

ALGUNAS SEÑALES DE CAMBIO CLIMÁTICO  
**POR MEDIO DEL MONITOREO DE**  
ÍNDICES DE EXTREMOS CLIMÁTICOS STARDEX  
**PARA LA REGIÓN BOGOTÁ - CUNDINAMARCA**

# ALGUNAS SEÑALES DE CAMBIO CLIMÁTICO **POR MEDIO DEL MONITOREO DE** ÍNDICES DE EXTREMOS CLIMÁTICOS STARDEX **PARA LA REGIÓN BOGOTÁ - CUNDINAMARCA**

Plan Regional Integral de Cambio Climático  
Región Capital Bogotá - Cundinamarca

INFORME TÉCNICO



Con la colaboración de:



MinAmbiente  
Ministerio de Ambiente,  
Ordenamiento y Sostenibilidad

PROSPERIDAD  
PARA TODOS



Québec



## PUNTOS FOCALES DIRECTIVOS DE LAS INSTITUCIONES SOCIAS

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO PNUD</b><br><b>Fabrizio Hochschild</b><br>Coordinador Residente y Humanitario de la ONU<br><b>Silvia Rucks</b><br>Directora de País<br><b>Fernando Herrera</b><br>Coordinador Área de Pobreza y Desarrollo Sostenible<br><b>Jimena Puyana</b><br>Oficial de Desarrollo Sostenible | <b>IDEAM</b><br><b>Omar Franco Torres</b><br>Director<br><b>José Alaín Hoyos</b><br>Subdirector de Estudios Ambientales<br><b>María Teresa Martínez</b><br>Subdirectora de Meteorología<br><b>Paola Bernal</b><br>Jefe oficina de Cooperación Internacional | <b>GOBERNACIÓN DE CUNDINAMARCA</b><br><b>Álvaro Cruz Vargas</b><br>Gobernador de Cundinamarca<br><b>Fredy William Sánchez</b><br>Secretario de Integración Regional<br><b>Andrés Alejandro Romero</b><br>Secretario de Planeación<br><b>Marcela Orduz Quijano</b><br>Secretario de Ambiente<br><b>Jaime Matiz Ovalle</b><br>Oficina de Atención y Prevención de Desastres | <b>ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ</b><br><b>Gustavo Petro Urrego</b><br>Alcalde Mayor de Bogotá<br><b>Gerardo Ardila Calderón</b><br>Secretario Distrital de Planeación<br><b>Néstor García Buitrago</b><br>Secretario Distrital de Ambiente<br><b>Alberto Merlano</b><br>Gerente EAB<br><b>Javier Pava</b><br>Director IDIGER |
| <b>CAR</b><br><b>Alfred Ignacio Ballesteros</b><br>Director                                                                                                                                                                                                                                                                             | <b>CORPOGUAVIO</b><br><b>Oswaldo Jiménez</b><br>Director                                                                                                                                                                                                    | <b>CORPORINOQUIA</b><br><b>Martha Jhoven Plazas</b><br>Directora                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | <b>INSTITUTO ALEXANDER VON HUMBOLDT</b><br><b>Brigitte LG Baptiste</b><br>Directora                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>PARQUES NACIONALES NATURALES</b><br><b>Julia Miranda</b><br>Directora Parques Nacionales Naturales                                                                                                                                                                                                                                   | <b>MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE</b><br><b>Rodrigo Suárez</b><br>Director de Cambio Climático                                                                                                                                        | <b>DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN</b><br><b>Alexander Martínez</b><br>Subdirector de Desarrollo Ambiental Sostenible                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |

### PUNTOS FOCALES DEL PRICC EN LAS INSTITUCIONES SOCIAS

PNUD: Claudia Marín; IDEAM: Vicky Guerrero, Juan Gabriel Osorio; Gobernación de Cundinamarca: Marleny Urbina, Constanza Cruz; Secretaría Distrital de Ambiente: Gloria Esperanza Narváez; Secretaría Distrital de Planeación: Carolina Chica; IDIGER: Lina María Hernández; EAB: Francisco Javier Canal; CAR: María Elena Báez; CORPOGUAVIO: Myriam Amparo Andrade; Instituto Alexander von Humboldt: Jorge Enrique Gutiérrez; Parques Nacionales Naturales: Juan Giovany Bernal; DNP: Silvia Calderón; MADS: Maritza Florián.

### PLAN REGIONAL INTEGRAL DE CAMBIO CLIMÁTICO PARA BOGOTÁ CUNDINAMARCA (PRICC)

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>UNIDAD COORDINADORA DEL PRICC</b><br><b>Coordinador:</b><br>Javier Eduardo Mendoza Sabogal<br><b>Asesor técnico:</b><br>Jason García Portilla<br><b>Asesor comunicaciones:</b><br>Juan Carlos Forero Amaya<br><b>Asistente administrativo:</b><br>Isabel Castro Robledo<br><br><b>Consultoría elaborada por:</b><br>Freddy Grajales.<br><b>Contrato No.</b><br>PNUD 0000020260<br><br>Las opiniones expresadas en este informe no suponen la expresión de una opinión o posición alguna de ninguna de las instituciones socias del Plan Regional Integral de Cambio Climático para Bogotá Cundinamarca (IDEAM, PNUD, Alcaldía de Bogotá, Gobernación de Cundinamarca, CAR, Corpoguavio, Instituto Humboldt, Parques Nacionales de Colombia, MADS, DNP). Los autores son responsables de la selección y presentación de los datos que figuran en sus respectivos informes y de las opiniones expresadas en ellos, que no son forzosamente | las de las instituciones socias del Plan Regional Integral de Cambio Climático para Bogotá Cundinamarca (PRICC).<br><br>El PRICC es fruto de un trabajo en colaboración que ha sido posible gracias al apoyo y participación de numerosas personas e instituciones. Se ha financiado en virtud del documento de proyecto firmado entre las instituciones socias y también gracias a las generosas contribuciones del Gobierno de España y del Gobierno de Quebec, Canadá.<br><br><b>Cítese como:</b><br>IDEAM, PNUD, Alcaldía de Bogotá, Gobernación de Cundinamarca, CAR, Corpoguavio, Instituto Alexander von Humboldt, Parques Nacionales Naturales de Colombia, MADS, DNP. 2012. Algunas señales de cambio climático por medio del monitoreo de índices de extremos climáticos stardex para la Región Bogotá - Cundinamarca | <b>Fotografías:</b><br>Instituto Humboldt, IDEAM, Oficina de prensa Alcaldía Mayor de Bogotá, Oficina de prensa Gobernación de Cundinamarca, El Tiempo.<br><b>Diseño gráfico:</b><br>Una tinta medios.<br><br><b>Bogotá, Colombia - abril 2014</b> |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

# PRESENTACIÓN

Los retos que la variabilidad y el cambio climático imponen a la sociedad de la Región Capital trascienden lo ambiental e incluyen todos los aspectos relacionados con nuestras actividades sobre los territorios. Los patrones y procesos de producción, extracción, asentamiento y consumo, van a estar influenciados por la forma como el clima cambie.

Mayor ocurrencia e intensidad de eventos extremos, climas más secos o más húmedos, tendrán efectos directos sobre la economía, la cultura, el medio ambiente y las decisiones políticas que se tomarán en el futuro, así como en la planeación territorial, sectorial e institucional de largo plazo.

