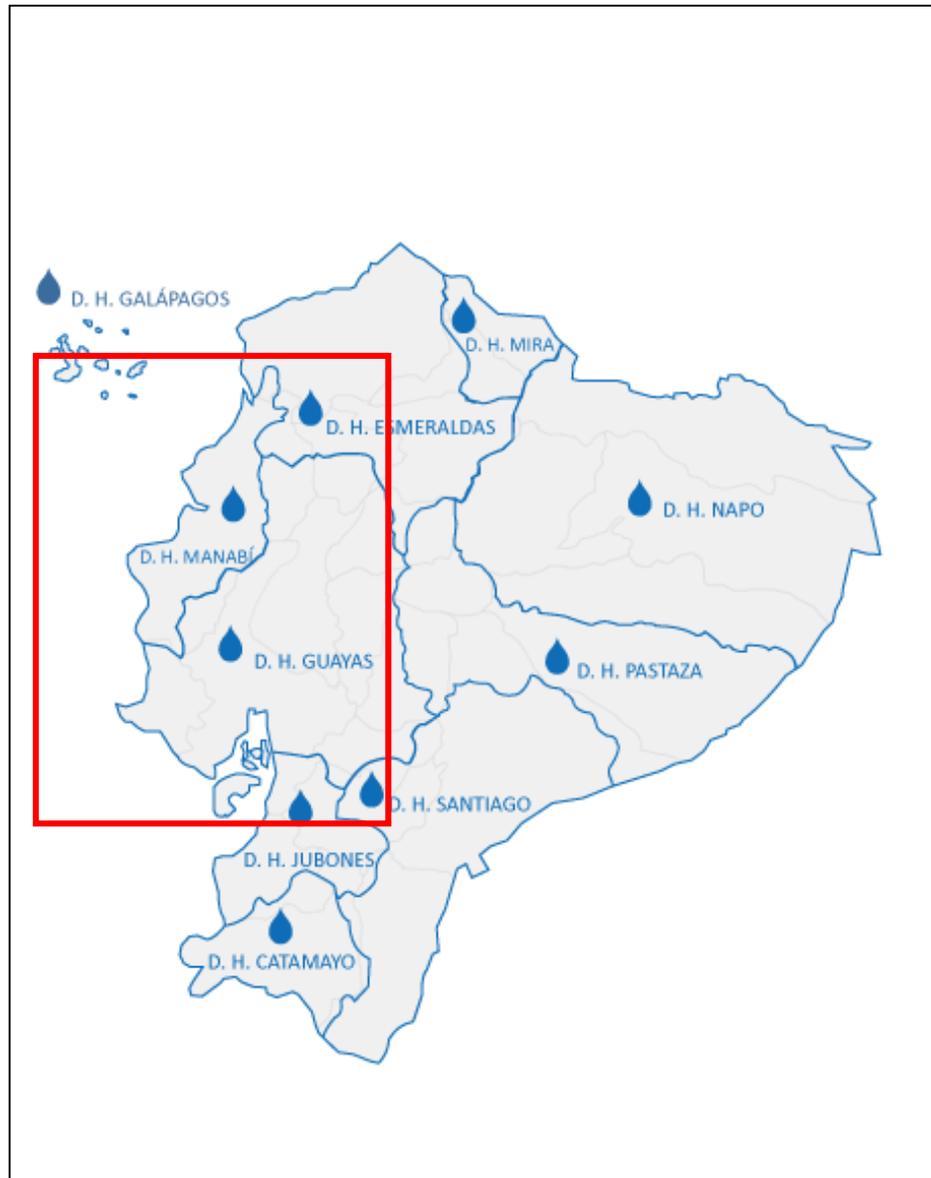


Figura 1. Zona de estudio: Demarcaciones Hidrográficas Guayas y Manabí

Fuente: EPA

Descargado de: www.agua.gob.ec

1.4.2. Alcance Técnico

El alcance técnico del presente estudio se enfoca en la determinación de índices climáticos que permiten identificar evidencias de Cambio Climático a partir de las series históricas de datos temperatura del aire y precipitación registrados por las estaciones meteorológicas existentes dentro de las Demarcaciones Hidrográficas Guayas y Manabí.

1.5. ESTRUCTURA DEL PROYECTO

El presente documento está estructurado de la siguiente manera:

El Capítulo 2 - Revisión Bibliográfica presenta una introducción al Cambio Climático y presenta las evidencias globales de variabilidad climática determinadas por el IPCC.

Se presenta además una descripción de índices climáticos y su determinación a través del software RClimdex.

En el Capítulo 3 – Metodología, se describe el proceso para la determinación de índices de cambio climático, se parte de la definición de variables, recopilación de información meteorológica, selección de área de estudio, selección de índices climáticos

En el Capítulo 4 – Análisis de Resultados, se discuten las salidas del modelo RClimdex, los índices generados, las gráficas de tendencias de los índices.

Para finalizar, en Conclusiones y Recomendaciones, se presentan los resultados obtenidos y conclusiones de la generación de índices climáticos a partir del modelo RClimdex, se plantean recomendaciones para optimizar el uso de la herramienta y se sugieren temas de investigación para dar continuidad al presente estudio.

CAPITULO II

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. CAMBIO CLIMÁTICO

Oficialmente se confirmó el medio ambiente como prioridad internacional a partir de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano celebrada en Estocolmo en el año 1972. El informe Brundtland emitido en 1983 por la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo se empieza a hablar sobre el desarrollo sostenible y se concluye que la protección del medio ambiente y el crecimiento económico deben de abordarse como una sola cuestión (NU, 1997).

El IPCC que lidera el cuerpo internacional para la evaluación de cambio en el clima, define el término Cambio Climático como un cambio del estado del clima identificable a raíz de un cambio en el valor medio y/o en la variabilidad de sus propiedades, y que persiste mediante un período prolongado.

Las causas del cambio climático pueden ser por origen natural o por origen antropogénico. (IPCC, s.f.). Las actividades humanas generan emisiones Gases de

Efecto Invernadero (GEI) de larga permanencia que han venido aumentando considerablemente las concentraciones en la atmósfera. La función del CO₂ en la atmósfera terrestre es la de retener parte de la radiación solar y calentar la superficie terrestre. Un exceso en la generación de CO₂ provoca una mayor retención parte de radiación solar lo que conlleva a la elevación de la temperatura media de la superficie terrestre. Esto ocasiona alteraciones en el tiempo climático, en la intensidad y ocurrencia de eventos extremos, en las precipitaciones presentes y se observa un aumento en el promedio mundial del nivel del mar debido a que está disminuyéndose la cubierta de nieve y acelerándose el proceso de deshielo de los glaciares alrededor del mundo.

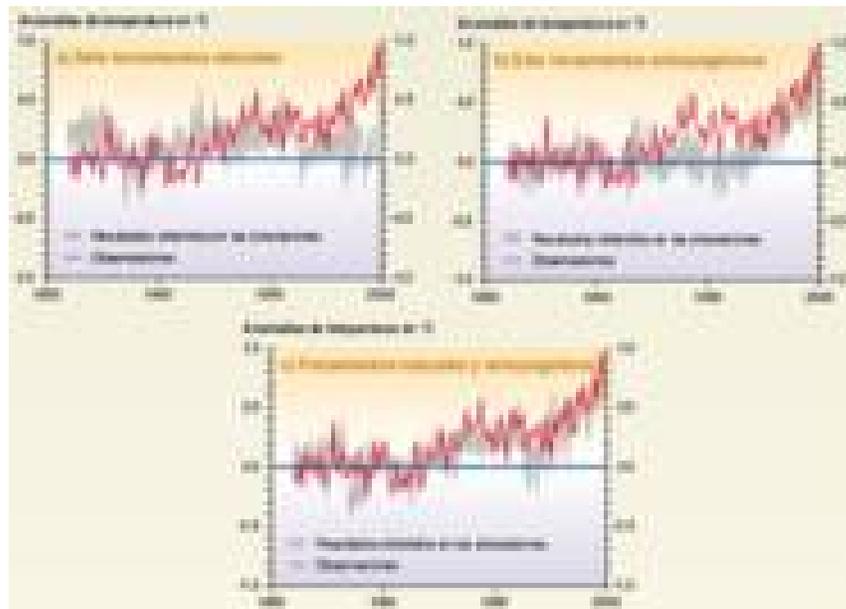


Figura 1. Comparación entre las simulaciones y las observaciones del aumento de temperatura por efectos naturales y antropogénicos

Fuente: IPCC 2001

Esto ocasiona alteraciones en el tiempo climático, en la intensidad y ocurrencia de eventos extremos, en las precipitaciones presentes y se observa un aumento en el promedio mundial del nivel del mar debido a que está disminuyéndose la cubierta de nieve y acelerándose el proceso de deshielo de los glaciares alrededor del mundo.

