

**ANÁLISIS DE ESTUDIOS E INVESTIGACIONES DE TENDENCIAS CLIMÁTICAS
Y EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS EN ECUADOR**

GUILLERMO EDUARDO ARMENTA PORRAS

**DOCUMENTO TÉCNICO – PRODUCTO 7
CONTRATO No: IC/2015/0155**

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	5
CLIMDEX	6
ANÁLISIS ESTUDIO “TENDENCIAS DE ÍNDICES CLIMÁTICOS PARA ECUADOR, PERÍODO 1965-2010” (CIIFEN)	8
ANÁLISIS ESTUDIO “ANÁLISIS ESTADÍSTICO CON CLIMDEX DE ÍNDICES CLIMÁTICOS PARA LAS PROVINCIAS DE PICHINCHA Y NAPO” (ÁNGEL MUÑOZ)	16
ANÁLISIS ESTUDIO “ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE DATOS METEOROLÓGICOS MENSUALES Y DIARIOS PARA LA DETERMINACIÓN DE VARIABILIDAD CLIMÁTICA Y CAMBIO CLIMÁTICO EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO” (SERRANO Y OTROS)	28
CONCLUSIONES	34
RECOMENDACIONES	35
REFERENCIAS	36

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estaciones utilizadas en el estudio. Fuente: CIIFEN, 2014.	8
Figura 2. Índice “Valor máximo de la temperatura máxima (TXX)”. Fuente: CIIFEN, 2014.	9
Figura 3. Índice “Valor mínimo de la temperatura máxima (TXN)”. Fuente: CIIFEN, 2014.	10
Figura 4. Índice “Valor mínimo de la temperatura mínima (TNN)”. Fuente: CIIFEN, 2014.	11
Figura 5. Índice “Diferencia entre la temperatura máxima y la temperatura mínima (DTR)”. Fuente: CIIFEN, 2014.	12
Figura 6. Índice “Intensidad de la lluvia (SDII)”. Fuente: CIIFEN, 2014.	13
Figura 7. Índice “Número de días con lluvias superiores al percentil 95 (r95p)”. Fuente: CIIFEN, 2014.	14
Figura 8. Índice “Precipitación total anual (PRCPTOT)”. Fuente: CIIFEN, 2014.	15
Figura 9. Estaciones utilizadas en el estudio de Pichincha y Napo. Fuente: Muñoz, 2013.	17
Figura 10. Índice “Precipitación total anual (PRCPTOT)”. Fuente: Muñoz, 2013.	19
Figura 11. Índice “Número de días con lluvias superiores al percentil 95 (r95p)”. Fuente: Muñoz, 2013.	20
Figura 12. Índice “Cantidad de días secos consecutivos en un año (CDD)”. Fuente: Muñoz, 2013.	21
Figura 13. Índice “Mínimo de la temperatura máxima (TXN)”. Fuente: Muñoz, 2013.	22
Figura 14. Índice “Mínimo de la temperatura mínima (TNN)”. Fuente: Muñoz, 2013.	23
Figura 15. Índice “Porcentaje de días fríos por década (TX10p)”. Fuente: Muñoz, 2013.	24
Figura 16. Índice “Porcentaje de noches frías por década (TN10p)”. Fuente: Muñoz, 2013.	25

Figura 17. Índice “Porcentaje de días cálidos por década (TX90p)”.	26
Fuente: Muñoz, 2013.	
Figura 18. Índice “Porcentaje de noches cálidas por década (TX90p)”.	27
Fuente: Muñoz, 2013.	
Figura 19. Estaciones utilizadas en el estudio de eventos climáticos extremos.	29
Fuente: Serrano et. al., 2012.	
Figura 20. Tendencias de índices asociados a las temperaturas máxima (a) y mínima (b).	30
Fuente: Serrano et. al., 2012.	
Figura 21. Tendencias del índice “Diferencia entre la temperatura máxima y la temperatura mínima (DTR)”. Fuente: Serrano et. al., 2012.	31
Figura 22. Tendencias del índice “Cantidad de días secos consecutivos en un año (CDD)”.	32
Fuente: Serrano et. al., 2012.	

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Listado de índices utilizados en el estudio de Pichincha y Napo.	18
Fuente: Muñoz, 2013.	
Tabla 2. Índices para las temperaturas máxima y mínima utilizados en el estudio para el Distrito Metropolitano de Quito. Fuente: Serrano et. al., 2012.	33
Tabla 3. Índices para la precipitación utilizados en el estudio para el Distrito Metropolitano de Quito. Fuente: Serrano et. al., 2012.	33

ANÁLISIS DE ESTUDIOS E INVESTIGACIONES DE TENDENCIAS CLIMÁTICAS Y EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS EN ECUADOR

INTRODUCCIÓN

Una variación en la frecuencia o en la intensidad de los eventos climáticos extremos trae consigo un impacto importante en las diferentes actividades humanas. Debido a esta posible afectación, es necesario realizar un adecuado análisis de este tipo de eventos, y para ello se requieren datos a resolución temporal diaria. La recopilación de esta información a escala global es una tarea bastante compleja, en parte a la limitada disponibilidad de series de datos confiable y de una extensión suficiente para la evaluación de los eventos extremos (al menos 15 años), así como su tiempo de oportunidad.

Desde hace varios años, en Ecuador se vienen realizando diversos estudios e investigaciones en los que se analiza la tendencia de las principales variables climatológicas (precipitación y temperatura) a partir de datos observados, con el fin de conocer cómo han venido cambiando tanto el comportamiento de estas variables como los eventos extremos relacionados a las mismas. Sin embargo, estos estudios en su mayoría han sido aplicados apenas a algunas regiones y/o estudios específicos. Solamente el Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno “El Niño” (CIIFEN) ha realizado un estudio a nivel nacional de las tendencias climáticas y los eventos climáticos extremos.

A continuación se presenta el análisis de 3 estudios realizados para diferentes regiones entre los años 2011 y 2015, en los cuales se examinan las tendencias climáticas y eventos climáticos extremos. Este análisis sea hecho tomando las publicaciones finales de estos estudios, revisando la cantidad de estaciones utilizadas, el periodo de tiempo analizado, los índices y los resultados obtenidos para cada estudio. En el primer estudio, realizado por el CIIFEN, se muestran los análisis para diversas estaciones distribuidas a lo largo de Ecuador (CIIFEN, 2014). En el segundo estudio, se analizan las tendencias y los eventos extremos para Pichincha y Napo (Muñoz, 2013) y en el tercer estudio se hace el análisis para el distrito metropolitano de Quito (Serrano et. al., 2012). El objetivo es determinar las metodologías utilizadas para los análisis y comparar los resultados obtenidos con ellas.

CLIMDEX

El ETCCDMI (*Expert Team on Climate Change Detection Monitoring and Indices*) coordina el desarrollo, cálculo y análisis de un conjunto de índices estándar para la evaluación y el análisis de las tendencias climáticas y los eventos climáticos extremos, de tal forma que se puedan incorporar y utilizar a nivel global (Karl, Nicholls y Ghazi, 1999; Peterson, 2005). Estos índices se obtienen a partir de los datos diarios de precipitación y temperaturas máxima y mínima, y su cálculo se realiza a través del software estadístico Climdex. Este software fue desarrollado por Byron Gleason del NCDC (*National Climate Data Centre*) de la NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) y permite el cálculo de 34 índices básicos recomendados por el ETCCDMI. Diversas versiones del Climdex han sido desarrolladas bajo diferentes lenguajes de programación, siendo los más utilizados los desarrollados en R (RClimdex) y Fortran (FClimdex).

Entre las ventajas de las herramientas Climdex se tienen las siguientes:

- Su desarrollo bajo los lenguajes de programación R y Fortran permiten el cálculo de los índices bajo herramientas en las que se puede realizar la detección y corrección de posibles errores, y en algunos casos, la automatización de los cálculos.
- Simplifica la tarea del cálculo de los índices, al únicamente tomar como datos de entrada las series diarias de precipitación y temperaturas máxima y mínima.
- No sólo hace el cálculo de los índices estándar para la evaluación y el análisis de las tendencias climáticas y los eventos climáticos extremos, sino que además realiza gráficas y análisis de tendencias de los mismos así como el cálculo de la confiabilidad de los mismos.
- Es una herramienta muy utilizada por la comunidad científica, siendo especialmente utilizada para análisis regionales de tendencias climáticas y para zonas donde se realizan análisis hidrológicos.

Pese a ser una muy buena herramienta, Climdex tiene algunas limitaciones, entre ellas:

- La herramienta realiza un control de calidad muy básico de las series de entrada (por ejemplo la eliminación de valores atípicos con valores muy altos), y no realiza homogeneización de los datos¹ de entrada. Estas tareas de control de calidad y/o complementación de series deben ser realizadas de forma independiente para cada estudio.
- Posee restricciones de cálculo de algunos índices según el faltante de datos (por ejemplo, el no cálculo de índices mensuales si hay mínimo 3 días con datos faltantes en la serie o el no cálculo de las tendencias si hacen falta el 30% o más de la información).
- Se deben tener series de datos de calidad confiable y de al menos 15 años, con el fin de reducir la incertidumbre en las tendencias climáticas y en los índices a analizar. Si se tienen series de menos años, los análisis de tendencias climáticas no son apropiados puesto que no se tendría información de la afectación por fenómenos de variabilidad climática interanual e intranual (eventos El Niño/La Niña, etc.), y si las series no poseen una buena calidad, los índices resultantes carecerían de confiabilidad, puesto que desde los datos de entrada ya habría una alta incertidumbre asociada con los valores de las variables climáticas.
- El cálculo de los índices para las estaciones a utilizar debe hacerse de forma manual y para cada estación o punto por vez. Si se tienen muchas estaciones, este proceso puede llevar bastante tiempo, especialmente en lo que se refiere a la organización de los índices para análisis conjuntos.

¹ Los test de homogeneidad se utilizan para determinar la igualdad o semejanza en la naturaleza de varios elementos de una población.

ANÁLISIS ESTUDIO “TENDENCIAS DE ÍNDICES CLIMÁTICOS PARA ECUADOR, PERÍODO 1965-2010” (CIIFEN)

Este estudio, realizado en el año 2014, hace parte del proyecto “Información de cambio climático y biodiversidad para el fomento de políticas públicas de conservación y adaptación en la región de los Andes Tropicales”. Dentro de este proyecto principalmente lo que se realizó fue la elaboración de escenarios de cambio climático para Ecuador, Perú y Bolivia, utilizando datos de diferentes modelos globales y de dos modelos regionales: REMO y MRI-AGCM (CIIFEN, 2014).