Todo este conjunto de decisiones permeará de manera directa todos los aspectos relacionados con la calidad de vida de los cundinamarqueses y bogotanos, quienes cada vez más relacionan los cambios en el clima con los desastres y las emergencias, dejando de lado las oportunidades de adaptación que estos nuevos escenarios pueden traer para el desarrollo de la Región.

Por este motivo, el Plan Regional Integral de Cambio Climático Región Capital, Bogotá – Cundinamarca (PRICC), se ha constituido y se consolida como una plataforma de trabajo interinstitucional que permite construir las directrices técnicas, así como una estrategia regional, implementada a través de medidas y proyectos prioritarios de mitigación y adaptación a la variabilidad y al cambio climático, que permitirá a la Región Capital tener las bases científicas para enfrentar los retos y aprovechar las oportunidades de estos nuevos escenarios.

El PRICC es además, uno de los modelos piloto mundiales que, por iniciativa de la Alcaldía de Bogotá y de la Gobernación de Cundinamarca, vienen impulsando las

Naciones Unidas y el IDEAM, junto con la activa participación de otros importantes socios (CAR, Corpo-guavio, Corporinoquia, PNNC, IAvH, DNP y MADS), para fortalecer las capacidades y la toma de decisiones de las instituciones regionales públicas, para avanzar en la construcción de territorios resilientes a la variabilidad y al cambio climático. Este esfuerzo cuenta con el apoyo financiero de los Gobiernos de España y de Quebec.

A partir de lo anterior, este estudio, *“Algunas señales de cambio climático por medio del monitoreo de Índices de Extremos Climáticos - STARDEX para la región Bogotá - Cundinamarca”*, permite tener una guía para la toma de decisiones concretas de quienes han asumido o asumirán responsabilidades desde el gobierno regional, en materia de la generación de conocimiento y acciones para la mitigación del cambio climático.

**Javier Eduardo Mendoza**

Coordinador PRICC

# CONTENIDOS

|              |    |
|--------------|----|
| PARTE 1..... | 6  |
| PARTE 2..... | 42 |

## PARTE 1

Algunas señales de cambio climático por medio del monitoreo de Índices de Extremos Climáticos - STARDEX para la región Bogotá - Cundinamarca

# TABLA DE CONTENIDO

|                                                          |    |
|----------------------------------------------------------|----|
| PRESENTACIÓN.....                                        | 4  |
| RESUMEN .....                                            | 10 |
| PALABRAS CLAVES: .....                                   | 11 |
| INTRODUCCIÓN.....                                        | 12 |
| 1.Objetivo General.....                                  | 14 |
| 1.1 <i>Objetivos específicos</i> .....                   | 14 |
| 2.Marco teórico .....                                    | 14 |
| 2.1 <i>STARDEX</i> .....                                 | 14 |
| 3.Metodología.....                                       | 16 |
| 3.1 <i>Cálculo de índices por medio de STARDEX</i> ..... | 16 |
| 3.2 <i>Índices seleccionados</i> .....                   | 18 |

|         |                                                                                                                                                                                                                                                                    |    |
|---------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.2.1   | Temperatura máxima.....                                                                                                                                                                                                                                            | 19 |
| 3.2.2   | Temperatura mínima.....                                                                                                                                                                                                                                            | 19 |
| 3.2.3   | Precipitación.....                                                                                                                                                                                                                                                 | 20 |
| 3.3     | <i>Análisis de Tendencias</i> .....                                                                                                                                                                                                                                | 21 |
| 4.      | <b>Resultados</b> .....                                                                                                                                                                                                                                            | 21 |
| 4.1     | <i>Interpretación de Mapas y Tablas</i> .....                                                                                                                                                                                                                      | 21 |
| 4.2     | <i>Temperatura Máxima</i> .....                                                                                                                                                                                                                                    | 23 |
| 4.2.1   | Temperatura Máxima - Magnitud: txav Temperatura Máxima promedio - txq90 Percentil 90 de la Temperatura Máxima .....                                                                                                                                                | 23 |
| 4.2.2   | Temperatura Máxima - Frecuencia: txhw90 Percentil 90 de la Duración de ondas de calor para 10 días de Tx - txf90 fracción de días por encima del rango muy alto (percentil 90) de la Tx .....                                                                      | 25 |
| 4.3     | <i>Temperatura mínima</i> .....                                                                                                                                                                                                                                    | 27 |
| 4.3.1   | Temperatura Mínima - Magnitud: tnav Temperatura Mínima promedio - tnq10 Percentil 10 de la Temperatura Mínima.....                                                                                                                                                 | 27 |
| 4.3.2   | Temperatura mínima - frecuencia .....                                                                                                                                                                                                                              | 28 |
| 4.3.2.1 | Ondas de Frio: tncw10 Percentil 10 de la Duración de ondas frías para 10 días de Tn - tnf10 fracción de días por debajo del rango muy bajo (percentil 10) de la Tn .....                                                                                           | 28 |
| 4.4     | <i>Precipitación</i> .....                                                                                                                                                                                                                                         | 30 |
| 4.4.1   | Precipitación - Magnitud: pav Promedio de precipitación total - pint Promedio de precipitación para días húmedos - pq90 Percentil 90 de días húmedos - px5d Máximo de precipitación en 5 días consecutivos - pfl90 Promedio para las precipitaciones extremas..... | 30 |
| 4.4.2   | Precipitación - Frecuencia: pxcdd Máximo de días consecutivos secos - pxcwd Máximo de días consecutivos húmedos - pn10mm No. de días donde precip $\geq$ 10mm - pnl90 Eventos de precipitación extrema en el largo plazo.....                                      | 34 |
|         | <b>CONCLUSIONES</b> .....                                                                                                                                                                                                                                          | 38 |
|         | <b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....                                                                                                                                                                                                                                          | 41 |