“Las actividades humanas están acabando los recursos y producen desechos más rápido de lo que puede regenerar y procesar el sistema” (Secretaría General de la Comunidad Andina, 2008)

Las proyecciones para América Latina de los efectos del cambio climático cubren varios aspectos como la disminución del recurso agua para los suelos; esto da lugar a una sustitución gradual de bosque por las sabanas del este de la Amazonía. La sustitución de la vegetación provoca un cambio en la biodiversidad alterando de esta manera los ecosistemas debido a la extinción de numerosas especies. La disminución de la disponibilidad de aguas para tierras de cultivo conlleva a una baja en la productividad de los campos o tierras arables lo que genera un impacto socio-económico de graves consideraciones. (IPCC, 2007)

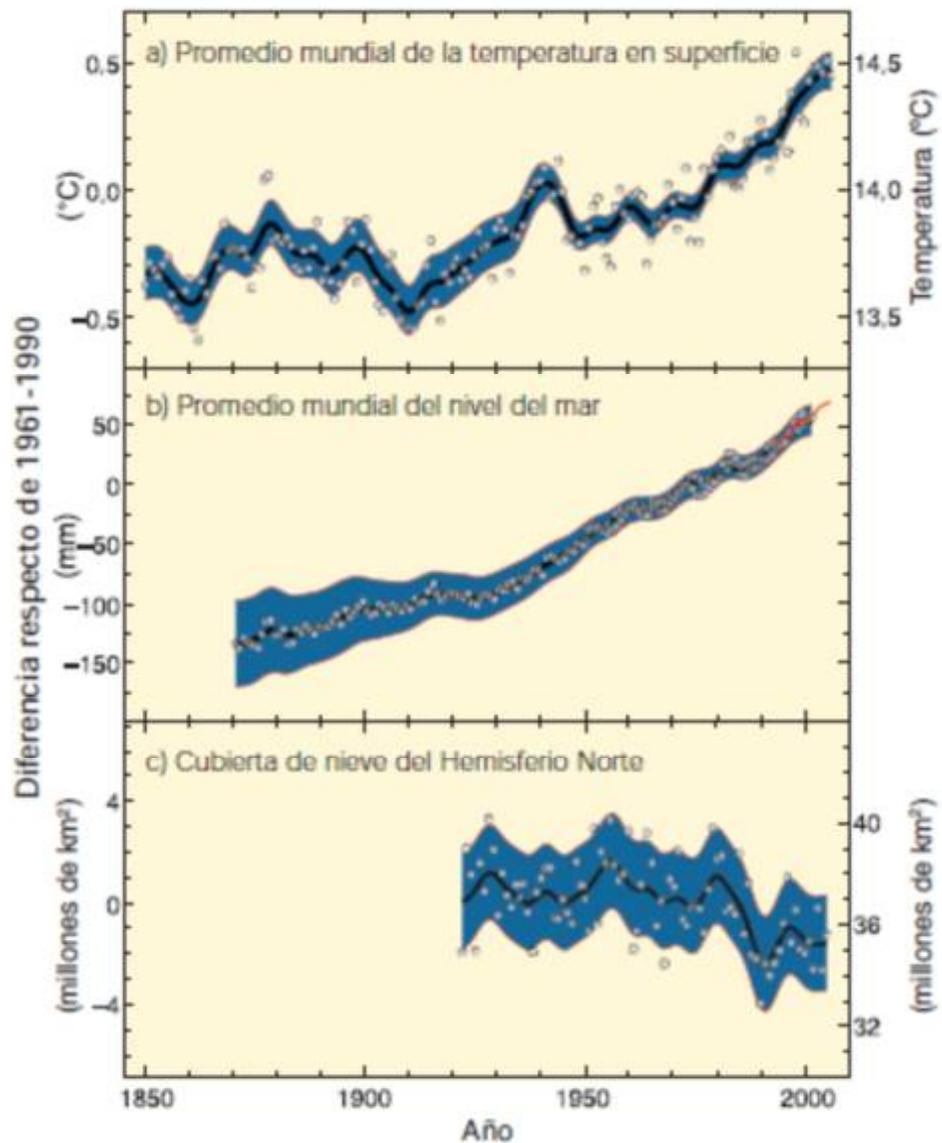


Figura 2. Incrementos promedio de temperatura en superficie, nivel del mar, cobertura de nieve como consecuencia del Cambio Climático para el período

1850 – 2100

Fuente: IPCC 2001

2.2. ÍNDICES DE CAMBIO CLIMÁTICO

El grupo de trabajo CCI/CLIVAR/JCOMM pertenece al Programa de Investigación del Clima Mundial por sus siglas en inglés WCRP, que tiene como misión determinar la predictibilidad del clima y los efectos de las actividades humanas en el clima.

Ellos aprobaron una lista de 40 índices climáticos CLIVAR, (s.f.), de los cuales 27 son considerados básicos (Zhang y Yang, 2004), los cuales se pueden apreciar en el Anexo 1.

2.2.1. RCLimdex

El programa R mediante el uso del paquete Climdex es una herramienta computacional creada para el cálculo de Índices de extremos climáticos para monitorear y detectar cambio climático.

RClimdex versión 1.0 basado en R 1.84, calcula los índices recomendados por el Equipo de Expertos de CCI/CLIVAR/JCOMM para “Climate Change Detection Monitoring and Indices”. (CLIVAR)

Inicialmente RClimdex partió del programa ClimDex desarrollado por Byron Gleason del National Climate Data Centre (NCDC) del National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) que está basado en Excel con el mismo propósito inicial, pero que presenta como limitaciones la inhomogeneidad en las series de índices y su uso exclusivo en ambiente Windows.

RClimDex también conocido como FClimDex para plataformas Linux y Mac, se encuentra disponible para su descarga gratuita.

2.2.2. Funcionamiento del modelo

El software RClimdex analiza las series históricas de datos meteorológicos y calcula índices climáticos que muestran las tendencias en el comportamiento del clima a lo largo del tiempo. Los datos previos a ser ingresados al software pasan por un proceso de control de calidad que elimina datos erróneos y otro de homogenización

para corrección de las series de datos de las estaciones en base a los registros de otras estaciones con comportamiento parecidos.

RClimDex finalmente presentará gráficas para cada índice donde se muestran las tendencias del comportamiento de cada uno de los parámetros estudiados por cada estación meteorológica. Éstos pueden ser los días secos consecutivos, días lluviosos consecutivos, las precipitaciones mayores a cierta cantidad de días de lluvia consecutivos, días con tendencia a la temperatura mínima y a partir del análisis servirán de evidencia de un cambio en los patrones normales de los parámetros meteorológicas a lo largo del tiempo, traducido en Cambio Climático en la zona estudiada.

CAPITULO III

3. METODOLOGÍA

3.1. DEFINICIÓN DE VARIABLES METEOROLÓGICAS

En este estudio, los datos que se utilizarán para el análisis estadístico son los registros diarios de Precipitación (RR) medidos en milímetros (mm) de lluvia, Temperatura Máxima (Tmax) y Temperatura Mínima (Tmin) ambas en unidades de grados centígrados (°C).

3.1.1. Precipitación

Se define como precipitación al producto líquido o sólido de la condensación del vapor de agua que cae de las nubes y se deposita en el terreno procedente del aire. Dicho término para este estudio comprende la lluvia, el rocío y la precipitación de la niebla. Los pluviómetros, como punto de medición de

precipitaciones son la fuente fundamental de datos de análisis zonales. (WMOa, 2008).

Una red de pluviómetros con una correcta distribución espacial permite inferir sobre la cantidad de precipitación y el comportamiento temporal de la lluvia en una zona determinada.

La unidad de medida de precipitación es el milímetro (mm). La serie diaria de datos de precipitación usada, proviene del total de precipitación recolectada de 7 de la mañana del día actual a 7 de la mañana del día siguiente.

3.1.2. Temperatura del aire

Es la condición que determina la dirección del flujo neto de calor entre dos cuerpos, aquel que pierde calor globalmente a favor del otro, está a mayor temperatura. La temperatura termodinámica (T) se expresa en grados Kelvin (K), siendo un K equivalente a $1/273,16$ de la temperatura termodinámica del punto triple del agua. (WMOb, 2008).

En meteorología se registran diariamente los valores de temperatura instantánea, temperatura máxima (T_{máx}) y temperatura mínima (T_{mín}).

La serie diaria de datos de temperaturas extremas, proviene del registro de la $T_{máx}$ y la $T_{mín}$ durante un día. La temperatura mínima se mide entre las cero horas y las siete de la mañana del día medido y la temperatura máxima se mide entre las siete de la mañana y las siete de la noche del día medido.

3.2. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

En el Instituto Nacional de Meteorológica e Hidrología (INAMHI) se cuenta con estaciones meteorológicas convencionales (EMC), es decir, con equipos que requieren de la presencia de un observador para realizar la medición instrumental, así como de estaciones meteorológicas automáticas (EMA) que envían sus datos directamente a una base de datos. Debido a que las últimas sólo registran un promedio de 5 años de datos diarios, se utilizarán las convencionales como fuente de información para este trabajo.

3.2.1. Selección del área de estudio

Por tratarse de un proyecto institucional realizado en las oficinas del Proceso Desconcentrado Cuenca del Río Guayas (INAMHI Guayaquil) se definieron como área de estudio las demarcaciones hidrográficas Guayas y Manabí debido a que

la operación y mantenimiento de las redes de estaciones meteorológicas ubicadas en estas demarcaciones está bajo el cargo del mencionado Proceso.

En el Instituto Nacional de Meteorológica e Hidrología (INAMHI) se cuenta para el área de estudio en la demarcación hidrográfica Guayas cuenta con alrededor de 60 estaciones meteorológicas de las cuales 42 son pluviómetros. No se tiene los datos actualizados del estado y funcionamiento de todas las estaciones.

Para la demarcación hidrográfica Manabí 26 Estaciones Meteorológicas, 21 de las cuales son convencionales, 2 automáticas y 3 cuentan con ambas en el mismo sitio.

3.2.2. Selección de estaciones meteorológicas

En el Instituto Nacional de Meteorológica e Hidrología (INAMHI) se cuenta para el área de estudio en la demarcación hidrográfica de Manabí 26 Estaciones Meteorológicas (EM), 21 de las cuales son convencionales (EMC), 2 automáticas (EMA) y 3 cuentan con ambas en el mismo sitio.

Para la recopilación de información instrumental se identificó las EMC existentes y operativas dentro del área de estudio, se tomó además en cuenta la cercanía

geográfica entre ellas, para lo que se elaboró un mapa con herramientas de sistemas de información geográfica para seleccionarlas, presumiendo que estaciones cercanas van a tener comportamientos similares.

Se descargaron los datos de las estaciones de la base de datos INAMHI y se aceptaron aquellas que provean máximo un 25% de datos faltantes en el período 1960-2010 (CIIFEN/INAMHI/INOCAR, 2007), y que provean datos de los 3 parámetros (precipitación, temperatura mínima y máxima) usando Excel, RClimdex o Hydraccess (Vauchel, s.f.).