En lo referente al análisis de las tendencias climáticas y los eventos climáticos extremos, el trabajo realizado en este estudio consistió en utilizar series diarias de precipitación y temperatura de 19 estaciones distribuidas a lo largo del Ecuador para el periodo 1965-2010 (Figura 1), y con estos datos elaborar el cálculo de 27 índices climáticos para cada estación utilizando la herramienta RClindex, desarrollada en el lenguaje R.

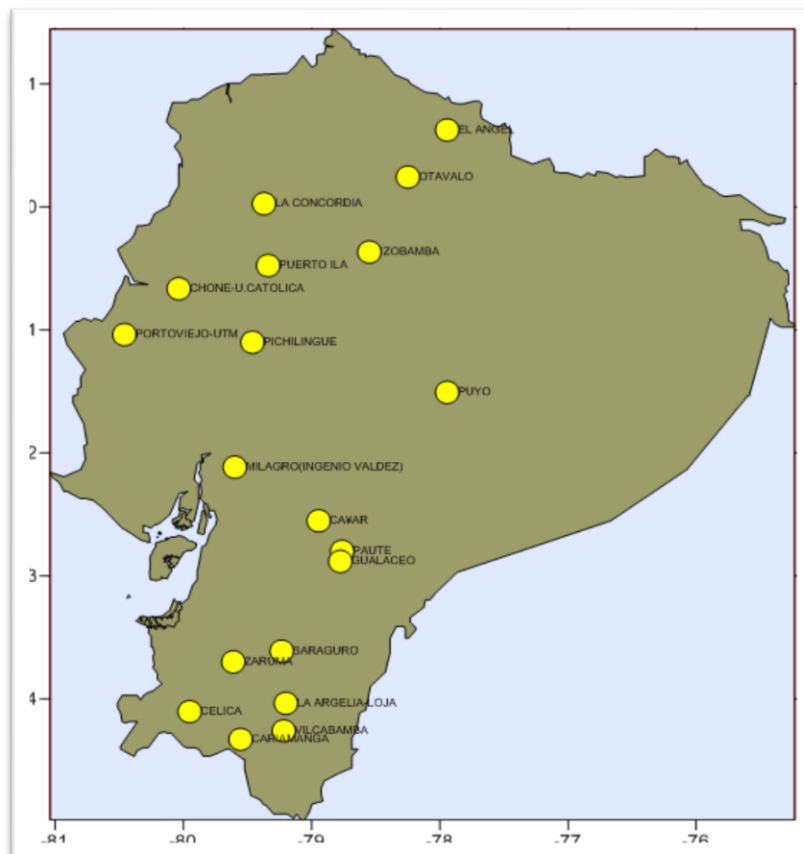


Figura 1. Estaciones utilizadas en el estudio. Fuente: CIIFEN, 2014.

Entre los resultados publicados, se resalta el aumento de los valores máximos de las temperaturas máximas en las estaciones de la Sierra (Figura 2) y la reducción de los valores mínimos de la misma variable (Figura 3), así como el aumento de los valores mínimos de la temperatura mínima para algunas estaciones en el centro del país (Figura 4) y la reducción de la diferencia entre las temperaturas máxima y mínima (Figura 5).

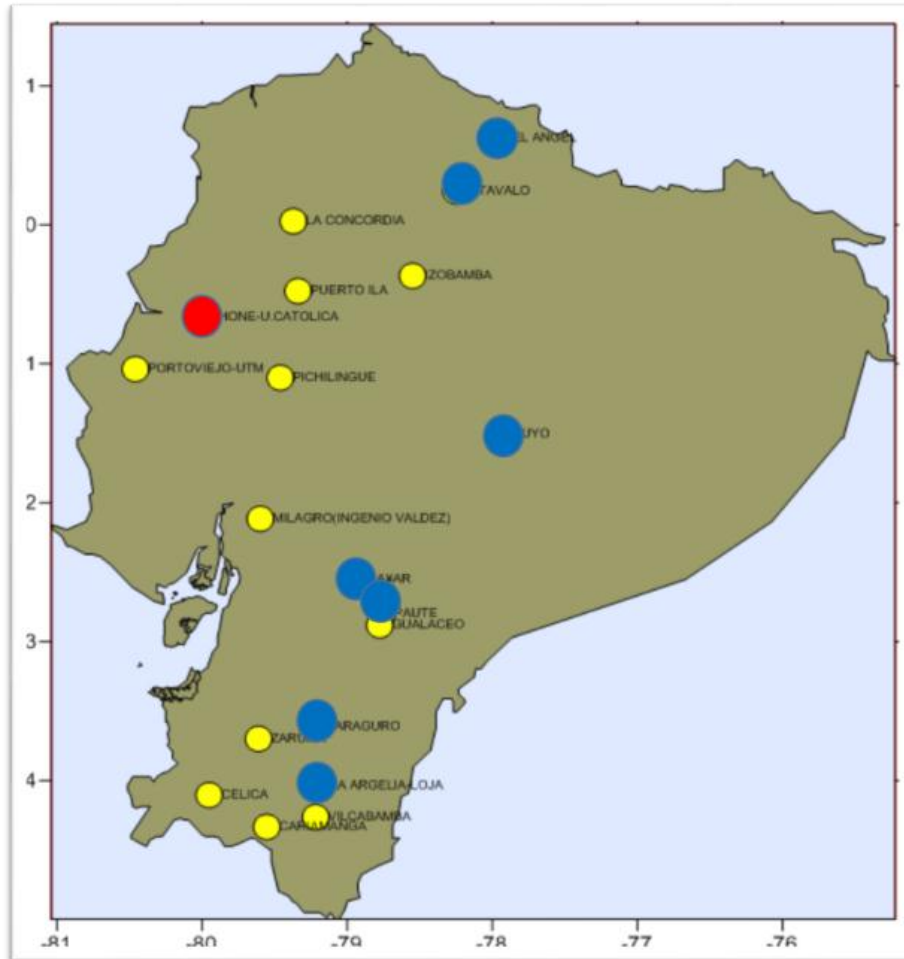


Figura 2. Índice "Valor máximo de la temperatura máxima (TXX)". Los círculos azules indican aumento en el índice, mientras que los círculos rojos indican disminución. Los círculos amarillos indican que el valor del índice no tiene significancia estadística. Fuente: CIIFEN, 2014.

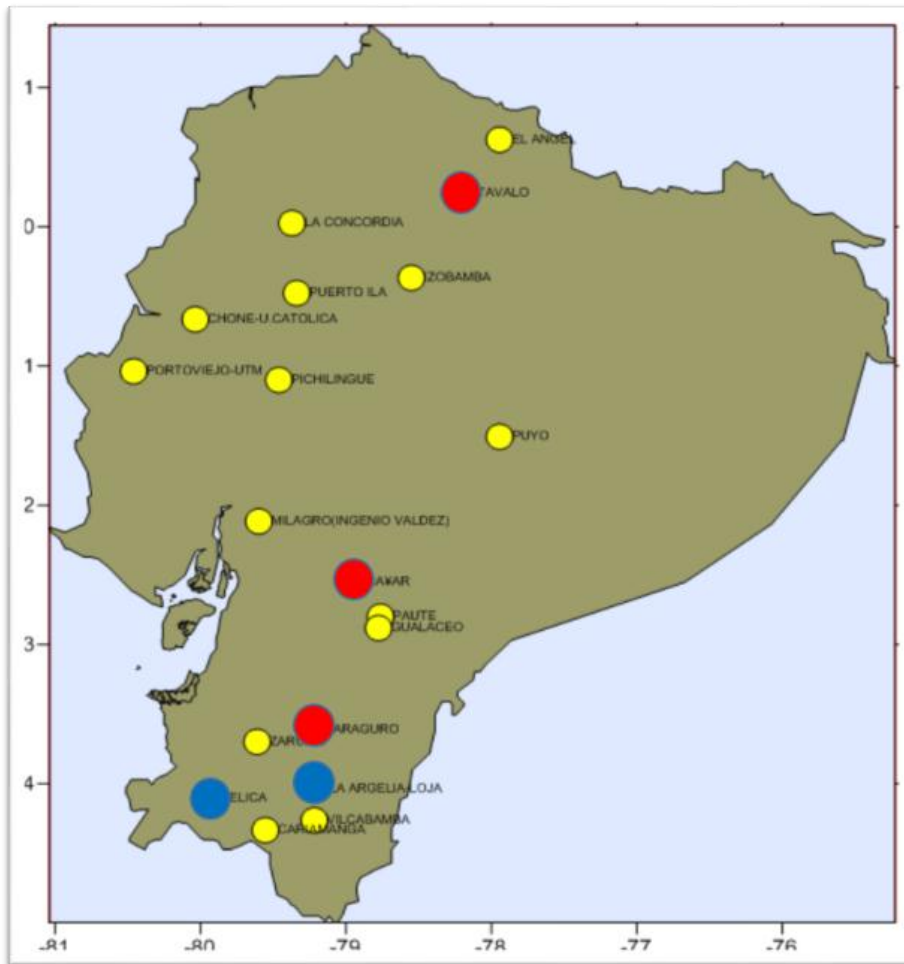


Figura 3. Índice “Valor mínimo de la temperatura máxima (TXN)”. Los círculos azules indican aumento en el índice, mientras que los círculos rojos indican disminución. Los círculos amarillos indican que el valor del índice no tiene significancia estadística. Fuente: CIIFEN, 2014.