# TABLA DE FIGURAS

FIGURA 4.1.1: EJEMPLO DE INTERPRETACIÓN PARA MAPAS STARDEX..... 22

FIGURA 4.2.1: MAPAS DE LA TEMPERATURA MÁXIMA (MAGNITUD)..... 24

FIGURA 4.2.2: MAPAS DE LA TEMPERATURA MÁXIMA (FRECUENCIA)..... 26

FIGURA 4.3.1: MAPAS PARA LA MAGNITUD DE LA TEMPERATURA MÍNIMA..... 27

FIGURA 4.3.2: MAPAS PARA LA FRECUENCIA DE LA TEMPERATURA MÍNIMA. .... 29

FIGURA 4.4.1: MAPAS PARA LA MAGNITUD DE LA PRECIPITACIÓN..... 33

FIGURA 4.4.2: MAPAS PARA LA FRECUENCIA DE LA PRECIPITACIÓN..... 35

# LISTA DE TABLAS

TABLA 3.1: RESULTADOS GENERALES OBTENIDOS CON STARDEX PARA LA  
REGIÓN CAPITAL ..... 17

TABLA 3.2: PERIODOS ANALIZADOS POR STADEX ..... 17

TABLA 3.3: ÍNDICES DE EXTREMOS CLIMÁTICOS SELECCIONADOS..... 18

TABLA 4.1: TENDENCIAS PARA LA TEMPERATURA MÁXIMA (MAGNITUD)..... 24

TABLA 4.2: TENDENCIAS PARA LA TEMPERATURA MÁXIMA (FRECUENCIA) ..... 26

TABLA 4.3: TENDENCIAS PARA LA TEMPERATURA MÍNIMA (MAGNITUD) ..... 28

TABLA 4.4: TENDENCIAS PARA LA TEMPERATURA MÍNIMA (FRECUENCIA) ..... 29

TABLA 4.5: TENDENCIAS PARA LA PRECIPITACIÓN (MAGNITUD)..... 36

TABLA 4.6: TENDENCIAS PARA LA PRECIPITACIÓN (FRECUENCIA) ..... 37

# RESUMEN

Se presentan una recopilación de índices de extremos climáticos encontrados para la región Bogotá-Cundinamarca calculados por medio del software STARDEX para el periodo 1980-2010, que muestran algunas señales de cambio climático para la región. Se presentan los 13 índices que resultan ser básicos en el monitoreo y detección de señales de cambio climático y 4 índices adicionales seleccionados por el autor. Se analizan las variables temperatura máxima diaria, temperatura mínima diaria y precipitación diaria, variables que se describen tanto en la magnitud, como en la frecuencia de ocurrencia de los eventos. Los índices presentados tienen una significancia estadística mínima del 80 % para los periodos trimestrales DEF, MAM, JJA, SON y para el periodo Anual.

Los resultados muestran algunas señales de cambio climático encontradas para la región Bogotá-Cundinamarca, evidenciadas como aumentos y disminuciones en las tendencias de las variables analizadas, tanto en la magnitud como en la frecuencia de los eventos de las variables analizadas.

## PALABRAS CLAVES:

Índices de extremos climáticos, STARDEX, temperatura mínima diaria, temperatura máxima diaria, precipitación diaria, tendencias, Bogotá-Cundinamarca.

# INTRODUCCIÓN

Con el fin de avanzar en la planificación referente a las estrategias de adaptación y mitigación al cambio climático en su nivel regional, el proyecto Regional Integral de Cambio Climático (PRICC), propone que dichas estrategias provengan de la recopilación y el análisis de información técnica, en aspectos como la vulnerabilidad al riesgo y su gestión, el ordenamiento territorial y el análisis alrededor de la información climática. Esta información técnica busca ser base para la generación de políticas, que en conjunto sean útiles en el desarrollo de la región capital Bogotá-Cundinamarca.

Se puede decir que en general existe un consenso en la comunidad científica, de que cualquier cambio en la magnitud y frecuencia de los eventos extremos, pueden tener profundos impactos sobre la naturaleza y la sociedad en general, de aquí la importancia de su análisis. Por esta razón se construyen índices de extremos climáticos, los cuales son cálculos numéricos sobre una serie de datos (por ejemplo la precipitación diaria), que permite evaluar la tendencia de la variable, es decir si esta aumenta o disminuye en la región y de esta forma detectar señales de cambio climático, que al menos en el corto plazo y dada una inercia climática, tienen una certeza alta, la cual desciende en el tiempo.

Para esto se usan como insumos básicos, los datos observados provenientes de estaciones meteorológicas en series históricas diarias, series que han sido sometidas previamente a un control de calidad y a un proceso de homogenización de series [Grajales F., 2013]. En este documento se presentan una selección de 17 índices de extremos climáticos de los 49 obtenidos inicialmente [Grajales F., 2013], en este caso analizados para la región Bogotá-Cundinamarca. Se presentan 10 de los 17 índices, que corresponden a los llamados centrales ó core en STARDEX [Stardex, 2004, Stardex, 2005] y que resultan básicos en el monitoreo y detección de posibles señales de cambio climático. Otros 3 de estos 17 índices son los promedios de cada una de las variables seleccionadas y 4 de estos índices son seleccionados por el autor dada la complementación de información con los otros índices y además por resultar severos en el análisis para la región. Con respecto a las variables, 4 índices corresponden a la variable temperatura máxima (2 de magnitud y 2 de frecuencia) y de igual forma para la variable temperatura mínima; mientras que para la variable precipitación se tienen 9 índices (5 para magnitud y 4 para frecuencia).

Tener un panorama de las tendencias en variables como la temperatura y la precipitación y sus posibles cambios en horizontes de tiempo de 20, 30, 50 años ó más, puede ayudar a soportar decisiones locales en el diseño futuro de sectores como los recursos hídricos, la agricultura, sistemas pluviales y de drenaje de tierras, carreteras, ferrocarriles, generación de energía, el diseño de edificios y otros sectores como el turismo

donde el tiempo y el clima son clave determinante de la vida cotidiana. Este análisis de extremos climáticos es un esfuerzo de colaboración entre el Programa para el Desarrollo de las Naciones Unidas (PNUD) y el Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales (IDEAM), dentro del proyecto “Plan Regional Integral de Cambio Climático, PRICC”.

## 1. OBJETIVO GENERAL

Encontrar señales de cambio climático por medio de las tendencias en los índices de extremos climáticos calculados durante en el periodo 1980-2010, analizando la magnitud y la frecuencia de estos para la región Bogotá - Cundinamarca.

### 1.1 OBJETIVOS ESPECIFICOS

1. Hacer una selección de los principales índices de extremos climáticos encontrados mediante STARDEX en el periodo 1980-2010 para la región capital Bogotá-Cundinamarca, a partir de todos los índices calculados[Grajales F., 2013].
2. Hacer un análisis de las tendencias de los índices seleccionados, tanto en magnitud como en la frecuencia, que permitan evidenciar posibles señales de cambio climático en la región Bogotá-Cundinamarca.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 STARDEX

STARDEX, STATistical and Regional dynamical Downscaling of EXtremes, es parte de un grupo de tres proyectos cooperativos que exploran los futuros cambios en eventos extremos como respuesta al calentamiento global por parte de la Union Europea. Los otros miembros de este grupo son MICE (Modelling the Impacts of Climate Change<sup>1</sup>) y PRUDENCE (Prediction of Regional Scenarios and Uncertainties for Defining European Climate Change Risks and Effects<sup>2</sup>). Estos proyectos ayudan a direccionar la preguntas vitales acerca de como los extremos climáticos pueden ocurrir más frecuentemente en el futuro. PRUDENCE esta centrado en el desarrollo y aplicación de modelos regionales climáticos y MICE sobre el uso de la información generada por los modelos regionales y globales en el estudio de los impactos del cambio climático. Por su lado, STARDEX se encuentra centrado en dos objetivos principales:

1. Generar una intercomparación y evaluación rigurosa y sistematica de métodos estadísticos y dinámicos de downscaling<sup>3</sup>.
2. Identificar las técnicas más robustas de downscaling y aplicarlas para proveer escenarios futuros confiables de extremos en temperatura y precipitación.