Para la selección de las estaciones de estudio que cumplan con los criterios anteriormente señalados se utilizó el software Hydraces el cual puede exportar a Excel tablas y gráficos donde se indican el período de funcionamiento de la estación, la cantidad de datos, el porcentaje de datos faltantes (Anexo 2). La figura 4 muestra la visualización de información existente para las el total de estaciones presentes en las bases de datos de INAMHI dentro de la demarcación hidrográfica Guayas.

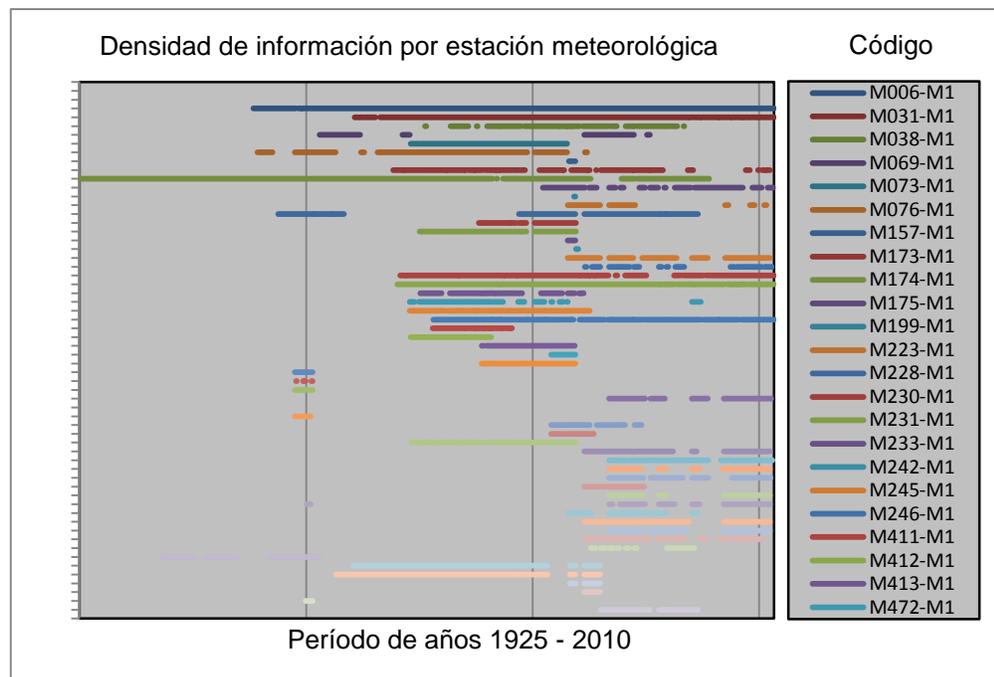


Figura 4. Densidad de registros por estación dentro de la Demarcación Hidrográfica Guayas a partir del software Hydracces.

Elaboración: Fernando Jarrín, Septiembre 2012

Finalmente se aceptaron las estaciones que provean máximo un 25% de datos faltantes (lagunas) en el período 1960-2010, que tengan al menos 30 años de información recopilada y que provean datos de tres parámetros: precipitación, temperatura mínima y máxima.

Hydraces permite además mostrar los resultados de la densidad de datos a manera de tablas exportables a Excel. El anexo muestra el porcentaje de datos faltantes y períodos de registro.

A continuación se presentan las estaciones contempladas en la investigación:

Tabla 1. Estaciones seleccionadas para la Demarcación Hidrográfica Guayas

Código	Nombre dela Estación
M0006	Pichilingue
M0031	Cañar
M0174	Ancón
M0411	Ingapirca
M0412	Suscalpamba

Elaboración: Fernando Jarrín, Septiembre 2012

Tabla 2. Estaciones seleccionadas para la Demarcación Hidrográfica Manabí

Código	Nombre dela Estación
M0005	Portoviejo-UTM
M0162	Chone-U. Católica
M0165	Rocafuerte
M0167	Jama
M0169	Julcuy

Elaboración: Fernando Jarrín, Septiembre 2012

3.2.3. Selección de índices de cambio climático

En estudios realizados en otras partes del planeta para América del Norte, Asia, Europa y Australia se utilizaron 10 índices (considerando días de congelamiento, de nieve, precipitación y temperatura) (Frich, Alexander, Della-Marta, Gleason, Haylock, Klein Tank, Peterson, 2002) y 6 índices (precipitación, temperatura) (Kiktev, Sexton, Alexander, Folland, 2003). A nivel local en el litoral ecuatoriano se ha trabajado con 11 índices para parámetros de precipitación y temperatura. (Muñoz, Recalde, Cadena, Muñoz, Díaz, Mejía, 2010).

La selección de índices dependió de los parámetros que se dispuso de las EM y que se estudió en base a percentiles, valores absolutos, umbrales normales y duración de eventos. La tabla a continuación muestra los índices utilizados en este estudio.

Tabla 3. Índices climáticos de RClimdex considerados dentro del estudio

Indíces	Significado
r95p	<p>Días muy húmedos:</p> <p>Sea RR_{wj} la cantidad diaria de precipitación en un día húmedo $w(RR \geq 1.0mm)$ en el periodo j y sea RR_{wn95} el percentil 95th de</p>

	<p>precipitación en los días húmedos en el periodo 1961-1990. Si W representa el número de días húmedos en el periodo, entonces:</p> $R95 p_j = \sum_{w=1}^W RR_{wj} \text{ where } RR_{wj} > RR_{wn95}$
tn10p	<p>Noches frías:</p> <p>Sea Tn_{ij} la temperatura mínima diaria en el día i en el periodo j y sea Tn_{in10} el día calendario del percentil 10th centrado en una ventana de 5-días (calculado usando el método del Anexo D). El porcentaje del tiempo es determinado, donde:</p> $Tn_{ij} < Tn_{in10}$
tnn	<p>Mínima Tmin:</p> <p>Sea Tn_{kj} la temperatura mínima diaria en el mes k, periodo j. La mínima temperatura mínima diaria en cada mes es entonces:-</p> $TNn_{kj} = \min(Tn_{kj})$
tn90p	<p>Noches calientes:</p> <p>Sea Tn_{ij} la temperatura mínima diaria en el día i en el periodo j y sea Tn_{in90} el día calendario del percentil 90th centrado en una ventana de 5-días (calculado usando el método del Anexo D). El porcentaje del tiempo es determinado, donde:</p> $Tn_{ij} > Tn_{in90}$
txx	<p>Máxima Tmáx:</p> <p>Sea Tn_{kj} la temperatura mínima diaria en el mes k, periodo j. La máxima temperatura mínima diaria cada mes es entonces:-</p>

	$TN_{Xkj} = \max(Tn_{kj})$
tx90p	<p style="text-align: center;">Días calientes:</p> <p>Sea T_{Xij} la temperatura máxima diaria en el día i en el periodo j y sea T_{Xin90} el día calendario del percentil 90th centrado en una ventana de 5-días (calculado usando el método del Anexo D). El porcentaje del tiempo es determinado, donde:</p> $T_{Xij} > T_{Xin90}$

Fuente: Manual de Usuario RClimdex

Elaboración: Fernando Jarrín, Septiembre 2012

3.3. PROCESAMIENTO DE DATOS

Para el presente estudio se tomaron en cuenta 5 EMC para la Demarcación Hidrográfica Guayas y 5 EMC para la Demarcación Hidrográfica Manabí que cuentan con registros diarios desde el año 1960. Cada estación cuenta con alrededor de 15.000 registros para cada parámetro de medición, lo que nos genera un aproximado de 225.000 datos para procesar.

El registro de los datos es realizado de manera manual por los observadores contratados por INAMHI. Esta actividad conlleva un error inherente en la captura del dato, ya que depende de la percepción del observador, y si a esto se le suma la falta de responsabilidad del personal a la hora de tomar un dato, el resultado pudiera ser un registro muy alejado de la realidad. Por esta razón es importante considerar la metadata (externalidades acontecidas) en el análisis de los datos.

Dado que el formato de presentación de la información en los archivos de los registros de las EM de INAMHI no es compatible con los usados por RClimdex, se debió modificar estos archivos de texto ASCII para su entrada y proceder así al control de calidad de datos mediante del análisis de las gráficas.

3.3.1. Control de calidad de datos

El control de calidad (CC) de los datos es un prerrequisito para el cálculo de los índices. El CC de RClimDex desarrolla el siguiente procedimiento: 1) Reemplaza todos los datos faltantes (actualmente codificados como -99.9) en un formato interno que reconoce R (i.e. NA, no disponible), y 2) reemplaza todos los valores no razonables por NA. Estos valores incluyen: a) cantidades de precipitación

diaria menores que cero y b) temperatura máxima diaria menor que temperatura mínima diaria.

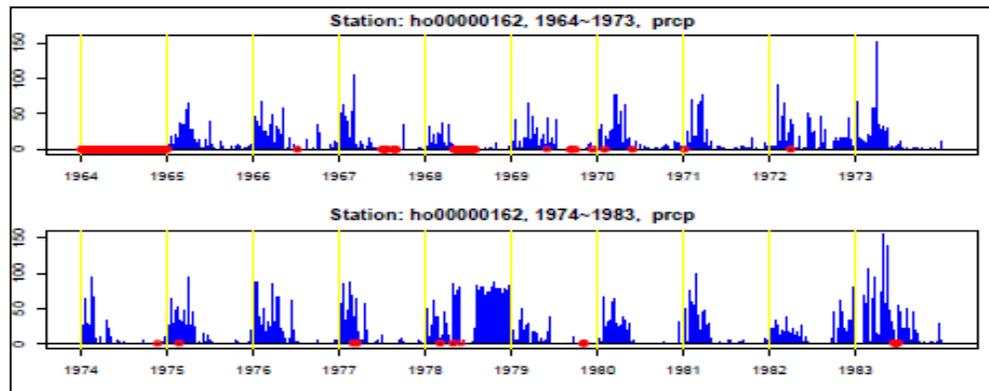


Figura 5. Identificación de datos faltantes por décadas de RClimdex

Elaboración: Fernando Jarrín, Septiembre 2012

Adicionalmente, CC también identifica valores extremos (outliers), que son valores diarios que se encuentran fuera de una región definida por el usuario. Actualmente esta región se define como n veces la desviación estándar del valor del día, esto es, $[\text{media} - n * \text{std}, \text{media} + n * \text{std}]$. Donde std representa la desviación estándar para el día y n es una entrada del usuario.