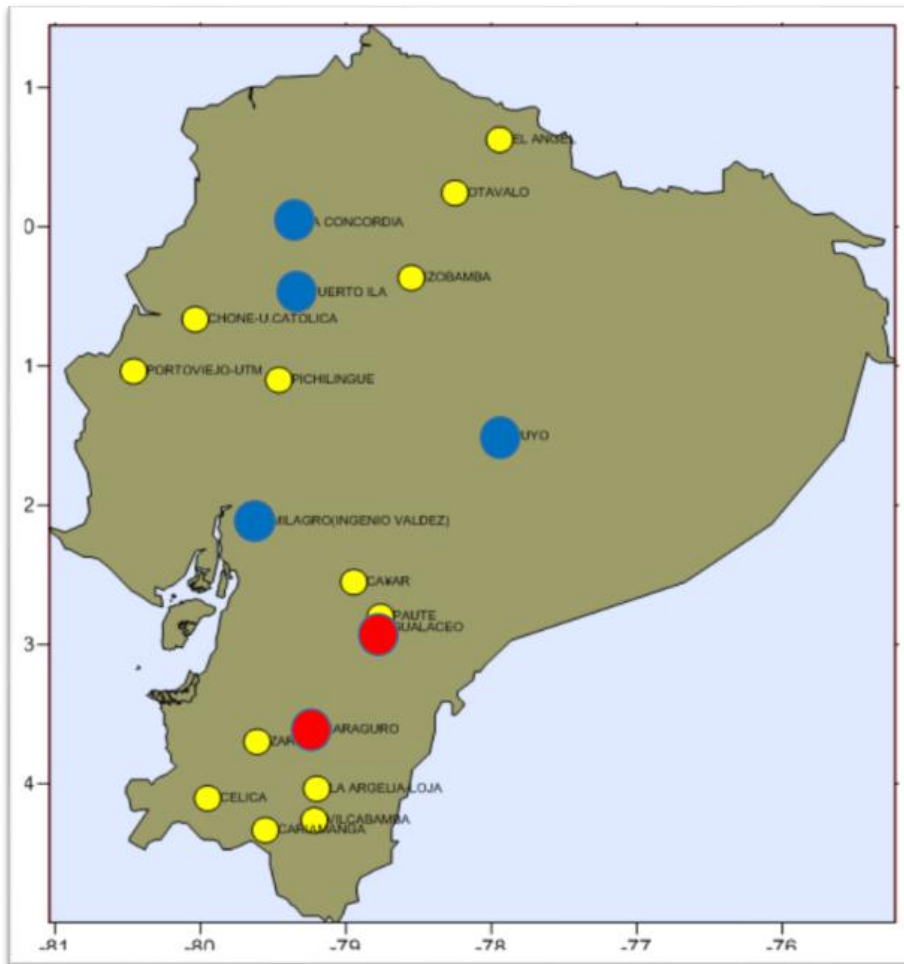


Figura 4. Índice “Valor mínimo de la temperatura mínima (TNN)”. Los círculos azules indican aumento en el índice, mientras que los círculos rojos indican disminución. Los círculos amarillos indican que el valor del índice no tiene significancia estadística. Fuente: CIIFEN, 2014.

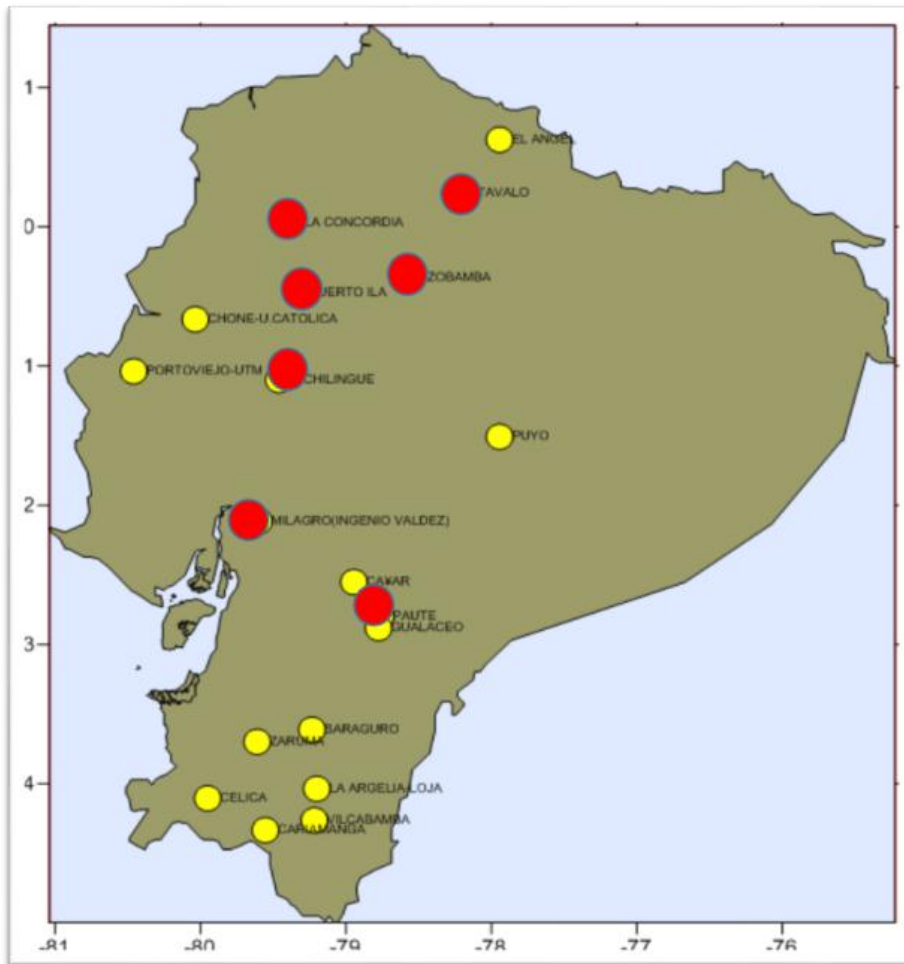


Figura 5. Índice “Diferencia entre la temperatura máxima y la temperatura mínima (DTR)”. Los círculos azules indican aumento en el índice, mientras que los círculos rojos indican disminución. Los círculos amarillos indican que el valor del índice no tiene significancia estadística. Fuente: CIIFEN, 2014.

Para precipitación, el estudio muestra que la intensidad de la lluvia ha aumentado en pocas estaciones del centro de Ecuador, y en el norte apenas una estación muestra una tendencia negativa (Figura 6). En el centro y sur de la Sierra y en una estación de la Costa se presentan incrementos de las precipitaciones extremas (Figura 7) y la precipitación total anual presenta aumentos con alto grado de confianza para apenas 3 estaciones en el centro del país (Figura 8).

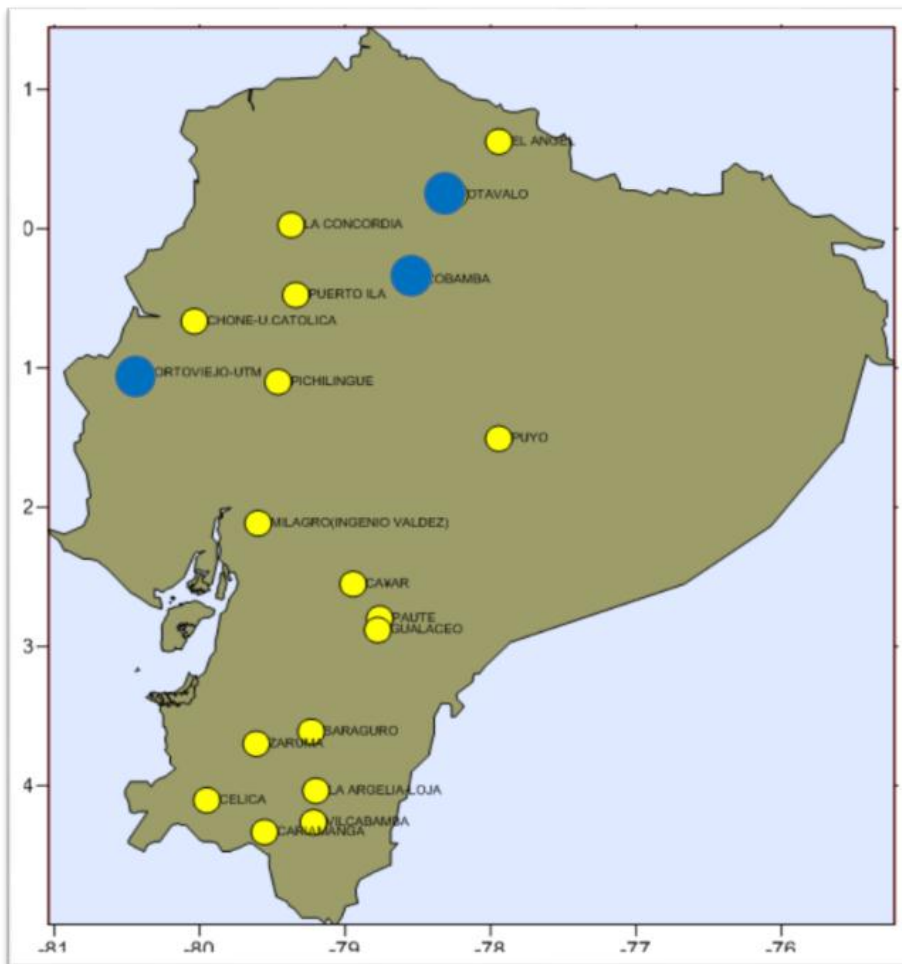


Figura 8. Índice "Precipitación total anual (PRCPTOT)". Los círculos azules indican aumento en el índice, mientras que los círculos rojos indican disminución. Los círculos amarillos indican que el valor del índice no tiene significancia estadística. Fuente: CIIFEN, 2014.

En el estudio se observa que para más de la mitad de las estaciones los valores de los índices presentan poca significancia estadística, lo que no permite determinar de una forma confiable las tendencias climáticas y/o los eventos climáticos extremos asociados a ellos para esas estaciones.

ANÁLISIS ESTUDIO “ANÁLISIS ESTADÍSTICO CON CLIMDEX DE ÍNDICES CLIMÁTICOS PARA LAS PROVINCIAS DE PICHINCHA Y NAPO” (ÁNGEL MUÑOZ)

En este estudio se realizó un análisis estadístico de varios índices climáticos, realizado para estaciones en las provincias de Pichincha y Napo, con datos diarios de precipitación y temperaturas máxima y mínima para el periodo 1984-2012 (Muñoz, 2013). Para este estudio, se utilizó la herramienta FClindex, la cual es una variante del RClindex pero escrita en el lenguaje de programación Fortran.

De un total de 54 estaciones, se realizó la depuración de la información de las variables anteriormente mencionadas, quedando un total de 10 estaciones con datos confiables de precipitación y temperaturas máxima y mínima para el periodo mencionado (1984-2012) (Figura 9). Los datos de las estaciones utilizadas fueron principalmente del Instituto de Meteorología e Hidrología del Ecuador (INAMHI) y de la Dirección de Aviación Civil del Ecuador (DAC).

El control de calidad de los datos diarios se realizó utilizando la herramienta AndesQC (Aguilar, 2005), la cual fue desarrollada en el lenguaje R y permite, entre otros aspectos, aplicar filtros gruesos a la información analizada (valores de las variables por fuera de los rangos admisibles, errores de digitación de los datos, etc.). Así mismo, se realizaron diversas pruebas estadísticas a las series para determinar su confiabilidad (tests de homogeneidad, revisión de las estaciones según su ubicación y altitud, etc.). Para la generación de los resultados, se utilizaron diversas herramientas y scripts, desarrollados en lenguajes como R, NCL (NCAR Command Language), bash (comandos en la terminal de Linux), entre otros.

Los índices utilizados se presentan en la Tabla 1. En el estudio se seleccionaron 12 de los 27 índices que se pueden obtener con FClindex, los cuales fueron los que mostraron la señal más clara para el análisis y son los que más se utilizan en los reportes para la toma de decisiones.