---

<sup>1</sup> <http://www.cru.uea.ac.uk/projects/mice>

<sup>2</sup> <http://prudence.dmi.dk>

<sup>3</sup> El término downscaling, hace referencia a métodos que conllevan a una reducción de escala, es decir métodos que permiten pasar de una baja resolución (rejillas grandes) a mejores resoluciones (rejillas más pequeñas)

El downscaling estadístico consiste en la aplicación de las relaciones identificadas en el clima observado, entre una escala grande (modelos globales) y una escala más pequeña (que puede llegar hasta la escala local), relaciones aplicadas a los datos de salida de los modelos climáticos globales. Esto se basa en dos suposiciones: La primera suposición es que las relaciones observadas son también aplicables a un futuro clima más calido ó más frío, lo cual se conoce como la hipótesis de estacionariedad. La segunda suposición es que los modelos climáticos globales, representan mejor los patrones de circulación de gran escala que los patrones climáticos locales. Estas relaciones entre eventos extremos y la circulación de gran escala, nos dan la clave básica para el downscaling estadístico, suponiendo que los supuestos de regionalización se cumplen. Este proyecto de la Unión Europea, ha desarrollado 22 diferentes métodos de downscaling estadístico<sup>4</sup> y Stardex ha llevado a cabo una evaluación sistemática de estos. Por su parte el proyecto PRUDENCE, ha llegado a desarrollar modelos dinámicos<sup>5</sup> regionales (a partir de los modelos globales) hasta de 50Km de resolución espacial, lo cual resulta interesante en especial para regiones montañosas. Dos de los modelos climáticos globales más importantes en Europa (HadCM3 y ECHAM4) han sido ampliamente validados, con énfasis particular en extremos. Estos dos modelos de igual forma, presentan una muy buena validación de los datos climáticos en Colombia [Rodríguez, 2010]. Lo interesante en este punto es poder comparar directamente los dos downscaling realizados; el estadístico y en dinámico regional, con el fin de identificar la mejor técnica para una región.

De la intercomparación del downscaling (bien sean métodos estadísticos ó dinámicos), se busca identificar que métodos puedan reproducir al menos en parte, los extremos que ya han ocurrido en nuestro presente cercano, lo cual toma lugar usando datos climáticos observados desde la mitad del siglo XX. Identificando cuales técnicas de downscaling son las mejores (para una región determinada), se puede tener cierta certeza en la construcción de escenarios de extremos futuros. Stardex proporciona información muy valiosa, que los métodos de downscaling deben encontrar o al menos reproducir en parte. Se fundamenta en que los cambios en los extremos observados en nuestro presente cercano (en este caso se usaron 40 años) pueden ser explicados por medio de predictores de circulación general a gran escala e incluso otros a escala regional. Por ejemplo la correlación entre «días de precipitación fuertes» y la «oscilación del Atlántico Norte» para toda la región Europea, ha resultado muy fuerte[STARDEX, 2005].

No se trata que Stardex haga una proyección o un pronóstico del futuro<sup>6</sup>, sino más bien proveer información sobre los cambios más probables en los extremos y dar un escenario confiable y creíble de lo que

4 Algunos categorías de estos métodos: Regresión lineal múltiple, análisis de correlación canónica, redes neuronales artificiales, modelos autoregresivos multivariados, remuestreo condicional y otras técnicas análogas.

5 Los métodos dinámicos buscan representar matemáticamente las condiciones de la atmósfera

6 En el sentido del IPCC, una proyección equivale a una descripción del futuro, hecha mediante alguna técnica específica, normalmente a partir de estimaciones de modelos o técnicas estadísticas. De aquí que en la terminología del IPCC se prefiera usar el término «proyección climática». Mientras que cuando se habla de un pronóstico o una predicción, se hace referencia a la proyección más probable, la cual es derivada normalmente de un conjunto de modelos determinísticos, los cuales dan un nivel de confianza estadístico a dicha proyección.

puede pasar<sup>7</sup>[IPCC, 2011]. Stardex, se define como una construcción de índices moderados en vez de eventos muy extremos, pues estos no representan una muestra estadísticamente consistente. Además la construcción de los índices esta basada en umbrales definidos usando el valor de percentil en vez de valores fijos. STARDEX provee escenarios de cambios esperados en la **magnitud** (intensidad) y la **frecuencia** de los eventos extremos, tales como fuertes precipitaciones que resultan en inundaciones y extremos en temperaturas; eventos que tienen probablemente un impacto sobre la vida y las actividades en el medio ambiente.

En este trabajo se usan los índices de extremos climáticos construidos por el proyecto Stardex, con el fin de identificar regiones en Cundinamarca que presentan una tendencia y una regionalización clara de lo que esta pasando.

### 3. METODOLOGÍA

Como ya se ha mencionado, este trabajo corresponden a una selección de los índices presentados en la tabla 3.1 ([Grajales F., 2013]). En esta tabla se presentan la cantidad de estaciones para cada periodo analizado, con una significancia estadística de al menos 80 % ó un p-value menor a 0,2. El lector puede verificar la metodología usada para el cálculo de índices de extremos climáticos en el capítulo 4 de [Grajales F., 2013].

#### 3.1 CÁLCULO DE ÍNDICES POR MEDIO DE STARDEX

Los índices de extremos climáticos calculados por medio de Stardex, son presentados como el valor de la tendencia<sup>8</sup>, para cada uno de los 5 periodos de tiempo presentados en la tabla 3.2.

El valor de la tendencia es presentado, siempre y cuando su valor de p-value no supere 0,2, lo que nos ha permitido tener una significancia estadística de al menos 80 %, que si bien no es estricto en términos estadísticos, si nos permite tener una mayor cantidad de estaciones y por tanto una mejor inferencia sobre la señal de cambio climático en la región.

En el caso de STARDEX debe tenerse en cuenta que el cálculo del índice depende del umbral ó fracción mínima de datos perdidos para el periodo específico, el cual es de 0,2; es decir se acepta hasta un 20 % de datos perdidos en cada serie analizada.

---

<sup>7</sup> El término escenario, se refiere a una descripción coherente, consistente y convincente de un estado futuro del mundo. No es un pronóstico, de hecho cada escenario es una imagen alternativa de cómo el futuro puede revelarse. Una proyección puede servir como materia prima para generar un escenario, pero los escenarios requieren información adicional (por ejemplo condiciones base). Un conjunto de escenarios son frecuentemente adoptados para reflejar, tan bien como sea posible, el rango de incertidumbre en las proyecciones. Un sinónimo de escenario usado frecuentemente es «caracterización», así se habla de escenario futuro ó caracterización futura.

<sup>8</sup> Se obtiene la pendiente de la recta del gráfico: Valor índice vs. año de la serie analizada: 1980-2010.