A continuación la figura 2 muestra gráficas box plots arrojadas por RClimdex para realizar el control de calidad, contrastan los valores registrados para los doce meses del año.

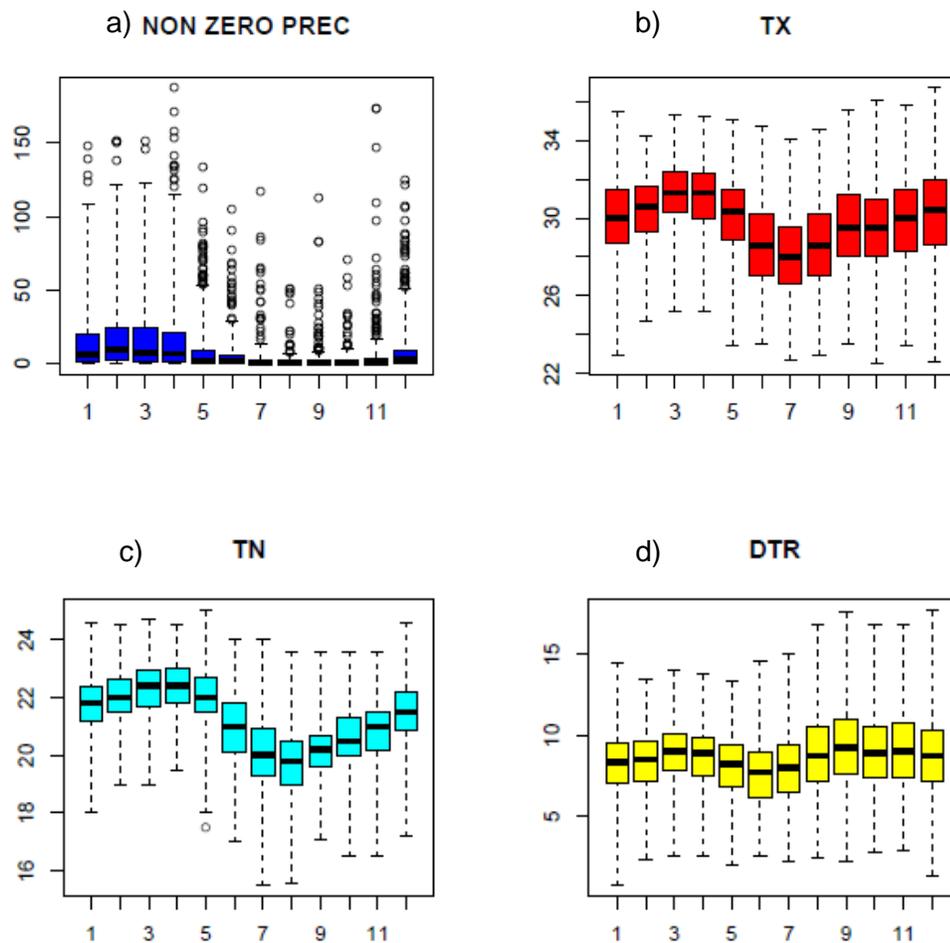


Figura 6. Gráficos box plots del proceso de control de calidad de datos de

RClimdex: a) Precipitación, b) Tmáx, c) Tmín, d) Tmáx - Tmín

Elaboración: Fernando Jarrín, Septiembre 2012

3.3.2. Homogenización de datos

El proceso de homogenización sirve para ajustar observaciones en caso de ser necesarias, de tal manera que las variaciones temporales en los datos ajustados sean causadas sólo por procesos climáticos. (CCCMA, s.f.)

RClimDex provee al usuario de un método para detectar inhomogeneidades que son manifestadas como discontinuidades o cambios en las series tiempo, haciendo uso de una inspección visual de las series anuales de promedios de temperatura y de valores acumulados de precipitación, así como de una prueba estadística (t de Student) para ver la diferencia entre dos valores medios de periodos adyacentes.

La homogeneidad de cada serie debió ser probada y sólo las series homogéneas se analizaron en un mismo rango de años con valores validados. Se usó un proceso no guiado (Fig.6.a) en que el mismo programa escoge dicho rango y asume puntos extremos realizando un ajuste de los datos crudos con la serie

modelada por el mismo software. Además de un proceso guiado (Fig. 6.b) en que se le indicó según la metadata disponible (ej. Fechas de los Fenómenos del Niño, de la Niña) los valores aceptados y los que debían rechazarse, esto es, outliers y saltos.

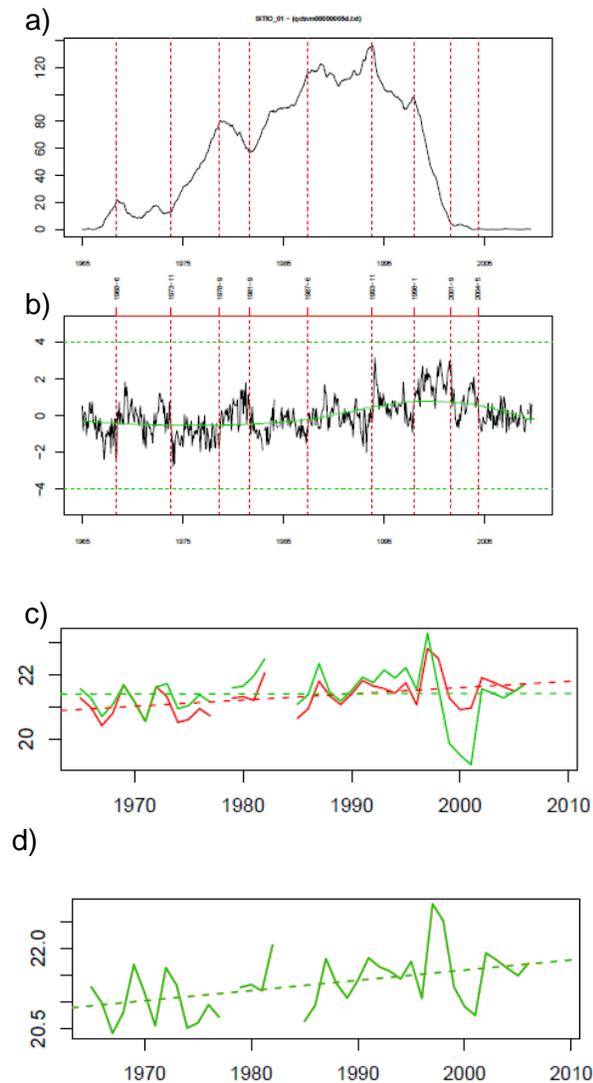


Figura 7. Homogenización de series a partir de RClimdex: a) Determinación de puntos de inflexión, b) Generación de estación ficticia c) Proceso Guiado d)

Proceso no guiado

Elaboración: Fernando Jarrín, Septiembre 2012

3.4. EJECUCIÓN DEL MODELO

3.4.1. Preparación de información}

Los archivos de datos para correr RClimdex deben ser de tipo ACII con información en columnas con la siguiente secuencia: Año, Mes, Día, PRCP, TMAX, TMIN.

1901	1	1	-99.9	-3.1	-6.8
1901	1	2	-99.9	-1.3	-3.6
1901	1	3	-99.9	-0.5	-7.9
1901	1	4	-99.9	-1	-9.1
1901	1	7	-99.9	-1.8	-8.4

Figura 8. Formato de ingreso de datos para RClimdex

Fuente: Manual Usuario RClimdex

Una vez preparada toda la información en los formatos compatibles para RClindex, se procedió a ejecutar la herramienta. El manejo del software se presenta muy amigable con el usuario en tanto no se encuentren errores en la escritura de los datos en los archivos de entrada. Como paso inicial se procede a cargar la información y realizar el proceso de Control de Calidad, el mismo que se presenta como pre-requisito para la ejecución de la herramienta.

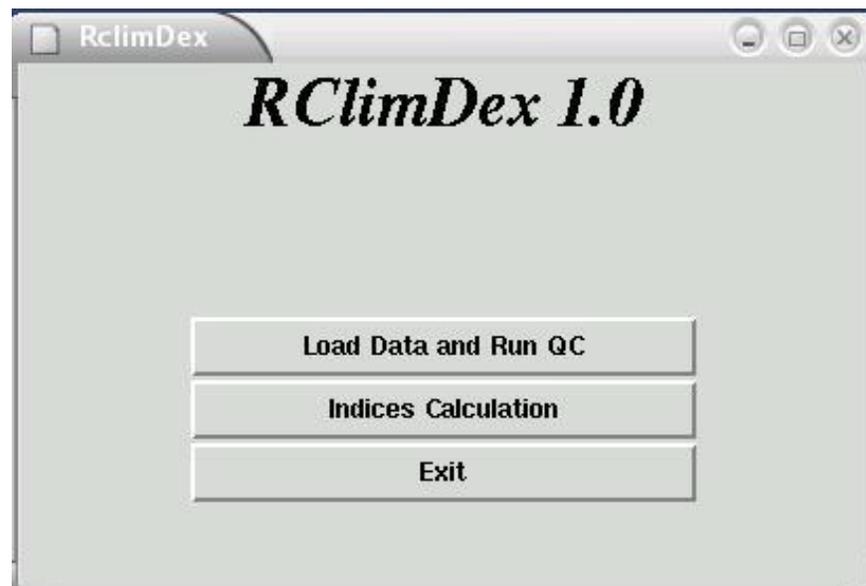
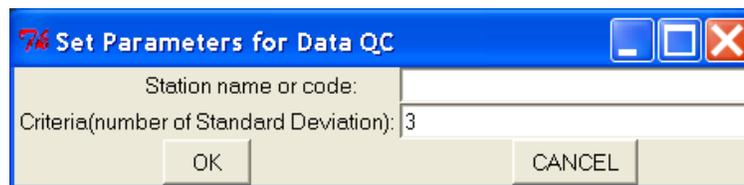


Figura 10. Pantalla de inicio de RClindex

Fuente: Manual Usuario RClindex

Durante el proceso de Control de Calidad se identifican valores no razonables automáticamente, sin embargo, la identificación de valores extremos en datos de temperatura requiere definir un valor inicial por parte del usuario (n es 3 por defecto pero puede ser cambiado por el usuario)

a)



b)

4.
5.