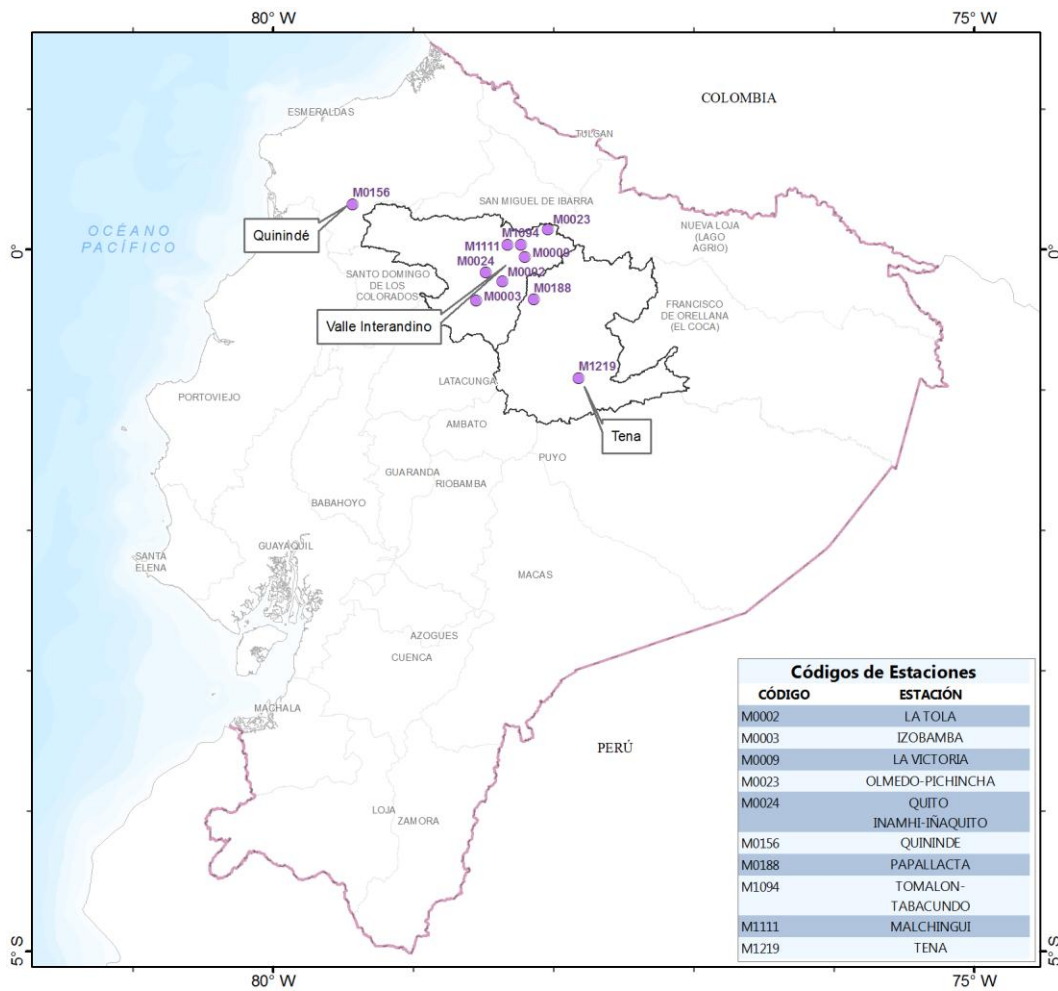


Figura 9. Estaciones utilizadas en el estudio de Pichincha y Napo. Fuente: Muñoz, 2013.

Tabla 1. Listado de índices utilizados en el estudio de Pichincha y Napo. Fuente: Muñoz, 2013.

<u>ID</u>	<u>Nombre del Indicador</u>	<u>Definición</u>	<u>UNIDAD</u>
TN10p	Cool nights (Noches frías)	Porcentaje de días cuando TN<10mo percentil	%días
TN90p	Warm nights (Noches calientes)	Porcentaje de días cuando TN>90mo percentil	%días
TX10p	Cool nights (Noches frías)	Porcentaje de días cuando TN<10mo percentil	%días
TX90p	Warm days (Días calientes)	Porcentaje de días cuando TX>90mo percentil	%días
TNn	Temperatura mínima nocturna	Mínimo de la temperatura mínima	Celsius
TXn	Temperatura mínima diurna	Mínimo de la temperatura máxima	Celsius
CDD	Consecutive dry days (Días secos consecutivos)	Número máximo de días consecutivos con RR<1mm	días
R95p	Very wet days (Días muy húmedos)	Precipitación anual total en que RR>95 percentil	mm
R99p	Extremely wet days (Días extremadamente húmedos)	Precipitación anual total en que RR>99 percentil	mm
RX1D	Precipitación máxima diaria	Precipitación máxima en 1 día	mm
RX5D	Precipitación máxima 5 días	Precipitación máxima en 5 días	mm
PRCP	Annual total wet-day precipitation (Precipitación total anual en los días húmedos)	Precipitación anual total en los días húmedos (RR>=1mm)	mm

Entre los resultados presentados por el estudio, se destaca el aumento de los valores para las estaciones de la zona de estudio, así como el incremento de los días con precipitaciones extremas y una tendencia al aumento de los días secos consecutivos en el año (Figuras 10 a 12). Para las temperaturas, se muestra el aumento de los valores mínimos de las temperaturas máxima y mínima, así como la disminución del porcentaje de días y noches fríos y el aumento porcentual de los días y noches cálidos (Figura 13 a 16).

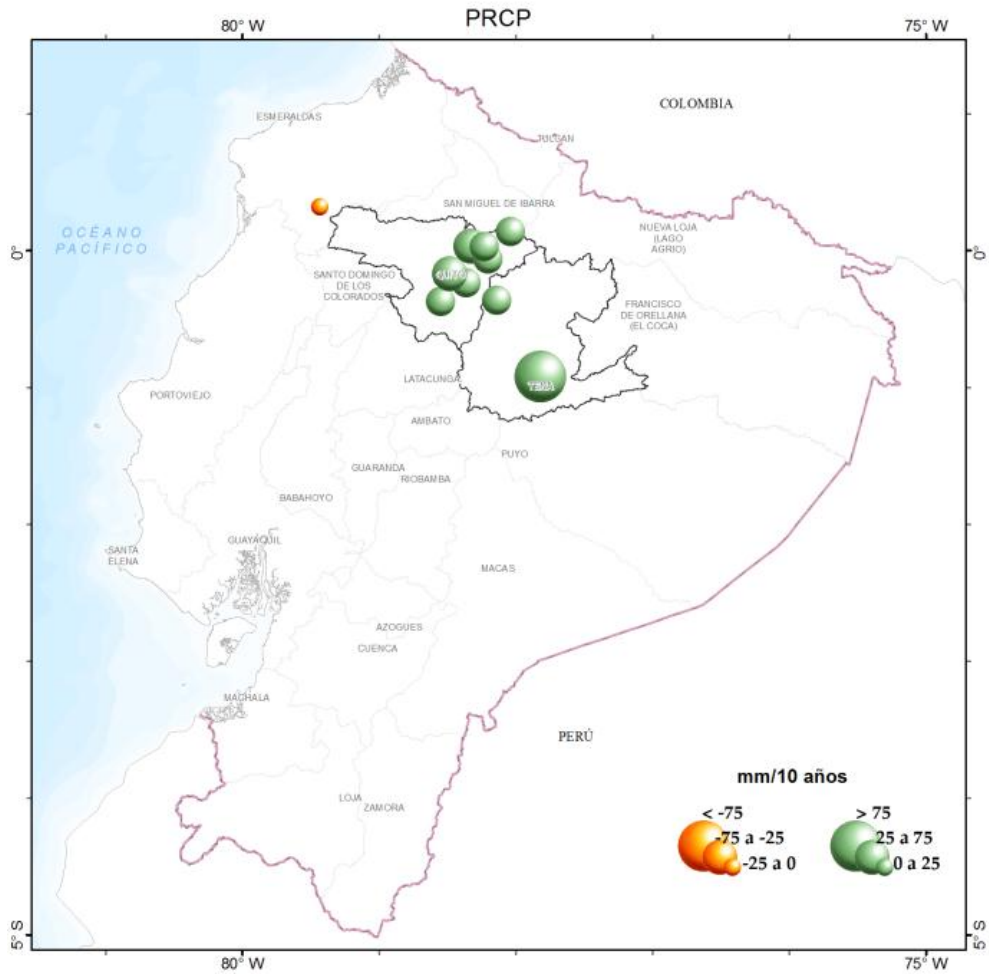


Figura 10. Índice "Precipitación total anual (PRCPTOT)". Los valores en verde indican aumento en el índice, mientras que los que están en naranja indican disminución. Fuente: Muñoz, 2013.

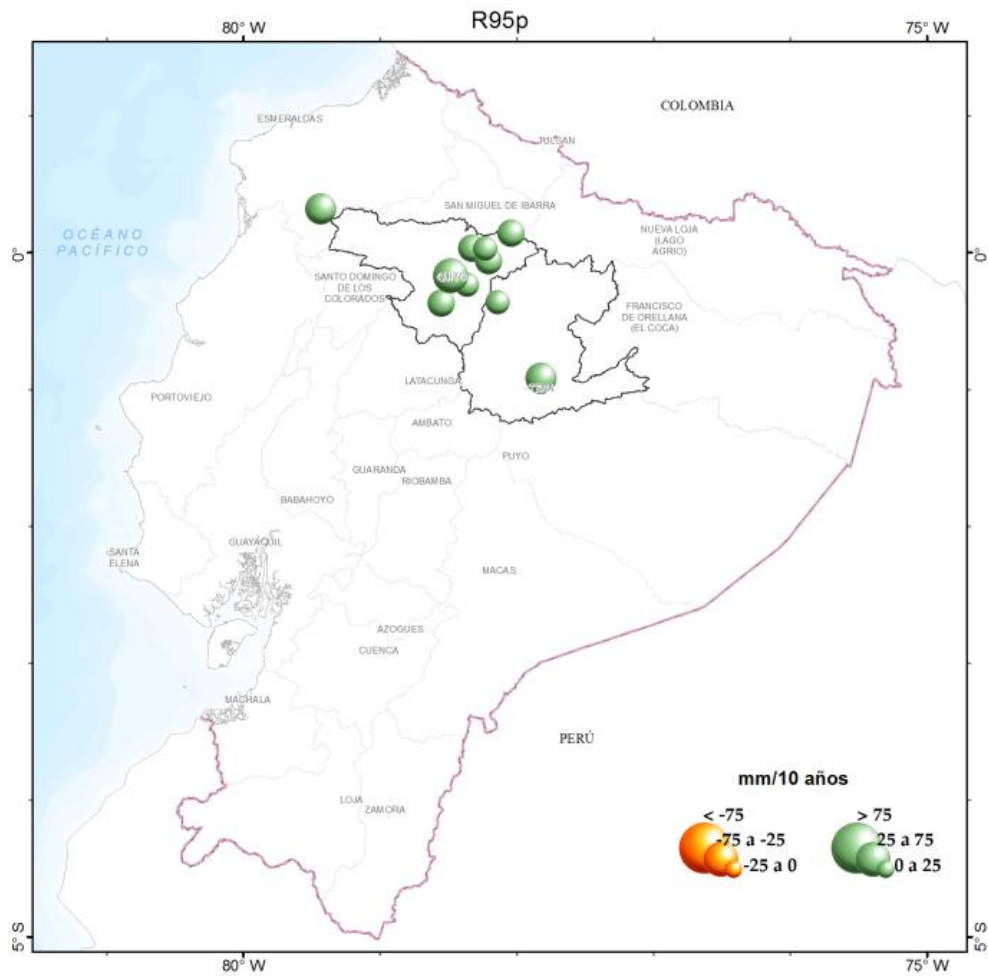


Figura 11. Índice “Número de días con lluvias superiores al percentil 95 (r95p)”. Los valores en verde indican aumento en el índice, mientras que los que están en naranja indican disminución. Fuente: Muñoz, 2013.