TABLA 3.1: RESULTADOS GENERALES OBTENIDOS CON STARDEX PARA LA REGIÓN CAPITAL

| No. | Descripción                                                                                                   | Nombre | Unidades          | Tipo         | Cantidad de estaciones por Período |     |     |     |     |
|-----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|-------------------|--------------|------------------------------------|-----|-----|-----|-----|
|     |                                                                                                               |        |                   |              | DJF                                | MAM | JJA | SON | ANN |
| 1   | Temperatura Máxima (Tx) promedio                                                                              | bxav   | °C/año            | Magnitud     | 29                                 | 24  | 28  | 32  | 28  |
| 2   | Percentil 10 de la Temperatura Máxima                                                                         | bxq10  | °C/año            | Magnitud     | 23                                 | 24  | 22  | 27  | 28  |
| 3   | Percentil 90 de la Temperatura Máxima                                                                         | bxq90  | °C/año            | Magnitud     | 26                                 | 24  | 27  | 36  | 29  |
| 4   | Temperatura Mínima (Tn) promedio                                                                              | tnav   | °C/año            | Magnitud     | 24                                 | 30  | 27  | 25  | 29  |
| 5   | Percentil 10 de la Temperatura Mínima                                                                         | tnq10  | °C/año            | Magnitud     | 23                                 | 28  | 24  | 25  | 31  |
| 6   | Percentil 90 de la Temperatura Mínima                                                                         | tnq90  | °C/año            | Magnitud     | 22                                 | 23  | 27  | 20  | 25  |
| 7   | Promedio del rango de las Temperaturas diarias Extremas                                                       | trav   | °C/año            | Magnitud     | 22                                 | 28  | 24  | 34  | 31  |
| 8   | Percentil 10 del rango de las temperaturas Extremas diarias                                                   | trq10  | °C/año            | Magnitud     | 21                                 | 30  | 23  | 28  | 28  |
| 9   | Percentil 90 del rango de las temperaturas Extremas diarias                                                   | trq90  | °C/año            | Magnitud     | 21                                 | 25  | 24  | 32  | 23  |
| 10  | Rango de las Temperaturas diarias Extremas                                                                    | saetr  | °C/año            | Magnitud     | 21                                 | 23  | 18  | 23  | 22  |
| 11  | Promedio de precipitación                                                                                     | pav    | mm/año            | Magnitud     | 32                                 | 53  | 61  | 48  | 67  |
| 12  | Percentil 20 de días húmedos.                                                                                 | pq20   | mm/año            | Magnitud     | 62                                 | 57  | 68  | 67  | 72  |
| 13  | Percentil 40 de días húmedos.                                                                                 | pq40   | mm/año            | Magnitud     | 57                                 | 55  | 62  | 53  | 75  |
| 14  | Percentil 50 de días húmedos.                                                                                 | pq50   | mm/año            | Magnitud     | 57                                 | 49  | 57  | 56  | 71  |
| 15  | Percentil 60 de días húmedos.                                                                                 | pq60   | mm/año            | Magnitud     | 56                                 | 47  | 56  | 53  | 70  |
| 16  | Percentil 80 de días húmedos.                                                                                 | pq80   | mm/año            | Magnitud     | 49                                 | 35  | 48  | 45  | 67  |
| 17  | Percentil 90 de días húmedos.                                                                                 | pq90   | mm/año            | Magnitud     | 51                                 | 36  | 46  | 56  | 69  |
| 18  | Percentil 95 de días húmedos.                                                                                 | pq95   | mm/año            | Magnitud     | 40                                 | 35  | 54  | 41  | 53  |
| 19  | Relación entre la sumatoria de precipitación por encima de pq20 y la precipitación total del período.         | pt20   | Ninguno           | Magnitud     | 45                                 | 57  | 65  | 61  | 67  |
| 20  | Relación entre la sumatoria de precipitación por encima de pq40 y la precipitación total del período.         | pt40   | Ninguno           | Magnitud     | 32                                 | 52  | 58  | 58  | 62  |
| 21  | Relación entre la sumatoria de precipitación por encima de pq50 y la precipitación total del período.         | pt50   | Ninguno           | Magnitud     | 35                                 | 56  | 56  | 55  | 62  |
| 22  | Relación entre la sumatoria de precipitación por encima de pq60 y la precipitación total del período.         | pt60   | Ninguno           | Magnitud     | 38                                 | 52  | 55  | 53  | 64  |
| 23  | Relación entre la sumatoria de precipitación por encima de pq80 y la precipitación total del período.         | pt80   | Ninguno           | Magnitud     | 39                                 | 43  | 52  | 48  | 61  |
| 24  | Relación entre la sumatoria de precipitación por encima de pq90 y la precipitación total del período.         | pt90   | Ninguno           | Magnitud     | 32                                 | 44  | 38  | 40  | 51  |
| 25  | Relación entre la sumatoria de precipitación por encima de pq95 y la precipitación total del período.         | pt95   | Ninguno           | Magnitud     | 29                                 | 31  | 37  | 39  | 42  |
| 26  | Máximo de precipitación para 3 días consecutivos.                                                             | px3d   | mm/año            | Magnitud     | 33                                 | 40  | 44  | 44  | 46  |
| 27  | Máximo de precipitación para 5 días consecutivos.                                                             | px5d   | mm/año            | Magnitud     | 37                                 | 35  | 48  | 48  | 47  |
| 28  | Máximo de precipitación para 10 días consecutivos.                                                            | px10d  | mm/año            | Magnitud     | 41                                 | 37  | 60  | 50  | 46  |
| 29  | Promedio de precipitación para días húmedos.                                                                  | piat   | mm/año            | Magnitud     | 44                                 | 50  | 61  | 66  | 78  |
| 30  | Eventos de precipitación extrema (% de eventos en donde precipitación diaria > Percentil 90 de días húmedos). | pn90   | Eventos/año       | Frecuencia   | 32                                 | 33  | 50  | 49  | 55  |
| 31  | Proporción de precipitaciones extremas                                                                        | pt90   | Ninguno           | Magnitud     | 39                                 | 35  | 51  | 54  | 57  |
| 32  | Percentil 90 de la Duración de ondas de calor para 10 días de Tx.                                             | bthw90 | Días/año          | Frecuencia   | 20                                 | 25  | 29  | 29  | 27  |
| 33  | Percentil 10 de la Duración de ondas frías para 10 días de Tn.                                                | tnw10  | Días/año          | Frecuencia   | 17                                 | 24  | 26  | 25  | 22  |
| 34  | Fracción de días donde Tx < Percentil 10                                                                      | bt10   | Fracción-días/año | Frecuencia   | 21                                 | 19  | 22  | 27  | 30  |
| 35  | Fracción de días donde Tx > Percentil 90                                                                      | bt90   | Fracción-días/año | Frecuencia   | 22                                 | 25  | 26  | 29  | 31  |
| 36  | Fracción de días donde Tn < Percentil 10                                                                      | tn10   | Fracción-días/año | Frecuencia   | 26                                 | 28  | 29  | 24  | 30  |
| 37  | Fracción de días donde Tn > Percentil 90                                                                      | tn90   | Fracción-días/año | Frecuencia   | 17                                 | 21  | 26  | 25  | 27  |
| 38  | No. de días donde precip >= 10mm                                                                              | pn10mm | días/año          | Frecuencia   | 38                                 | 48  | 67  | 55  | 66  |
| 39  | Máximo de días consecutivos secos.                                                                            | pxcdd  | días/año          | Frecuencia   | 24                                 | 67  | 53  | 36  | 37  |
| 40  | Máximo de días consecutivos húmedos.                                                                          | pxcud  | días/año          | Frecuencia   | 47                                 | 48  | 59  | 51  | 59  |
| 41  | Promedio de los periodos de días húmedos.                                                                     | pwsav  | días/año          | Frecuencia   | 42                                 | 46  | 59  | 52  | 71  |
| 42  | Mediana (percentil 50) de los periodos de días húmedos.                                                       | pwsmed | días/año          | Frecuencia   | 43                                 | 55  | 62  | 48  | 60  |
| 43  | Desviación estandar de los periodos de días húmedos.                                                          | pwsdv  | días/año          | Frecuencia   | 37                                 | 48  | 53  | 49  | 59  |
| 44  | Promedio de los periodos de días secos.                                                                       | pdsav  | días/año          | Frecuencia   | 19                                 | 63  | 54  | 33  | 56  |
| 45  | Mediana (percentil 50) de los periodos de días secos.                                                         | pdsmed | días/año          | Frecuencia   | 33                                 | 39  | 50  | 37  | 50  |
| 46  | Desviación estandar de los periodos de días secos.                                                            | pdsdv  | días/año          | Frecuencia   | 24                                 | 64  | 45  | 33  | 46  |
| 47  | Persistencia de días húmedos.                                                                                 | ppww   | Ninguno           | Persistencia | 42                                 | 46  | 58  | 54  | 69  |
| 48  | Persistencia de días secos.                                                                                   | ppdd   | Ninguno           | Persistencia | 16                                 | 61  | 50  | 29  | 53  |
| 49  | Correlación entre "ppww" y "ppdd".                                                                            | ppcr   | Ninguno           | Persistencia | 33                                 | 54  | 49  | 37  | 55  |