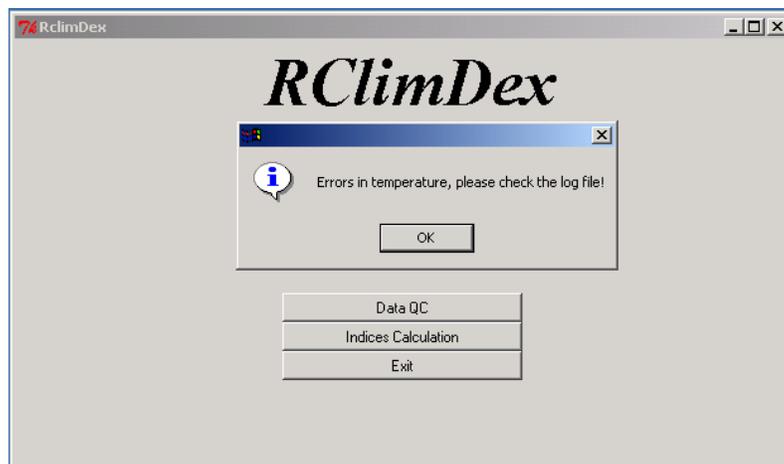
Figura 11. a) Parámetros de entrada para ejecución de RClindex

b) Mensaje de finalización de proceso de Control de Calidad

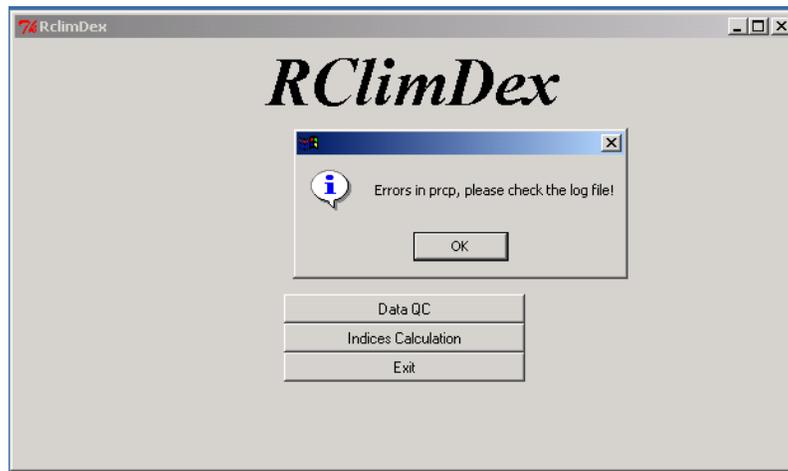
Fuente: Manual Usuario RClindex

El proceso de control de calidad nos mostrará posibles errores encontrados tras el análisis de las series de tiempo. Valores inconsistentes o atípicos serán registrados como reportados como errores (temperatura máxima menor a la mínima, precipitación negativa, precipitación muy elevada, temperaturas bajas muy cercanas a cero) y guardados como archivo de texto para su posterior revisión.

a)



b)



c)

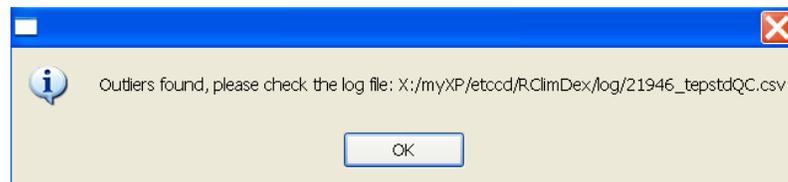


Figura 12. a) Mensaje de errores en temperatura

b) Mensaje de errores en precipitación c) Mensaje de presencia de datos aberrantes

Fuente: Manual Usuario RClindex

3.4.3. Cálculo de índices

El cálculo de índices se realiza a posterior al proceso de Control de Calidad, una vez que el usuario haya revisado el reporte de datos calificados como erróneos o aberrantes.

Es posible calcular los 27 índices presentados en el anexo 1, sin embargo, el usuario puede seleccionar los índices a calcular (tabla 4 para este estudio).

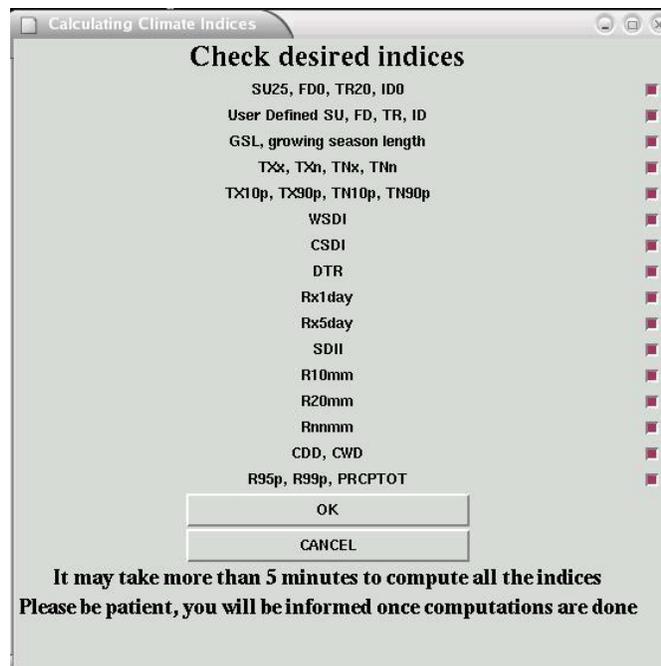


Figura 13. Ventana de selección de índices climáticos para calcular con RClimdex

Fuente: Manual Usuario RClimdex

3.4.4. Salida de resultados

La serie de índices resultantes son almacenados en formato Excel y pueden ser presentados a modo de tabla (tabla 5). Se generan además gráficos que presentan las series anuales con tendencias calculadas por regresión lineal de

mínimos cuadrados y regresión lineal con ponderamientos locales. En los gráficos se muestra también las estadísticas de ajuste de curvas.

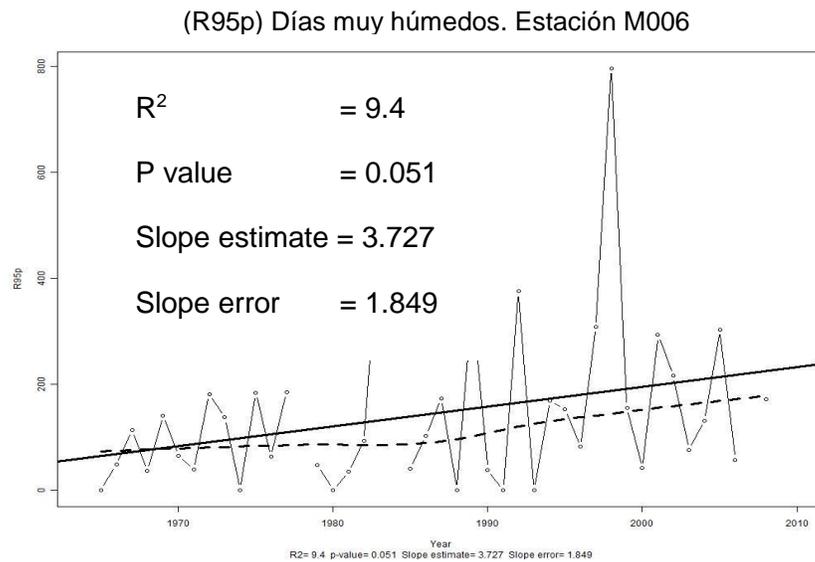


Figura 14. Resultado gráfico para el Índice climático R95p (días muy húmedos)

Elaboración: Fernando Jarrín, Septiembre 2012

CAPITULO IV

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.4. Análisis de índices climáticos

La hipótesis pretende demostrar que hay diferencias importantes en el comportamiento de la precipitación y la temperatura en la última década en relación al período comprendido entre los años 1960 a 2010. Como se muestra en la figura 14, se encontró índices que demostraban en efecto, signos de cambios en los parámetros a lo largo de las series.

La aceptación o rechazo de las tendencias o cambios se basó en los valores P calculados para cada índice a partir de RClimdex. Se reportaron diferencias significativas en precipitación y temperatura en las series que reportaron hasta un

valor $P < 0.05$ para intervalos de confianza de 95%, y $P < 0.01$ para intervalos de confianza de 99%.