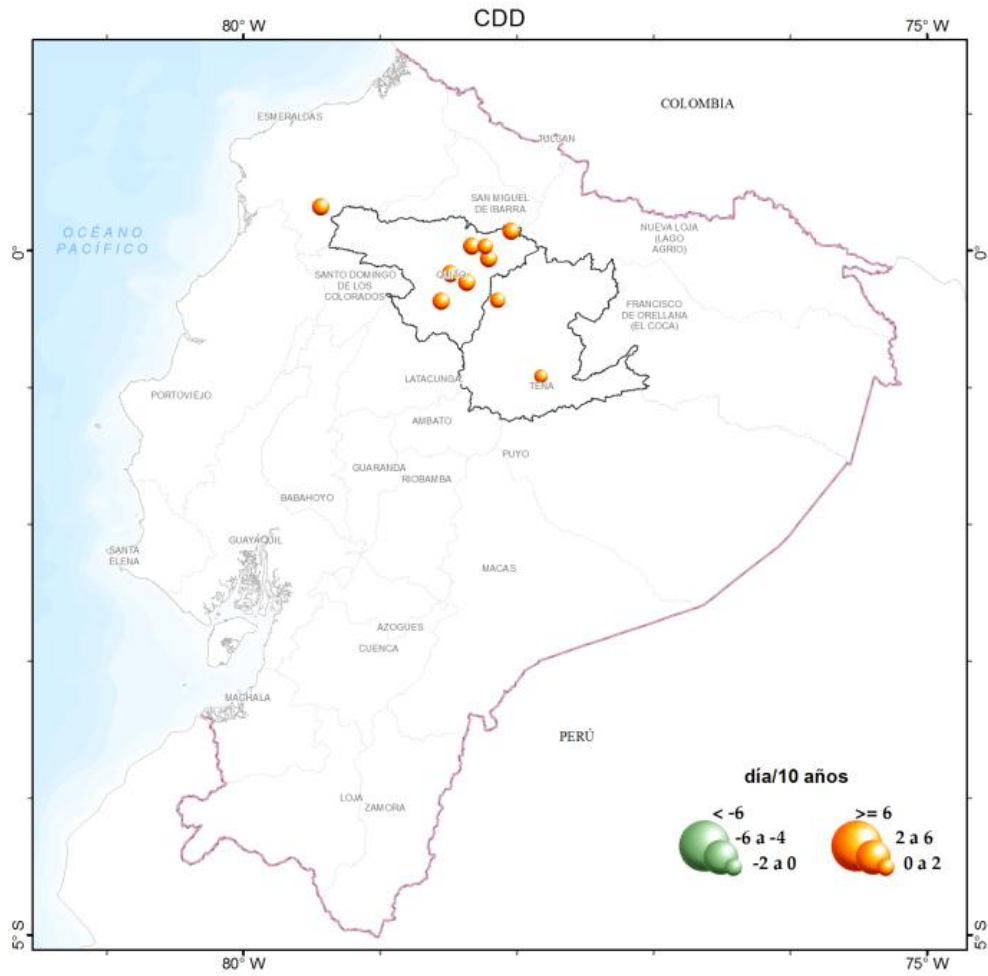


Figura 12. Índice "Cantidad de días secos consecutivos en un año (CDD)". Los valores en verde indican aumento en el índice, mientras que los que están en naranja indican disminución. Fuente: Muñoz, 2013.

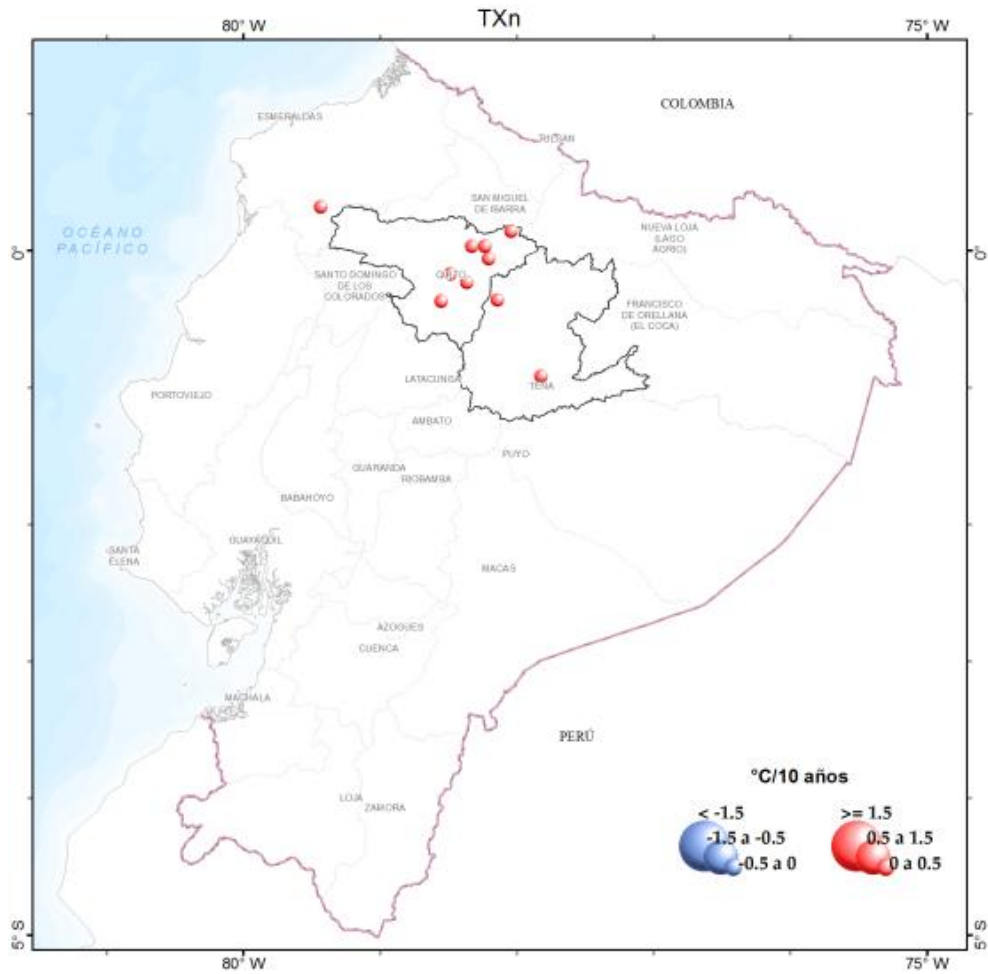


Figura 13. Índice "Mínimo de la temperatura máxima (TXn)". Los valores en rojo indican aumento en el índice, mientras que los que están en azul indican disminución. Fuente: Muñoz, 2013.

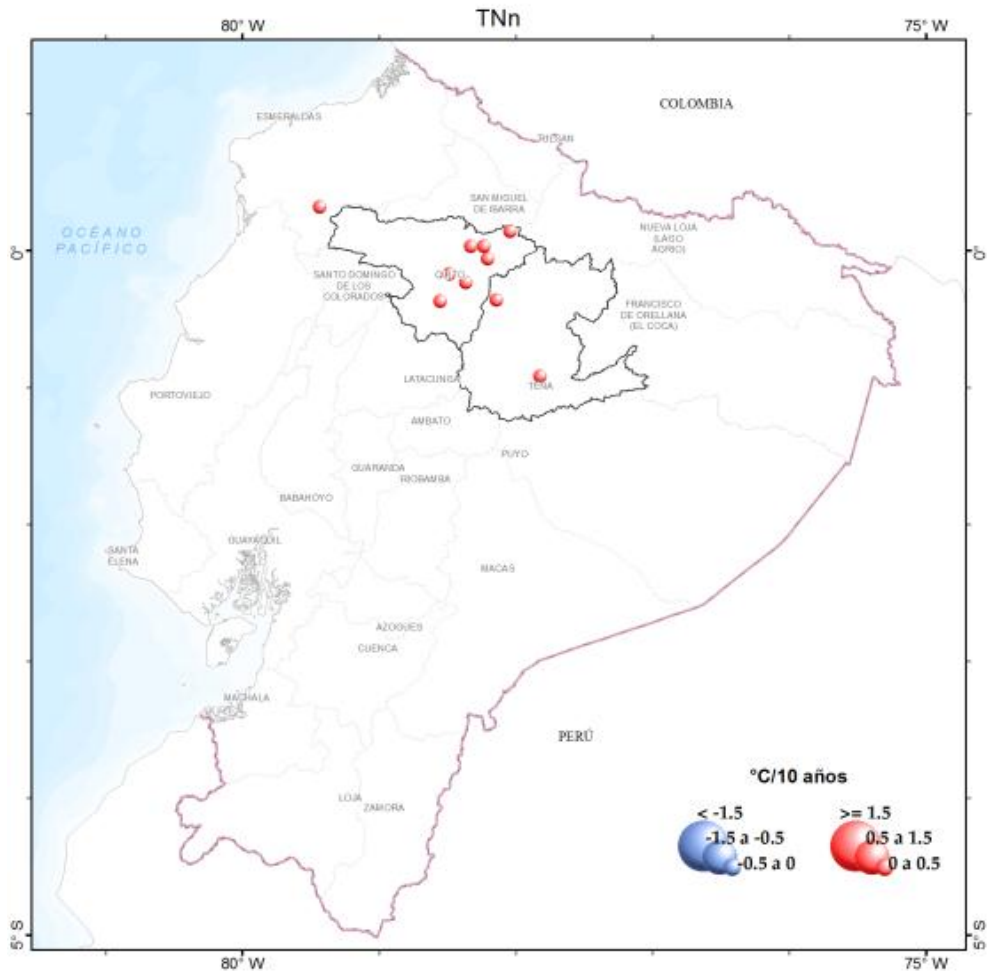


Figura 14. Índice "Mínimo de la temperatura mínima (TNN)". Los valores en rojo indican aumento en el índice, mientras que los que están en azul indican disminución. Fuente: Muñoz, 2013.