TABLA 3.2: PERIODOS ANALIZADOS POR STADEX

| Período Stardex | Definición                            | Días periodo |
|-----------------|---------------------------------------|--------------|
| DEF             | Periodo: Diciembre-Enero-Febrero      | 90           |
| MAM             | Periodo: Marzo-Abril-Mayo             | 92           |
| JJA             | Periodo: Junio-Julio-Agosto           | 92           |
| SON             | Periodo: Septiembre-October-Noviembre | 91           |
| ANN             | Periodo: Anual                        | 365          |

### 3.2 ÍNDICES SELECCIONADOS

Para la selección de los índices de extremos climáticos que permitan analizar posibles señales de cambio climático en la región Bogotá-Cundinamarca, se han tenido en cuenta las siguientes condiciones:

1. Considerar los 10 índices de extremos climáticos reportados como «centrales»<sup>9</sup> y los 3 índices promedios principales en STARDEX [Stardex,2013],[Stardex,2004]. Estos índices son base en la detección de señales de cambio climático. Además, han sido la base en el proyecto STARDEX para la modelación en downscaling [CRU,2005],[Stardex,2005].
2. Considerar la magnitud y la frecuencia de los eventos extremos para las variables analizadas: temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación diaria. La magnitud analiza la intensidad para cada variable, mientras que la frecuencia permitir observar el aumento o la disminución en el número de eventos extremos.
3. Hacer el análisis respectivo en magnitud y frecuencia para cada índice, que permitan apreciar posibles señales de cambio climático.

La tabla 3.3, presenta los índices seleccionados por variable, nombre, descripción, unidades, tipo, grupo y la cantidad de estaciones que reportan el índice hasta un 0,2 de p-value. La columna descrita como «Clase» corresponde a la clasificación dada por STARDEX para los índices tipo «Core» y «Mean» y para el caso de este documento se ha generado un subgrupo llamado «Severo», el cual es identificado con alta severidad para el análisis de extremos climáticos en la región Bogotá-cundinamarca.

TABLA 3.3: ÍNDICES DE EXTREMOS CLIMÁTICOS SELECCIONADOS

| No. | Variable      | Nombre | Descripción                                                                                                   | Unidades          | Tipo       | Clase  | Cantidad de estaciones |     |     |     |     |
|-----|---------------|--------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|------------|--------|------------------------|-----|-----|-----|-----|
|     |               |        |                                                                                                               |                   |            |        | DJF                    | MAM | JJA | SON | ANN |
| 1   | Temp. Máxima  | txav   | Temperatura Máxima (Tx) promedio                                                                              | °C/año            | Magnitud   | Mean   | 29                     | 24  | 28  | 32  | 28  |
| 2   |               | txq90  | Percentil 90 de la Temperatura Máxima                                                                         | °C/año            | Magnitud   | Core   | 26                     | 24  | 27  | 36  | 29  |
| 3   |               | txhw90 | Percentil 90 de la Duración de ondas de calor para 10 días de Tx.                                             | Días/año          | Frecuencia | Core   | 20                     | 25  | 29  | 29  | 27  |
| 4   |               | txf90  | Fracción de días donde Tx > Percentil 90                                                                      | Fracción días/año | Frecuencia | Severo | 22                     | 25  | 26  | 29  | 31  |
| 5   | Temp. Mínima  | tnav   | Temperatura Mínima (Tn) promedio                                                                              | °C/año            | Magnitud   | Mean   | 24                     | 30  | 27  | 25  | 29  |
| 6   |               | tnq10  | Percentil 10 de la Temperatura Mínima                                                                         | °C/año            | Magnitud   | Core   | 23                     | 28  | 24  | 25  | 31  |
| 7   |               | tnw10  | Percentil 10 de la Duración de ondas frías para 10 días de Tn.                                                | Días/año          | Frecuencia | Severo | 17                     | 24  | 26  | 25  | 22  |
| 8   |               | tnf10  | Fracción de días donde Tn < Percentil 10                                                                      | Fracción días/año | Frecuencia | Severo | 26                     | 28  | 29  | 24  | 30  |
| 9   | precipitación | pav    | Promedio de precipitación                                                                                     | mm/año            | Magnitud   | Mean   | 32                     | 53  | 61  | 48  | 67  |
| 10  |               | pint   | Promedio de precipitación para días húmedos.                                                                  | mm/año            | Magnitud   | Core   | 44                     | 50  | 61  | 66  | 78  |
| 11  |               | pq90   | Percentil 90 de días húmedos.                                                                                 | mm/año            | Magnitud   | Core   | 51                     | 36  | 46  | 56  | 69  |
| 12  |               | px5d   | Máximo de precipitación para 5 días consecutivos.                                                             | mm/año            | Magnitud   | Core   | 37                     | 35  | 48  | 48  | 47  |
| 13  |               | pt90   | Proporción de precipitaciones extremas                                                                        | Ninguno           | Magnitud   | Core   | 39                     | 35  | 51  | 54  | 57  |
| 14  |               | pn10mm | No.de días donde precip >=10mm                                                                                | días/año          | Frecuencia | Severo | 38                     | 48  | 67  | 55  | 66  |
| 15  |               | pxcdd  | Máximo de días consecutivos secos.                                                                            | días/año          | Frecuencia | Core   | 24                     | 67  | 53  | 36  | 37  |
| 16  |               | pxcww  | Máximo de días consecutivos húmedos.                                                                          | días/año          | Frecuencia | Severo | 47                     | 48  | 59  | 51  | 59  |
| 17  |               | pn90   | Eventos de precipitación extrema (% de eventos en donde precipitación diaria > Percentil 90 de días húmedos). | Eventos/año       | Frecuencia | Core   | 32                     | 33  | 50  | 49  | 55  |

9 El término usado en STARDEX es Core

### 3.2.1 Temperatura máxima

Índices asociados a la **magnitud**:

1. Temperatura máxima promedio (txav): Sea  $T_{xij}$  la temperatura máxima diaria del día  $i$ , periodo  $j$ . Si el periodo  $j$  tienen un número de días  $K$ , entonces el promedio de temperatura de la variable Temperatura Máxima es:

$$txav_j = \frac{\sum_{i=1}^I T_{xij}}{K}$$

2. Percentil 90 de la Temperatura Máxima (txq90): Percentil 90 de txav. Se obtiene el promedio txav para cada periodo en análisis, luego se organizan los datos de menor a mayor. El percentil 90 corresponde al dato cuya ubicación este en el 90 % de la serie organizada.