Tabla 4. Índices climáticos para las estaciones de la Demarcación Guayas

EMC	Índices	Meaning	StartYear	EndYear	Slope	Slope Error	P_Value
M006	r95p	Días muy	1965	2005	3.917	1.849	0.447
	tn10p	Noches frías	1965	2005	-0.635	0.137	0
	tnn	Mínima Tmin	1965	2005	0.021	0.011	0.077
	tn90p	Noches	1965	2005	0.533	0.187	0.007
	txx	Máxima Tmáx	1965	2005	0.004	0.01	0.678
	tx90p	Días calientes	1965	2005	0.085	0.107	0.434
M031	r95p	Días muy	1965	2005	3.917	5.093	0.447
	tn10p	Noches frías	1965	2005	-0.635	0.137	0
	tnn	Mínima Tmin	1964	2010	0.021	0.011	0.077
	tn90p	Noches	1965	2005	0.533	0.187	0.007
	txx	Máxima Tmáx	1965	2005	0.004	0.01	0.678
	tx90p	Días calientes	1965	2005	0.085	0.107	0.434
M174	r95p	Días muy	1965	2005	N/A	N/A	N/A
	tn10p	Noches frías	1965	2005	N/A	N/A	N/A
	tnn	Mínima Tmin	1965	2005	N/A	N/A	N/A
	tn90p	Noches	1965	2005	N/A	N/A	N/A
	txx	Máxima Tmáx	1965	2005	N/A	N/A	N/A
	tx90p	Días calientes	1965	2005	N/A	N/A	N/A
M412	r95p	Días muy	1965	2005	N/A	N/A	N/A
	tn10p	Noches frías	1965	2005	N/A	N/A	N/A
	tnn	Mínima Tmin	1965	2005	N/A	N/A	N/A
	tn90p	Noches	1965	2005	N/A	N/A	N/A
	txx	Máxima Tmáx	1965	2005	N/A	N/A	N/A
	tx90p	Días calientes	1965	2005	N/A	N/A	N/A
M411	r95p	Días muy	1965	2005	N/A	N/A	N/A
	tn10p	Noches frías	1965	2005	N/A	N/A	N/A
	tnn	Mínima Tmin	1965	2005	N/A	N/A	N/A
	tn90p	Noches	1965	2005	N/A	N/A	N/A
	txx	Máxima Tmáx	1965	2005	N/A	N/A	N/A
	tx90p	Días calientes	1965	2005	N/A	N/A	N/A

N/A: datos insuficientes para calcular dichos índices.

Elaboración: Fernando Jarrín, Septiembre 2012

Tabla 5. Resultados de índices climáticos para las estaciones de la Demarcación

Hidrográfica Manabí

EMC	Indices	Meaning	StartYear	EndYear	Slope	STD_of_Slope	P_Value
M005	r95p	Días muy	1964	2010	3.727	1.849	0.051
	tn10p	Noches frías	1964	2010	-0.423	0.109	0
	tnn	Mínima Tmin	1964	2010	0.026	0.012	0.035
	tn90p	Noches	1964	2010	0.467	0.211	0.033
	txx	Máxima Tmáx	1964	2010	0.039	0.012	0.002
	tx90p	Días calientes	1964	2010	0.552	0.162	0.002
M162	r95p	Días muy	1964	2010	-5.144	10.481	0.627
	tn10p	Noches frías	1964	2010	-0.064	0.324	0.845
	tnn	Mínima Tmin	1964	2010	0.029	0.017	0.09
	tn90p	Noches	1964	2010	0.818	0.283	0.008
	txx	Máxima Tmáx	1964	2010	-0.033	0.01	0.002
	tx90p	Días calientes	1964	2010	-0.106	0.145	0.469
M165	r95p	Días muy	1964	2010	2.88	2.442	0.246
	tn10p	Noches frías	1964	2010	N/A	N/A	N/A
	tnn	Mínima Tmin	1964	2010	-0.013	0.036	0.714
	tn90p	Noches	1964	2010	N/A	N/A	N/A
	txx	Máxima Tmáx	1964	2010	0.067	0.039	0.1
	tx90p	Días calientes	1964	2010	N/A	N/A	N/A
M167	r95p	Días muy	1964	2010	N/A	N/A	N/A
	tn10p	Noches frías	1964	2010	N/A	N/A	N/A
	tnn	Mínima Tmin	1964	2010	N/A	N/A	N/A
	tn90p	Noches	1964	2010	N/A	N/A	N/A
	txx	Máxima Tmáx	1964	2010	N/A	N/A	N/A
	tx90p	Días calientes	1964	2010	N/A	N/A	N/A
M169	r95p	Días muy	1964	2010	6.341	4.726	0.189
	tn10p	Noches frías	1964	2010	N/A	N/A	N/A
	tnn	Mínima Tmin	1964	2010	-0.054	0.097	0.591
	tn90p	Noches	1964	2010	N/A	N/A	N/A
	txx	Máxima Tmáx	1964	2010	-0.011	0.034	0.751
	tx90p	Días calientes	1964	2010	N/A	N/A	N/A

N/A: datos insuficientes para calcular dichos índices.

Elaboración: Fernando Jarrín, Septiembre 2012

En las Tablas 5 y 6, el signo positivo de “Slope” significa que aumenta la pendiente de la tendencia y viceversa, el valor de la magnitud según el signo indica la cantidad de días por año en que aumenta o disminuye el índice de interés.

Para la Demarcación Hidrográfica Guayas, en base a la pendiente negativa del índice climático tn_{10p} para la estación M006 se puede predecir que habrá un decremento de 0.635 noches frías por año. El índice tn_{90p} indica que número de noches calientes aumentará en 0.533 por año. Se reportan los mismos resultados para la estación M031.

El resto de índices no cumplieron los criterios de aprobación por lo que no se los considera como válidos. Esto pudiera deberse a los vacíos de información presentes en los datos históricos que generan discontinuidad en las series de tiempo y no permiten realizar una buena homogenización.

(TN10p) Número de noches frías. Estación M006

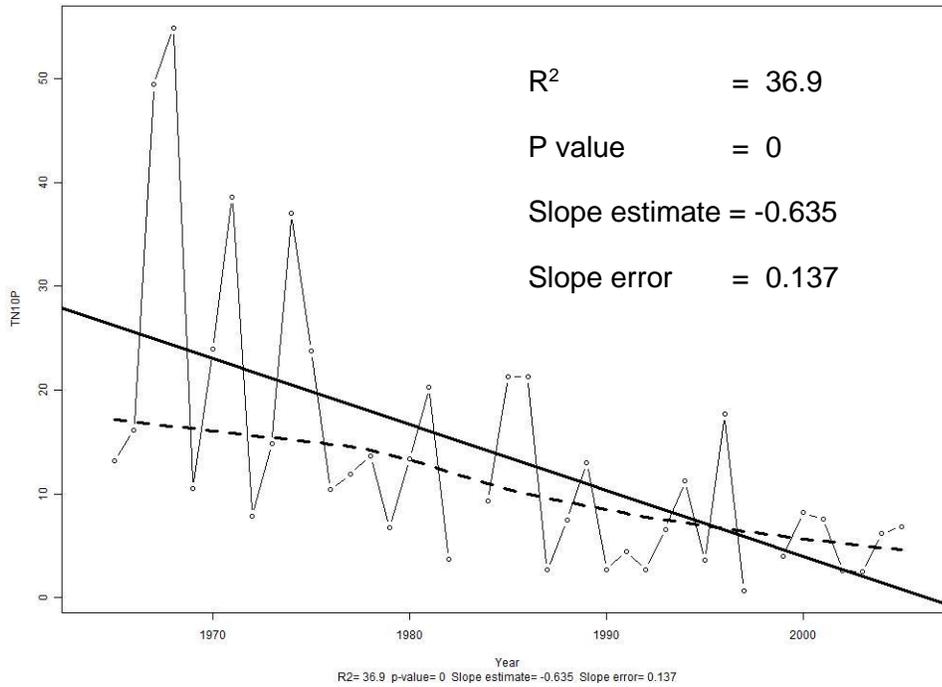


Figura 15. Resultado gráfico para el Índice climático TN10p (número de noches frías)

Elaboración: Fernando Jarrín, Septiembre 2012

(TN90p) Número de noches calientes. Estación M006

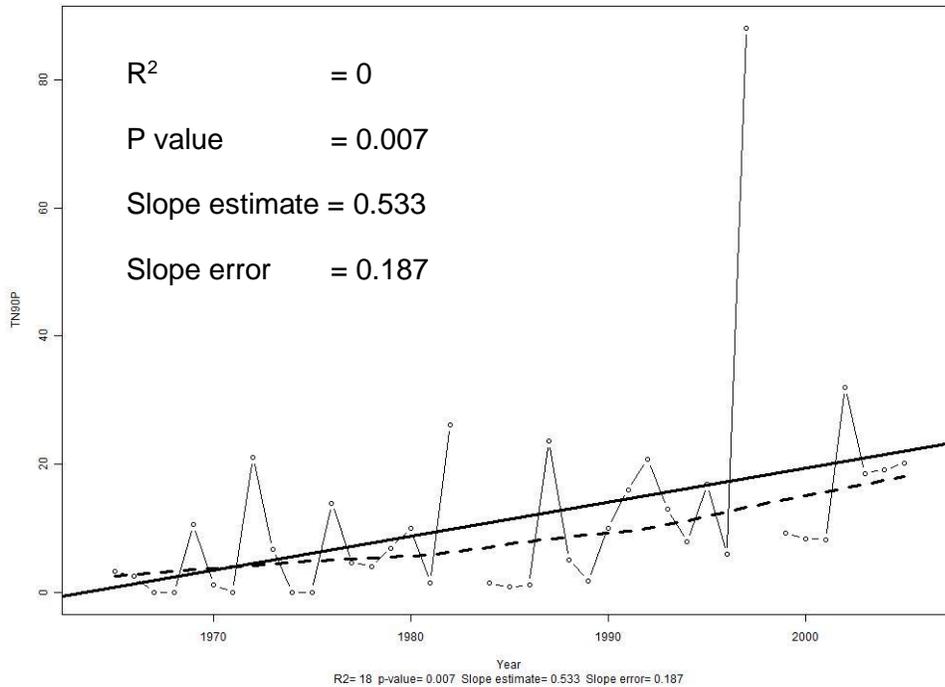


Figura 16. Resultado gráfico para el Índice climático TN90p (número de noches calientes)

Elaboración: Fernando Jarrín, Septiembre 2012

Para la Demarcación Hidrográfica Manabí, en base a la pendiente negativa del índice climático tn10p para la estación M005 se podría predecir que habrá un decremento de 0.423 noches frías por año. El índice tn90p indica que número de noches calientes aumentará en 0.467 por año. De acuerdo al índice TNN, la mínima

temperatura mínima diaria en cada mes aumentaría 0.026°C por año. De igual manera el índice TXX indica que la máxima temperatura máxima diaria en cada mes aumentaría 0.039°C por año.