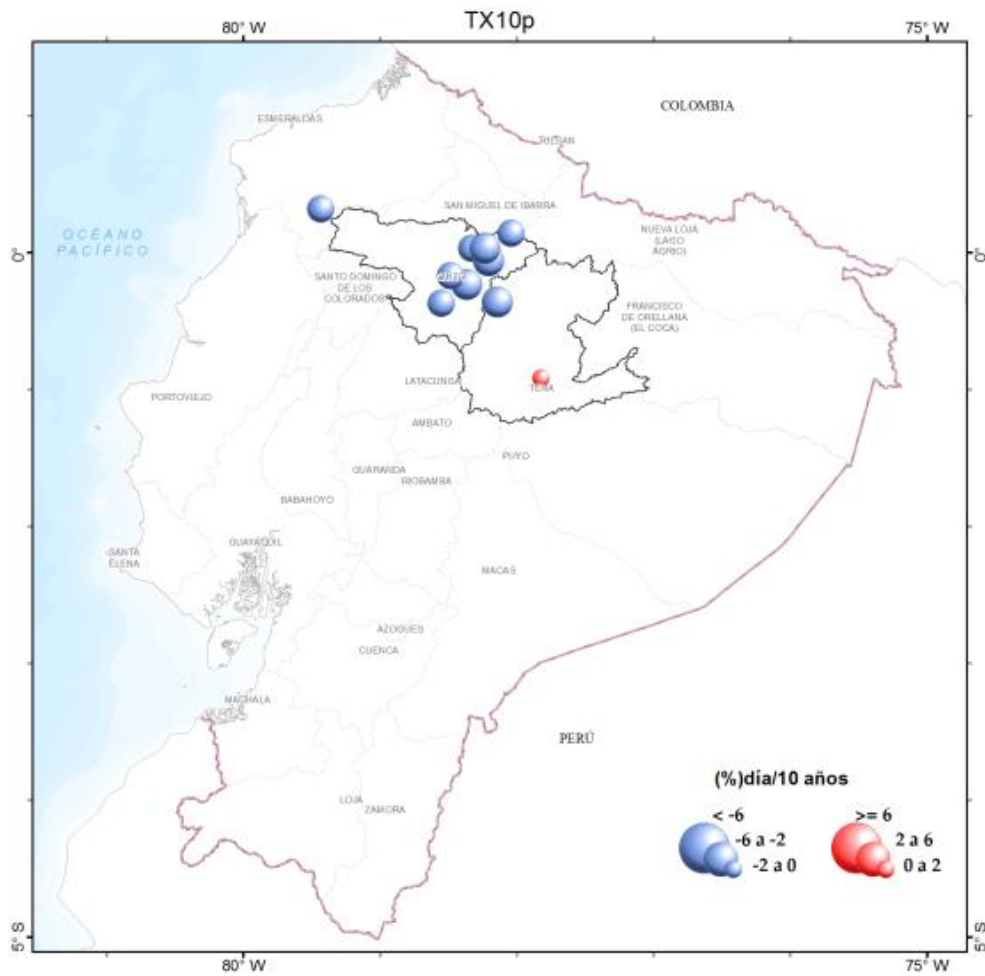


Figura 15. Índice “Porcentaje de días fríos por década (TX10p)”. Los valores en rojo indican aumento en el índice, mientras que los que están en azul indican disminución. Fuente: Muñoz, 2013.

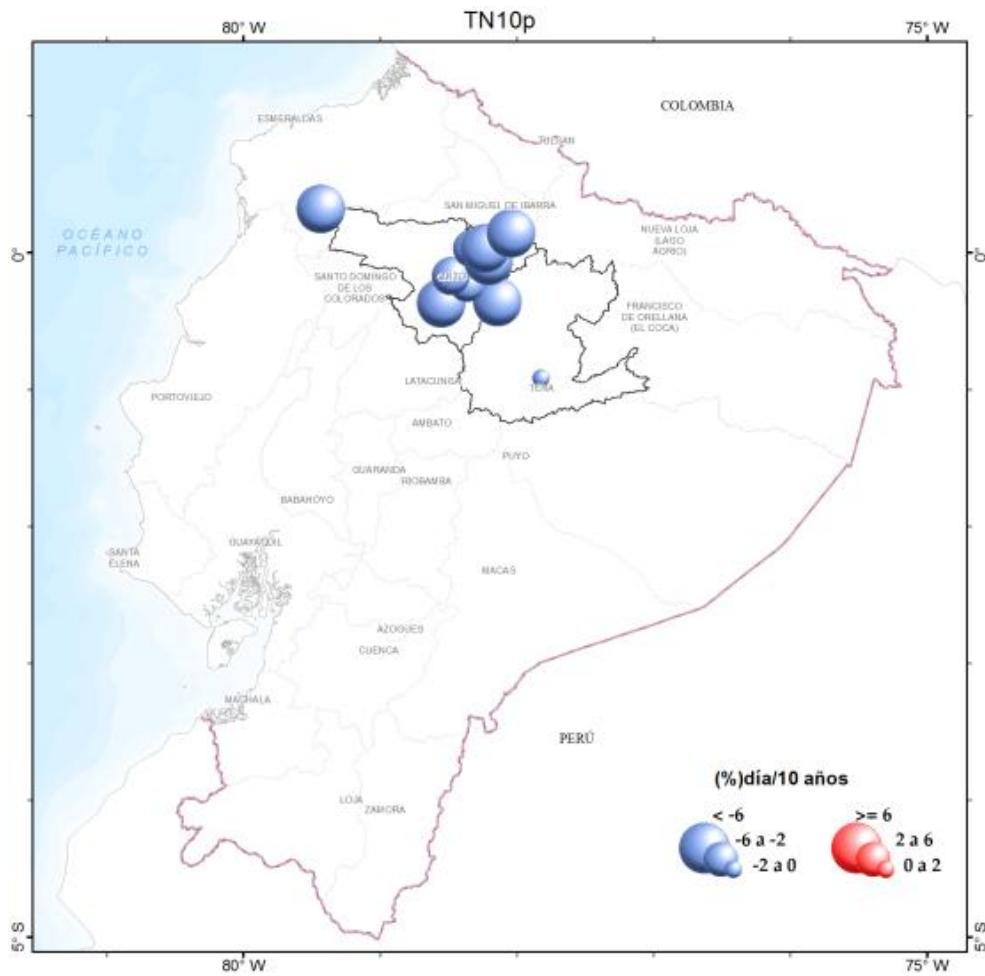


Figura 16. Índice "Porcentaje de noches frías por década (TN10p)". Los valores en rojo indican aumento en el índice, mientras que los que están en azul indican disminución. Fuente: Muñoz, 2013.

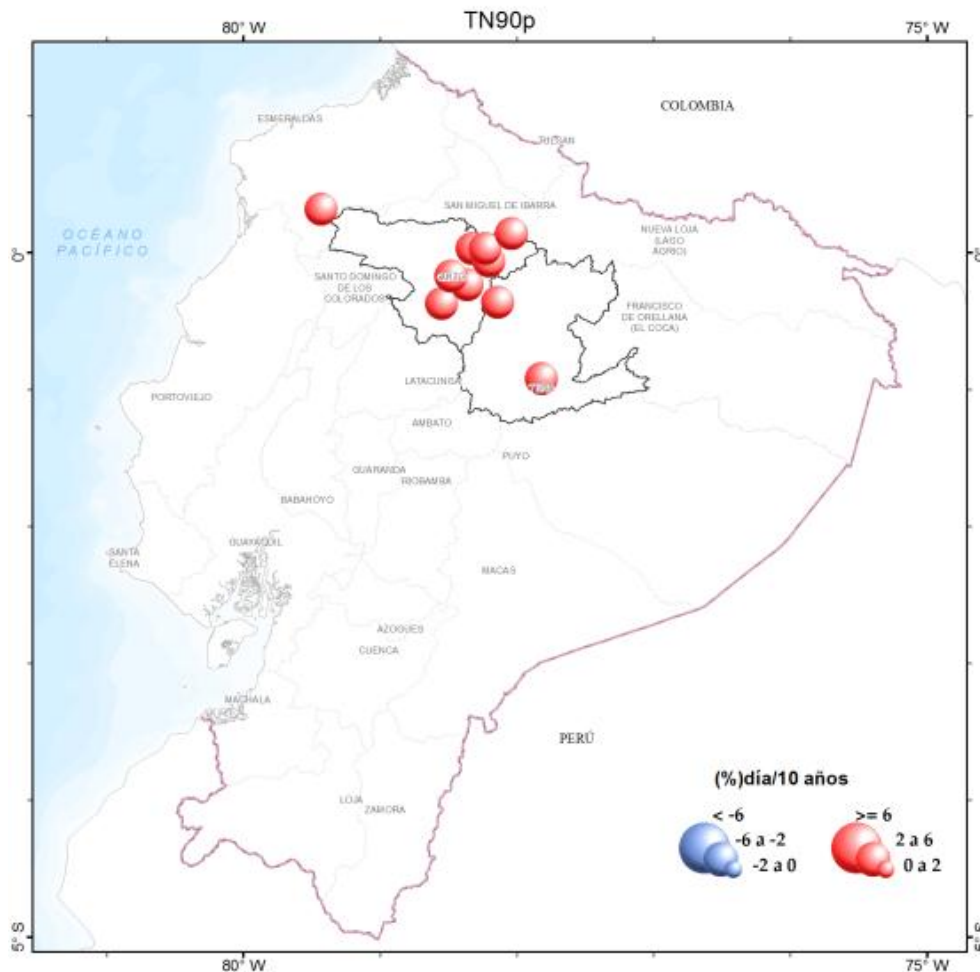


Figura 18. Índice “Porcentaje de noches cálidas por década (TX90p)”. Los valores en rojo indican aumento en el índice, mientras que los que están en azul indican disminución. Fuente: Muñoz, 2013.