Índices asociados a la **frecuencia**:

1. Ondas de calor (txhw90): Percentil 90 de la Duración de ondas de calor para 10 días de Tx. Sea  $T_{xij}$  la temperatura máxima diaria en el día  $i$  del periodo  $j$ . Y sea  $T_{xq90inorm}$ , el calculo del percentil 90 de cada 10 días seguidos durante el periodo. Luego, se cuenta el número máximo de días consecutivos por periodo en donde:

$$T_{xij} > T_{xq90inorm}$$

2. Fracción de días con Temperatura extremas máximas (txf90): Fracción de días por encima del rango muy alto (percentil 90) de la Temperatura máxima. Sea  $T_{xij}$  la temperatura máxima diaria en el día  $i$  del periodo  $j$  y sea  $T_{xin90}$ , el calculo del percentil 90 en el periodo  $j$ . Se determina la fracción de veces en donde:

$$T_{xij} > T_{xin90}$$

### 3.2.2 Temperatura mínima

Índices asociados a la **magnitud**:

1. Temperatura mínima promedio (tnav): Sea  $T_{nij}$  la temperatura mínima diaria del día  $i$ , periodo  $j$ . Si el periodo  $j$  tienen un número de días  $K$ , entonces el promedio de temperatura de la variable Temperatura Mínima es:

$$tnav_j = \frac{\sum_{i=1}^I T_{nij}}{K}$$

2. Percentil 10 de la Temperatura mínima (tnq10): Percentil 10 de tnav.

Los índices asociados a la **frecuencia**:

1. Ondas de frío (tnw10): Percentil 10 de la Duración de ondas frías para 10 días de Tn. Sea  $T_{nij}$  la temperatura mínima diaria en el día  $i$  del periodo  $j$ . Y sea  $T_{nq10inorm}$ , el calculo del percentil 10 de cada 10 días seguidos durante el periodo, es decir el valor del primer día con Tn más grande. Cuente el número máximo de días consecutivos en cada periodo, donde:

$$T_{nij} < T_{nq10inorm}$$

2. Fracción de días con Temperaturas extremas mínimas (tnf10): Sea  $T_{nij}$  la temperatura mínima diaria en el día  $i$  del periodo  $j$  y sea  $T_{nin10}$ , el calculo del percentil 10 en el periodo  $j$ . Se determina la fracción de veces en donde:

$$T_{nij} < T_{nin10}$$

### 3.2.3 Precipitación

Índices asociados a la **magnitud**:

1. Promedio de precipitación (pav): Sea  $R_{wj}$  la cantidad de precipitación diaria para el día  $w$  del periodo  $j$ . El promedio de precipitación en el periodo es:

$$pav_j = \frac{\sum_{w=1}^W (R_{wj})}{W}$$

2. Promedio de precipitación para los días húmedos (pint): Sea  $R_{wj}$  la cantidad de precipitación diaria para días húmedos ( $prcp > 1\text{mm}$ ) en el día  $w$  del periodo  $j$ . El promedio de precipitación en el periodo es:

$$pint_j = \frac{\sum_{w=1}^W (R_{wj})}{W}$$

3. Precipitaciones extremas en los días húmedos ó percentil 90 de los días húmedos (pq90): Valor de precipitación al que corresponde el 90 % de los días húmedos (rango muy alto).

4. Máximo de precipitación para 5 días consecutivos (px5d): Se suman las precipitaciones de los conjuntos de 5 días consecutivos en el periodo de interés.  $px5d$  equivale al valor máximo de este conjunto de datos.

5. Tendecia al aumento o disminución en las precipitaciones extremas (pfl90): Sea  $R_j$  la suma de la precipitación diaria en el periodo  $j$  y sea  $R_{wj}$  la precipitación diaria para los días húmedos (mayor a 1 mm) en el mismo periodo  $j$ . Sea  $R_{wn90}$  el percentil 90 de la precipitación para los días húmedos en el mismo periodo específico.  $pfl90$  corresponde a:

$$pfl90_j = \frac{\sum_{w=1}^w R_{wj}, \text{ donde } R_{wj} > R_{wn90}}{R_j}$$

Se puede decir que  $pfl90$  equivale a la proporción de precipitaciones extremas. Los índices asociados a la **frecuencia** que fueron seleccionados son:

1. Máximo de días consecutivos secos (pxcdd): El número máximo de días consecutivos en el periodo de interés, donde la precipitación es menor a 1mm.
2. Máximo de días consecutivos húmedos (pxc wd): El número máximo de días consecutivos en el periodo de interés, donde la precipitación es mayor a 1mm.
3. Número de días con precipitación mayor ó igual a 10mm (pn10mm): Número de días en el periodo donde el valor de precipitación es mayor a 10mm.

4. Eventos de precipitación extrema (pnl90): Sea  $R_{wj}$  la cantidad precipitación diaria en el periodo  $j$  y sea  $R_{wn90}$  el percentil 90 de la precipitación en días húmedos (mayor a 1mm) para todo el periodo analizado, que para este caso es 1980-2010. Se determina el número de veces en donde se cumpla:

$$R_{wj} > R_{wn90}$$

### 3.3 ANÁLISIS DE TENDENCIAS

Luego de seleccionados los 17 índices que se han mencionado en 3.2, se obtienen las tendencias para cada índice con las siguientes condiciones:

1. Obtener el promedio aritmético para todo el mapa<sup>10</sup>.
2. Seleccionar las estaciones que se encuentran al interior de Cundinamarca. Obtener el promedio aritmético.
3. Seleccionar las estaciones que presentan aumentos y disminuciones al interior de Cundinamarca.
4. Hacer un control de calidad sobre las tendencias obtenidas para los aumentos y las disminuciones. Para esto, se ha calculado el *coeficiente de variación* para cada serie de datos de estaciones y se han determinado los datos dentro de la serie que al ser eliminados, ayudan a mejorar el coeficiente de variación de manera significativa. Normalmente resultan datos de un orden de magnitud mayor en comparación a estaciones vecinas.
5. Los datos obtenidos deben encontrarse dentro del rango: *promedio + (Desviación Estándar x 4)* y *promedio - (Desviación Estándar x 4)*<sup>11</sup>. Los datos que se encuentren fuera de este rango son eliminados.
6. Reportar las tendencias promedio al interior de Cundinamarca, con su respectiva cantidad de estaciones y la tendencia máxima y mínima.

## 4. RESULTADOS

Los siguientes resultados se encuentran divididos entre índices que miden la **Magnitud** del evento (que permite apreciar la intensidad) y la **Frecuencia**, la cual nos ayuda a entender el aumento o la disminución en el número de eventos extremos.

### 4.1 INTERPRETACIÓN DE MAPAS Y TABLAS

Los resultados que se presentan para cada uno de los índices seleccionados se encuentran acompañados de su respectivo mapa y tabla de resultados de aumentos y disminuciones al interior de Cundinamarca. Un

<sup>10</sup> Se obtiene el promedio aritmético para las estaciones reportadas, es decir todas las que tienen  $p\text{-value} < 0.2$ .