Para la estación M162 se reporta un incremento del número de noches calientes del 0.818 por año, y se esperaría que la máxima temperatura máxima diaria en cada mes decreciera 0.033°C por año.

El resto de índices no cumplieron los criterios de aprobación por lo que no se los considera como válidos. Esto pudiera deberse a los vacíos de información presentes en los datos históricos que generan discontinuidad en las series de tiempo y no permiten realizar una buena homogenización.

(TNN) Mínima temperatura mínima. Estación M005

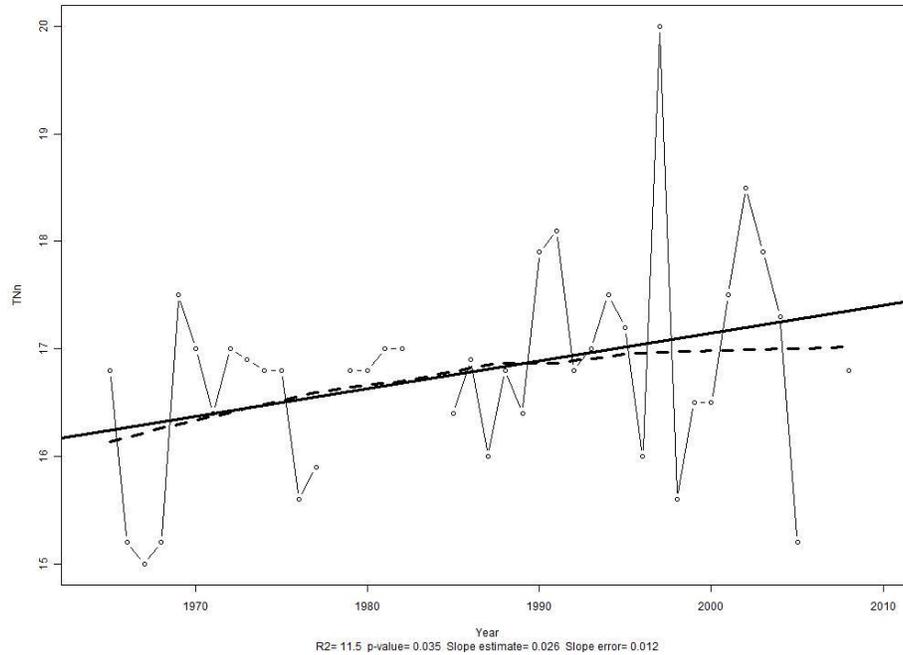


Figura 17. Resultado gráfico para el Índice climático TNN (mínima temperatura mínima)

Elaboración: Fernando Jarrín, Septiembre 2012

(TXX) Máxima temperatura máxima. Estación M005

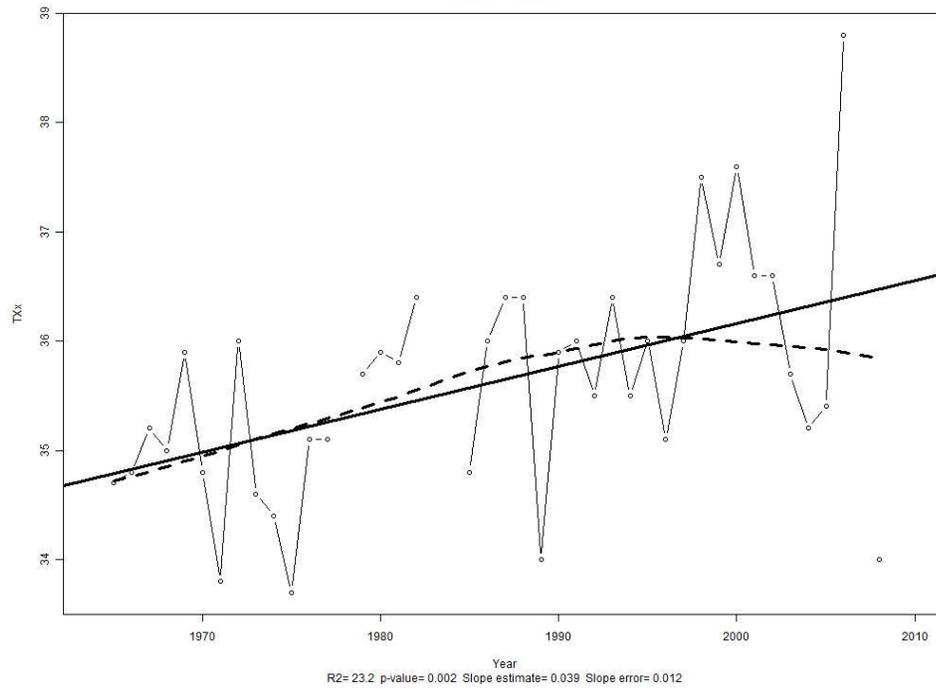


Figura 18. Resultado gráfico para el Índice climático TXX (máxima temperatura máxima)

Elaboración: Fernando Jarrín, Septiembre 2012

En base al análisis de resultados de los índices, se pudiera inferir que existen diferencias significativas en los valores tendenciales de temperatura, y que las mismas apuntan hacia un incremento gradual de la temperatura media del aire, lo que nos hace suponer un proceso de calentamiento.

No se obtuvieron resultados significativos para los datos de precipitación.

4.5. Confiabilidad de los resultados obtenidos

En el manejo de datos, se encontró años enteros sin información de temperatura mínima y máxima en algunas estaciones, lo cual no permite realizar una mejor homogenización entre las estaciones.

La falta de metadata disponible (registro de operación y mantenimiento de los equipos desde su instalación) dificulta determinar si algún dato aberrante observado en los registros se debe a situaciones externas al funcionamiento y manejo normal de los equipos.

Existe también la falla inherente en las series porque algunas observaciones pudieran haber sido mal tomadas por el observador o en su defecto no tomadas.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

1. A partir de los datos históricos de la estación M006 Pichilingue y M031Cañar podemos afirmar hasta con un 99% de confianza que existen diferencias significativas en el comportamiento de la temperatura durante la última década en relación a las medias observadas en las décadas anteriores dentro de la Demarcación Hidrográfica Guayas.
2. No se puede determinar diferencias en las medias de los valores de temperatura y precipitación, ni cambio de tendencias climáticas para los datos obtenidos de las estaciones M174 Ancón, M411 Ingapirca, M412 Suscalpamba.
3. A partir de los datos históricos de la estación M005 Portoviejo y M162 Chone podemos afirmar hasta con un 99% de confianza que existen diferencias significativas en el comportamiento de la temperatura durante la última década en relación a las medias observadas en las décadas anteriores dentro de la Demarcación Hidrográfica Manabí.

No se puede determinar diferencias en las medias de los valores de temperatura y precipitación, ni cambio de tendencias climáticas para los datos obtenidos de las estaciones M165 Rocafuerte, M167 Jama, M169 Julcuy

Recomendaciones

1. Resulta necesaria la generación de técnicas y metodologías para el relleno y homogenización de series de datos meteorológicos a nivel nacional. La discontinuidad temporal y espacial entre las series históricas de registros de las estaciones meteorológicas se traduce en resultados no significativos.
2. Debido a que con tan pocas estaciones que cumplen los requerimientos de información no es posible agruparlas en función a la variabilidad climática y geográfica, aplicando criterios de cercanía, piso climático y altura similares para poder realizar el relleno de las series de precipitación o temperaturas, se recomienda para futuros estudios la generación de estaciones ficticias para distintas zonas homogéneas a partir del re-escalamiento de modelos climáticos globales.

3. En vista de la precipitación presenta una mayor variabilidad en el tiempo que la temperatura, y ante el escenario de escasez de información, se recomienda analizar la variabilidad de este parámetro a través de otra metodología.

BIBLIOGRAFÍA

- CCCMA, (s.f.). Climate Data Homogenization. Obtenido desde <http://cccma.seos.uvic.ca/ETCCDI/homogenization.shtml>
- CLIVAR, (s.f.). Indices and Data. Obtenido desde <http://www.clivar.org/organization/etccdi/indices.php>
- Easterling, D., Alexander, L., Mokssit, A. & Detemmerman, V. (2003). CCI/CLIVAR Workshop to Develop Priority Climate Indices. Extraído desde <http://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/BAMS-84-10-1403>
- Espinoza, J., Vauchel, P., y Ronchail, J. (2005). El Método del Vector Regional de Índices Pluviométricos. Extraído desde <http://docs.google.com/viewer?a=v&pid=sites&srcid=ZGVmYXVsdGRvbWFpbnxqaGFuY2FybG9lc3Bpbm96YXxneDo3ZDRmZDFmNTAxZDZjNDg5&pli=1>
- Frich, P., Alexander, L., Della-Marta, P., Gleason, B., Haylock, M., Klein Tank, A. & Peterson, T. (2002). Observed coherent changes in climatic extremes during

the second half of the twentieth century. Extraído el 17 de Agosto de 2011

(<http://www.int-res.com/articles/cr2002/19/c019p193.pdf>)