Para este estudio, se aprecia que, si bien la cantidad de estaciones es poca, las tendencias de los índices son muy similares entre sí. No se encuentran estaciones con alguna tendencia diferente a general, lo cual le da una mayor confiabilidad a los resultados para la zona. Además, este estudio presenta un análisis concertado con expertos locales que participaron dentro del proyecto, así como una guía para el uso de la herramienta en futuros estudios.

ANÁLISIS ESTUDIO “ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE DATOS METEOROLÓGICOS MENSUALES Y DIARIOS PARA LA DETERMINACIÓN DE VARIABILIDAD CLIMÁTICA Y CAMBIO CLIMÁTICO EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO” (SERRANO Y OTROS)

Este estudio se realizó para la ciudad de Quito y sus alrededores, analizando las tendencias de los valores mensuales de precipitación, temperaturas, humedad relativa, nubosidad, etc. Además, se realizó un análisis de eventos climáticos extremos a partir de información diaria de precipitación y temperaturas máxima y mínima utilizando la herramienta RClimdex, y analizando 27 índices climáticos, de los cuales se presentan resultados para 10 de ellos (Serrano et. al., 2012).

En este estudio, se revisó la información de 23 estaciones, quedando apenas 4 con datos confiables para el periodo del análisis (1990-2011). En la Figura 19 se muestran las estaciones utilizadas.

Los resultados de este estudio se analizaron presentan, entre otros, aumentos en los valores máximos de las temperaturas máxima y mínima (Figura 20 y Tabla2), reducción en la diferencia entre estas temperaturas (excepto en la estación Tabacundo, donde la tendencia es hacia el aumento de esta diferencia) (Figura 21), y un ligero aumento de los días secos consecutivos en el año (Figura 22).

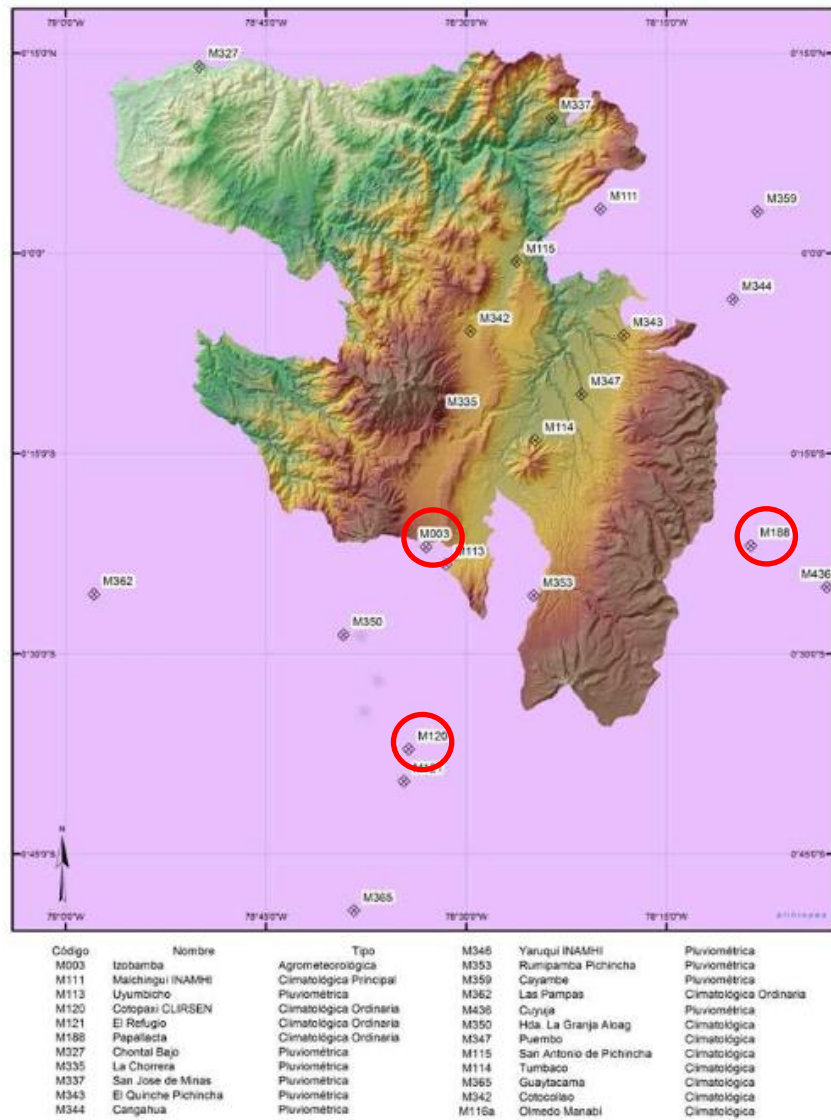


Figura 19. Estaciones utilizadas en el estudio de eventos climáticos extremos (en rojo).
Fuente: Serrano et. al., 2012.

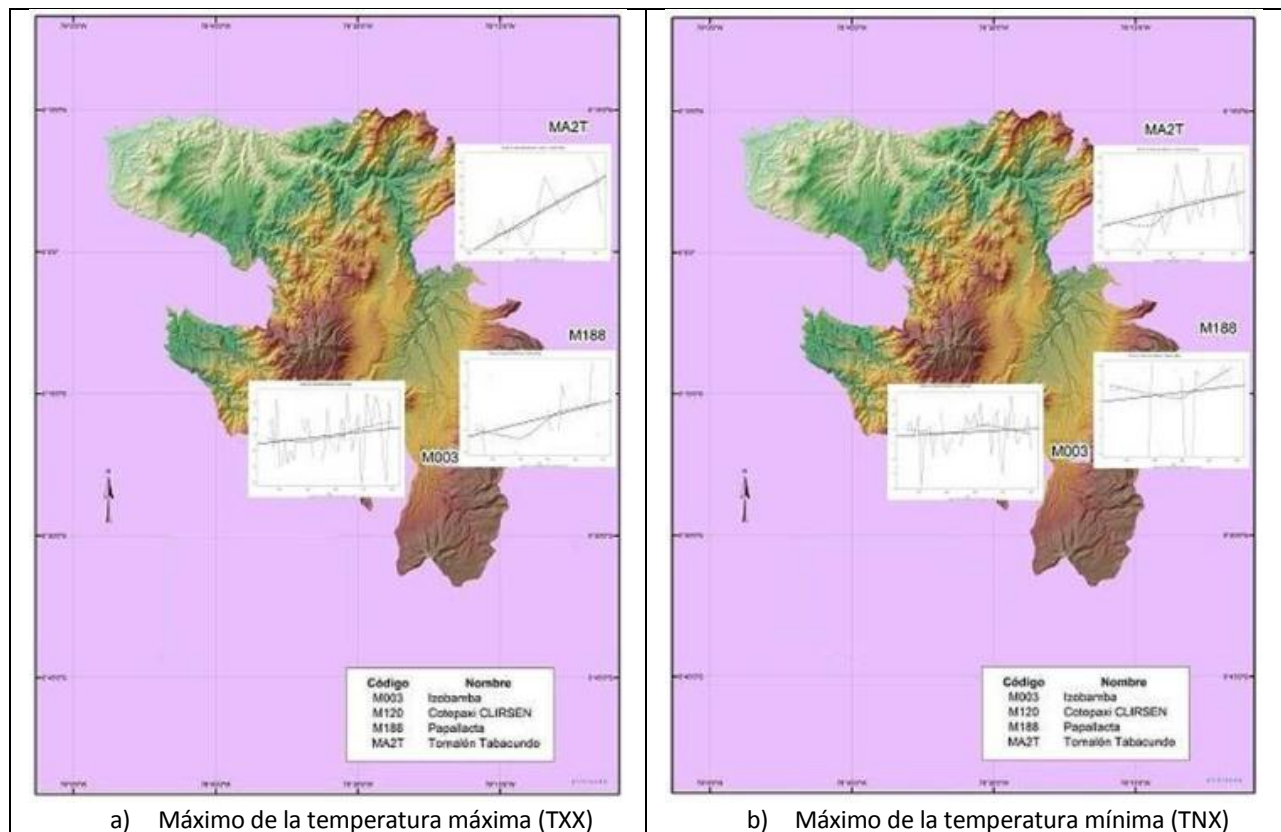


Figura 20. Tendencias de índices asociados a las temperaturas máxima (a) y mínima (b). Fuente: Serrano et. al., 2012.



Figura 21. Tendencias del índice “Diferencia entre la temperatura máxima y la temperatura mínima (DTR)”.
 Fuente: Serrano et. al., 2012.

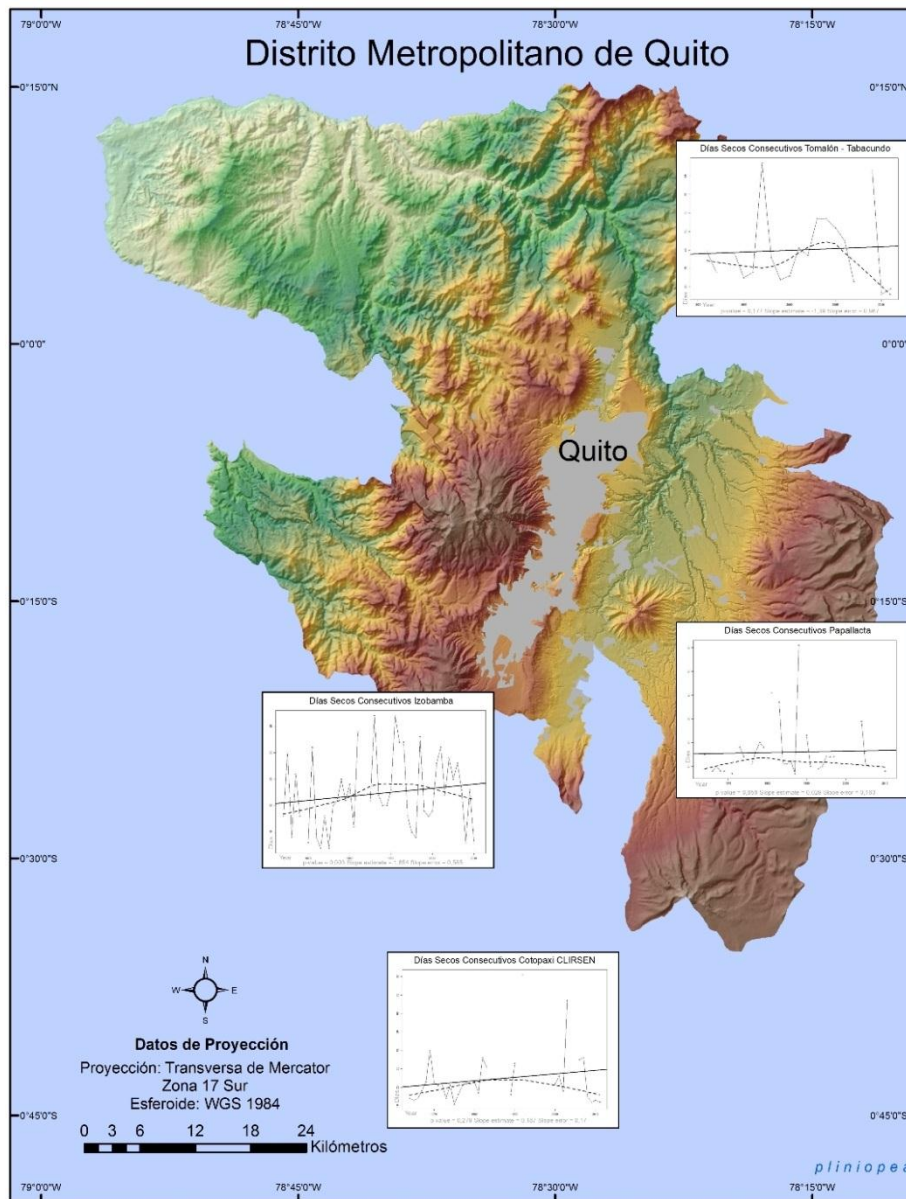


Figura 22. Tendencias del índice “Cantidad de días secos consecutivos en un año (CDD)”. Fuente: Serrano et. al., 2012.

Los índices evaluados no sólo son presentados en los mapas, sino que son descritos en tablas, con su respectiva descripción y explicando la posible causa del comportamiento de cada índice. En el estudio, se dice que la causa principal de los aumentos de temperatura y de los incrementos de los eventos climáticos extremos se deben al incremento de los gases de efecto invernadero y su impacto en el sistema climático y el ciclo hidrológico (Tablas 2 y 3).

Tabla 2. Índices para las temperaturas máxima y mínima utilizados en el estudio para el Distrito Metropolitano de Quito. Fuente: Serrano et. al., 2012.

Indicador	Unid.	Nombre del indicador	Definición	Cambios esperados bajo por incremento de efecto invernadero (según IPCC,1995)
Tn90p	%	Porcentaje de noches cálidas	Porcentaje del tiempo en el que la Temperatura mínima supera al percentil 90 de datos diarios.	Los GEI forzan un incremento de temperatura haciendo que las noches cálidas se incrementen. Es una medida directa del número de noches cálidas. Este indicador podría reflejar efectos potencialmente dañinos por la ausencia del enfriamiento nocturno, principal contribuyente del estrés térmico. Limitaciones: Ninguna.
TNx	°C	Máximo de Temperaturas Mínimas	Valor mensual máximo de temperatura mínima diaria	
TR20	Días	Noches tropicales	Número de días en un año cuando la temperatura mínima supera los 20°.	
Tx90p	%	Porcentaje de días cálidos	Porcentaje del tiempo en el que la Temperatura máxima supera al percentil 90 de datos diarios.	Los GEI forzan un incremento de temperatura haciendo que las temperaturas durante el día se incrementen. También se puede interpretar como una medida de mayor heliofanía-menor cobertura nubosa-. Limitaciones: Ninguna
TXx	°C	Máximo de Temperaturas Máximas	Valor mensual máximo de temperatura máxima diaria	
DTR	°C	Rango de temperatura Diurna extrema Intranual.	Diferencia entre las temperaturas máximas y mínimas para cada año	Se espera la disminución del DTR como consecuencia directa del aumento del calentamiento nocturno (aumento de temperaturas mínimas). Por otro lado, la disminución en DTR puede deberse a la reducción de la insolación diurna a través del engrosamiento de la cobertura nubosa gris (que generaría disminución de las temperaturas máximas). Para llegar a conclusiones es necesario revisar los valores de temperaturas máximas y mínimas. Limitaciones: Ninguna.
CDD	Días	Número máximo de días secos consecutivos	Cuenta el número de días consecutivos sin precipitación al año	Los GEI forzan un incremento de la temperatura generando incremento de evaporación, favoreciendo potencialmente a las sequías. Limitaciones: Ninguna.

Tabla 3. Índices para la precipitación utilizados en el estudio para el Distrito Metropolitano de Quito. Fuente: Serrano et. al., 2012.

Indicador	Unid.	Nombre del indicador	Definición	Cambios esperados bajo por incremento de efecto invernadero (según IPCC,1995)
R95p	mm	Días muy lluviosos	Precipitaciones al año (en milímetros) que sobrepasan el percentil 95	Los GEI generan un incremento del ciclo hidrológico, ya que favorecen la nucleación del vapor de agua en lluvia. Asimismo, el incremento de temperatura permite que la atmósfera contenga más vapor de agua disponible, y por lo tanto se espera un incremento de precipitaciones intensas y/o extremas. Limitaciones: Ninguna.
R99p	mm	Días extremadamente lluviosos	Precipitaciones al año (en milímetros) que sobrepasan el percentil 99.	
R30mm	Días	Días con precipitación sobre 30mm	Número de días al año en los que la precipitación superó los 30mm.	

CONCLUSIONES

- Los estudios analizados presentan la utilización de información de precipitación y temperaturas máxima y mínima a escala temporal diaria para un periodo de datos superior a 10 años. En el caso del estudio del CIIFEN, es el que más años con datos presenta (46 años), en comparación con los estudios de Muñoz (28 años) y Serrano et. al. (22 años). El uso de la mayor cantidad posible de años hace que la cantidad de estaciones finales se reduzca significativamente, ya que para Ecuador hay pocas estaciones con datos confiables para los periodos de cada estudio (19 para el estudio del CIIFEN, 10 para el estudio de Muñoz y 4 para el estudio de Serrano y otros).
- A pesar de los diferentes periodos y estaciones utilizadas en cada estudio, se aprecian tendencias similares en algunos índices, especialmente los asociados a las temperaturas. Éstas muestran un incremento en casi todos los casos, con reducción de las noches y días fríos y aumento de los días y noches cálidas, así como la reducción de la diferencia entre las temperaturas máxima y mínima. Para la precipitación, se ve una tendencia similar para la zona común entre el estudio del CIIFEN y el de Muñoz, con aumentos de las precipitaciones extremas (superiores al percentil 95) y aumento en los valores totales anuales.
- Otro aspecto que se destaca es la utilización de metodologías similares para los análisis de las tendencias climáticas y los eventos climáticos extremos. En los 3 casos se utilizaron herramientas tipo Climdex (RClimdex y FClimdex), las cuales son muy utilizadas por la comunidad científica para el análisis de estos aspectos en el clima regional. Además, en los estudios se abordan diferentes metodologías para el control de calidad de las series (AndesQC, homogeneización, ExtraQC, etc.), las cuales se utilizan no sólo en estudios de tendencias climáticas y eventos climáticos extremos, sino en diversos estudios hidrológicos, de variabilidad climática y otros.

RECOMENDACIONES

- Si bien en los estudios se muestran los resultados para varios índices, resultaría bastante adecuado poder tener acceso a los valores puntuales de cada uno de ellos. En los 3 casos los índices se presentan únicamente con su tendencia (aumento o disminución) y si bien se menciona que los valores de los índices seleccionados poseen un nivel de confianza superior al 80%, tampoco se muestra el nivel para cada estación y para cada índice. Esta información es muy importante, ya que con ella se pueden realizar comparaciones con otros estudios realizados o que se realicen para la misma zona y/o que utilicen los datos de estaciones comunes.
- Observando que en los estudios la herramienta común a los 3 es el Climdex, se recomienda la realización de un taller o seminario en la cual se puedan compartir las experiencias obtenidas con la utilización de estas herramientas, no sólo por parte de los autores de estos estudios, sino también por parte del INAMHI, los centros de investigación, las universidades y otros sectores que han utilizado y/o utilizan estas herramientas en sus estudios particulares. La finalidad de este seminario sería, además de conocer qué estudios e investigaciones se vienen realizando en Ecuador acerca de tendencias climáticas y eventos climáticos extremos, poder comparar resultados obtenidos, metodologías de trabajo, y buscar alianzas estratégicas entre los participantes para generar estudios y resultados con la mejor calidad posible.
- Se deben seguir realizando estudios de este tipo, no sólo para la zona central de la sierra del Ecuador (como en el caso del estudio de Muñoz y el de Serrano y otros), sino también para otras zonas del país, especialmente aquellas que puedan verse más afectadas por los eventos climáticos extremos. Así mismo, se debe recurrir, en la medida de lo posible, a información de otras fuentes confiables además de las del INAMHI, ya que se observa que en la mayoría de estudios la limitante principal es la cantidad y la calidad de las series de datos de estas estaciones.
- Finalmente, y siguiendo con la recomendación anterior, se debe fortalecer la red de estaciones climatológicas tanto del INAMHI como de las diversas instituciones que realizan estudios y mediciones relacionadas al tiempo y al clima, y también fortalecer al personal que realiza las mediciones y los registros de las variables, para que éstas tengan la mayor confiabilidad posible.

REFERENCIAS

Aguilar, E., et al. (2005) "Changes in precipitation and temperature extremes in Central America and northern South America, 1961–2003", *J. Geophys. Res.*, 110, D23107, doi:10.1029/2005JD006119.

CIIFEN (2014). Metodología para la Estimación de Vulnerabilidad en Ecuador, Perú y Bolivia. Proyecto "Información de cambio climático y biodiversidad para el fomento de políticas públicas de conservación y adaptación en la región de los Andes Tropicales". p 1-67.

Karl, T.R., N. Nicholls, and A. Ghazi (1999): "CLIVAR/GCOS/WMO workshop on indices and indicators for climate extremes". Workshop summary. *Climatic Change*, 42. 1999. Págs 3-7.

Muñoz, Á (2013). Análisis estadístico con Climdex de índices climáticos para las provincias de Pichincha y Napo. Asistencia Técnica para la Generación de Escenarios de Cambio Climático para la Segunda Comunicación Nacional de Cambio Climático del Ecuador. 62 páginas.

Peterson, T.C., and Coauthors (2005). "Report on the Activities of the Working Group on Climate Change Detection and Related Rapporteurs 1998-2001". WMO, Rep. WCDMP-47, WMO-TD 1071, Geneva, Switzerland, 143pp.

Serrano, S., D. Zuleta, V. Moscoso, P. Jácome, E. Palacios y M. Villacís. (2012). Análisis estadístico de datos meteorológicos mensuales y diarios para la determinación de variabilidad climática y cambio climático en el Distrito Metropolitano de Quito. *La Granja*. Vol. 16(2): 23-47. ISSN: 1390-3799.