- INAMHI, (s.f.). Meteorología Básica – Observaciones Meteorológicas. Extraído desde <http://www.inamhi.gov.ec/educativa/meteorologia.htm>
- IPCC, (s.f.). Reportes de Cambio Climático. Obtenido desde dirección http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data_reports.shtml
- IPCC, (2001). Cambio Climático 2001 - Tercer Reporte de Evaluación. Extraído desde http://www.grida.no/publications/other/ipcc_tar/
- IPCC, (2007). Cambio Climático 2007 - Informe de Síntesis. Extraído desde http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/syr/en/contents.html
- Kiktev, D., Sexton, D., Alexander, L. & Folland, C. (2003). Comparison of Modeled and Observed Trend in Indices of Daily Climate Extremes. Extraído el 20 de Julio de 2011 (<http://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/1520-0442%282003%29016%3C3560%3ACOMAOT%3E2.0.CO%3B2>)

- Muñoz, A., Recalde, C., Cadena, J., Núñez, A., Díaz, J. y Mejía, R. (2010).
Análisis Estadístico con FClimdex para Ecuador. Extraído el 10 de Agosto de 2011 desde <http://cmc.org.ve/portal/publicaciones.php>
- NU, (1997, Febrero). Cumbre para la Tierra +5 - Un futuro sostenible. Extraído desde <http://www.un.org/spanish/conferences/cumbre&5.htm>
- NU, (1992, 12 de Agosto). Informe de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. Extraído desde <http://www.un.org/spanish/esa/sustdev/documents/declaracionrio.htm>
- Secretaría General de la Comunidad Andina (2008). Una Mirada a Nuestro Mundo Cambiante. Extraído desde http://www.comunidadandina.org/public/libro_84.htm
- Vincent, L., Peterson, T., Barros, V., Marino, B., Rusticucci, M., Carrasco, G., Ramirez, E., Alves, L., Ambrizzi, T., Berlato, A., Grimm, M., Marengo, J., Mollion, L., Moncunill, D., Rebello, E., Anunciacao, Y., Quintana, J., Santos, J., Baez, J., Coronel, G., García, J., Trebejo, I., Bidegain, M., Haylock, M. & Karoly, D. (2005).
Observed Trends in Indices of Daily Temperature Extremes in South America

1960-2000. Extraído desde

<http://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/JCLI3589.1>

- Vauchel, P. (s.f.). Presentación de Hydraccess – Introducción. Extraído desde www.mpl.ird.fr/hybam/outils/hydraccess_sp.htm
- Zhang, X., Yang, F. (2004). Manual de Usuario de RClimdex 1.0 - Versión traducida al español por CIIFEN. Extraída desde cccma.seos.uvic.ca/ETCCDMI/RClimDex/RClimDex_Manual_Usuario.doc
- WMO World Meteorological Organization. (2008a). Guide to meteorological instruments and methods of observation, 7th ed. Pt. 1 chap. 6
- WMO World Meteorological Organization. (2008b). Guide to meteorological instruments and methods of observation, 7nd ed. Pt. 1 chap. 2

ANEXO 1. ÍNDICES DE CAMBIO CLIMÁTICO

<u>ID</u>	<u>Nombre del Indicador</u>	<u>Definición</u>	<u>UNIDAD</u>
FDO	Frost days (Días de heladas)	Número de días en un año cuando TN(mínimo diario)<0°C	Días
SU25	Summer days (Días de verano)	Número de días en un año cuando TX(máximo diario)>25°C	Días
ID0	Ice days (Días de hielo)	Número de días en un año cuando TX(máximo diario)<0°C	Días
TR20	Tropical nights (Noches tropicales)	Número de días en un año cuando TN(mínimo diario)>20°C	Días
GSL	Growing season Length (Duración de la estación de cultivo)	Anual (1st Ene a 31 st Dic en HN, 1 st Julio a 30 th Junio en HS) cuenta entre el primer periodo de por lo menos 6 días con TG>5°C y primer periodo después de Julio 1 (Enero 1 en HS) de 6 días con TG<5°C	Días
TXx	Max Tmax	Valor mensual máximo de temperatura máxima diaria	°C
TNx	Max Tmin	Valor mensual máximo de temperatura mínima diaria	°C
TXn	Min Tmax	Valor mensual mínimo de temperatura máxima diaria	°C
TNn	Min Tmin	Valor mensual mínimo de temperatura mínima diaria	°C
TN10p	Cool nights (Noches frías)	Porcentaje de días cuando TN<10th percentil	Días
TX10p	Cool days (Días fríos)	Porcentaje de días cuando TX<10th percentil	Días
TN90p	Warm nights	Porcentaje de días cuando TN>90th percentil	Días

	(Noches calientes)		
TX90p	Warm days (Días calientes)	Porcentaje de días cuando TX>90th percentil	Días
WSDI	Warm spell duration indicador (Indicador de la duración de periodos calientes)	Contaje anual de días con por lo menos 6 días consecutivos en que TX>90th percentil	Días
CSDI	Cold spell duration indicador (indicador de la duración de periodos fríos)	Contaje anual de días con por lo menos 6 días consecutivos en que TN<10th percentil	Días
DTR	Diurnal temperature range (rango diurno de temperatura)	Diferencia media mensual entre TX y TN	°C
RX1day	Max 1-day precipitation amount (Cantidad Máxima de precipitación en un día)	Máximo mensual de precipitación en 1 día	mm
Rx5day	Max 5-day precipitation amount (Cantidad Máxima de precipitación en 5 días)	Máximo mensual de precipitación en 5 días consecutivos	mm
SDII	Simple daily intensity index (Índice simple de intensidad diaria)	Precipitación anual total dividida para el número de días húmedos (definidos por PRCP>=1.0mm) en un año	mm/día
R10	Number of heavy precipitation days (Número de días con precipitación intensa)	Número de días en un año en que PRCP>=10mm	Días

R20	Number of very heavy precipitation days (Número de días con precipitación muy intensa)	Número de días en un año en que PRCP \geq 20mm	Días
Rnn	Number of days above nnmm (Número de días sobre nn mm)	Número de días en un año en que PRCP \geq nn mm, nn es un parámetro definido por el usuario	Días
CDD	Consecutive dry days (Días secos consecutivos)	Número máximo de días consecutivos con RR<1mm	Días
CWD	Consecutive wet days (Días húmedos consecutivos)	Número máximo de días consecutivos con RR \geq 1mm	Días
R95p	Very wet days (Días muy húmedos)	Precipitación anual total en que RR>95 percentil	mm
R99p	Extremely wet days (Días extremadamente secos)	Precipitación anual total en que RR>99 percentil	mm
PRCPTOT	Annual total wet-day precipitation (Precipitación total anual en los días húmedos)	Precipitación anual total en los días húmedos (RR \geq 1mm)	mm

ANEXO 2. ESTACIONES METEOROLOGICAS Y PORCENTAJE DE DATOS FALTANTES

Id	Nombre	No Valores	Fecha	Fecha	%	Duración
M006	PICHILINGUE	752	1-16-1946	12-16-2008	0,529	62,58
M031	CANNAR	592	1-16-1958	12-16-2008	3,268	49,25
M038	MANUEL J.CALLE(V.FORESTAL)	275	1-16-1966	12-16-1998	30,556	22,86
M069	SALINAS INOCAR	151	1-16-1954	12-16-1993	68,542	12,56
M073	TAURA AEROPUERTO	227	1-16-1965	12-16-1983	0,439	18,83
M076	SALINAS-GUAYAS	361	1-16-1946	12-16-1986	26,626	30,02
M157	CHURUTE	7	1-16-1984	12-16-1984	41,667	0,54
M173	PLAYAS-GRAL.VILLAMIL	358	1-16-1962	12-16-2008	36,525	29,78
M174	ANCON	851	1-16-1925	12-16-2005	12,449	70,84
M175	EL PROGRESO-GUAYAS	233	1-16-1981	12-16-2008	30,655	19,36
M199	PATOCOCHA	4	1-16-1984	12-16-1991	95,833	0,33
M223	EL AZUCAR	106	1-16-1984	12-16-2008	64,667	8,8
M228	PUNA	341	1-16-1949	12-16-1999	44,281	28,37
M230	BOCATOMA-CULEBRAS	125	1-16-1973	12-16-1985	19,872	10,35
M231	LA PUNTILLA-PANCHO NEGRO	211	1-16-1966	12-16-1985	12,083	17,51
M233	PARRAQUETE GRANDE	11	1-16-1984	12-16-1984	8,333	0,84
M242	CARSHAO	5	1-16-1984	12-16-1991	94,792	0,41
M245	EL SUSPIRO	223	1-16-1984	12-16-2008	25,667	18,52
M246	CHONGON	128	1-16-1986	12-16-2008	53,623	10,63
M411	INGAPIRCA	471	1-16-1963	12-16-2008	14,674	39,18
M412	SUSCALPAMBA(CAPILLA)	529	1-16-1963	12-16-2008	4,167	44
M413	COCHANCAY	210	1-16-1966	12-16-1985	12,5	17,43
M472	JULIO MORENO(SIMON BOLIVAR)	178	1-16-1964	12-16-2000	59,91	14,8
M473	ZAPOTAL-SANTA ELENA	252	1-16-1964	12-16-1986	8,696	20,92
M477	PUERTO INCA(CANNAR EN)	459	1-16-1967	12-16-2008	8,929	38,17
M522	CANNAR AJ RAURA(SAN MIGUEL)	107	1-16-1967	12-16-1977	18,939	8,85
M523	EL TAMBO-CANNAR	119	1-16-1965	12-16-1974	0,833	9,83
M527	COCHANCAY LA CADENA	129	1-16-1973	12-16-1984	10,417	10,67
M536	SAN GERARDO-CANNAR	36	1-16-1982	12-16-1984	0	2,92
M537	SAN JACOBO-VAINILLO	134	1-16-1973	12-16-1984	6,944	11,09
M553	EL MORRO	27	1-16-1951	12-16-1953	25	2,19
M559	SANTA MAGDALENA	10	1-16-1951	12-16-1953	72,222	0,81
M560	VILLINGOTA	26	1-16-1951	12-16-1953	27,778	2,11
M619	MANGLARALTO	169	1-16-1989	12-16-2008	29,583	14,02

Elaboración: Fernando Jarrín, Septiembre 2012