<sup>11</sup> Se está asumiendo una distribución normal, la cual resulta típica para el control de calidad de información climática. Se ha usado 4 veces la desviación estándar, lo cual presume un cubrimiento del 99,993 % de los datos.

ejemplo de mapa se presenta en la Fig. 4.1.1 y deben tenerse en cuenta los siguientes criterios para su lectura:

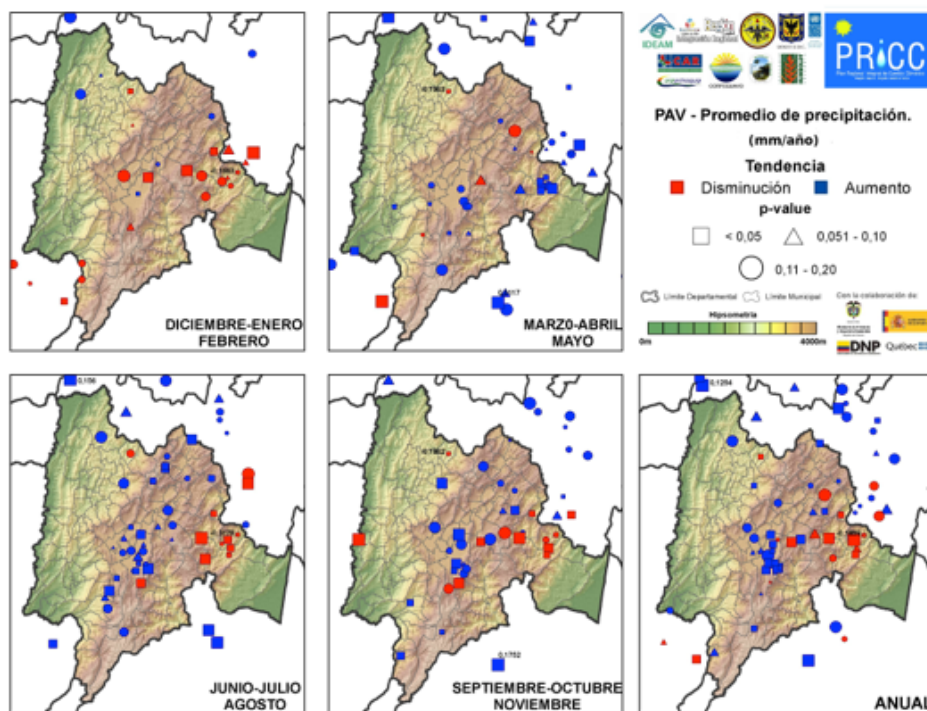


FIGURA 4.1.1: EJEMPLO DE INTERPRETACIÓN PARA MAPAS STARDEX.

1. El título de cada mapa se encuentra en la parte superior derecha, debajo de los logos. Para mejor entendimiento la definición numerica de cada índice se puede encontrar en el capitulo 4.2.
2. Se presentan para cada índice los periodos **DEF** (Diciembre-Enero-Febrero), **MAM** (Marzo- Abril- Mayo), **JJA** (Junio-Julio-Agosto), **SON** (Septiembre-Octubre-Noviembre) y **Anual**.
3. Si el índice se encuentra asociado a la variable **precipitación**, entonces el **color azul** indica aumento y el **color rojo** disminución en la tendencia<sup>1</sup> del índice. Pero si el índice se encuentra asociado a la variable **Temperatura**, entonces el **color azul** indica disminución y el **color rojo** aumento en la tendencia.
4. Cada forma de punto (cuadrados, triángulos y círculos) corresponde al valor de la tendencia de una estación meteorologica. Las celdas en blanco en estas tablas, significa que el índice calculado presenta un valor de p-value por encima de 0,2 y se ha retirado el dato.
5. Las formas de los puntos; cuadrados, triangulos y círculos, indican la significancia estadística del punto en cuestión. El **cuadrado** indica una significancia estadística de por lo menos el 95 % (p-value < 0.05), el **triángulo** indica una significancia estadística de máximo 95 % y mínima del 90 % y (p-value = 0.05 - 0.10) y el **círculo** indica una significancia estadística de máximo 89 % y mínima de 80 % (p-value = 0.11 - 0.20).

6. Las formas de los puntos tienen diferentes tamaños, indicando mayor o menor valor de la tendencia. El máximo y mínimo se muestran numéricos en el mapa para referenciar el valor de la tendencia de cada punto.
7. Debajo de la simbología para el p-value se han puesto los límites departamentales y los límites municipales.
8. Por último en la parte inferior derecha de cada mapa, se presenta una referencia a la hipsometría correspondiente.

## 4.2 TEMPERATURA MÁXIMA

### 4.2.1 Temperatura Máxima - Magnitud: *txav* Temperatura Máxima promedio - *txq90* Percentil 90 de la Temperatura Máxima

La Fig.4.4.2d presenta el mapa para el índice *txav* - *Temperatura máxima promedio* (definición en Cap. 1). Las unidades de este índice son  $^{\circ}\text{C}/\text{año}$ . La tabla 4.0a, presenta los datos promedio de las estaciones que presentan aumentos y disminuciones para Cundinamarca. Se puede apreciar una tendencia al aumento en el promedio de las temperaturas máximas diarias para todos los periodos, tanto para el total del mapa, como únicamente al interior de Cundinamarca. Existe mayor cantidad de estaciones que tienden al aumento (entre 9 y 13) en comparación a las que tienden a la disminución, que no resultan ser más de 3 estaciones. Los periodos que se aprecian con promedios más altos son DEF y JJA con  $0,05^{\circ}\text{C}/\text{año}$ , mientras que los promedios más bajos son MAM y SON con  $0,04^{\circ}\text{C}/\text{año}$ . Esto resulta una evidencia en la señal de cambio climático en la región Bogotá-Cundinamarca como un aumento en la magnitud de las temperaturas máximas diarias, es decir que el promedio de la temperatura máxima diaria tienden a ser cada vez más mayor. De continuar esta tendencia, se esperan aumentos en el promedio de la temperatura máxima diaria en el orden de  $0,4^{\circ}\text{C}$  por década (tomando como referencia el periodo anual), lo que implica aumentos alrededor de  $2^{\circ}\text{C}$  dentro de 50 años.

La Fig. 4.2.1b presenta el mapa para el índice *txq90* - *percentil 90 de la Temperatura máxima diaria* (definición en Cap. 2). Las unidades de este índice son  $z$ . Este índice permite apreciar el percentil 90 de las temperaturas máximas diarias para cada periodo analizado, es decir que tan sólo un 10 % son datos mayores. La tabla 4.0b, presenta los datos promedio de las estaciones que presentan aumentos y disminuciones en Cundinamarca. La tendencia es al aumento generalizado para todos los periodos, siendo el periodo con valores más altos el DEF, con un promedio al interior de Cundinamarca de  $0,06^{\circ}\text{C}/\text{año}$  y los demás periodos con  $0,05^{\circ}\text{C}/\text{año}$ . Al igual que el índice *txav*, esto resulta una evidencia en la señal de cambio climático en la región Bogotá-Cundinamarca, lo que significa que la magnitud del percentil 90 de la variable temperatura máxima diaria está tendiendo al aumento en una proporción del orden de  $0,5^{\circ}\text{C}$  por década y, de continuar esta tendencia al aumento, en 50 años tendremos un aumento en este percentil 90 en unos  $2,5^{\circ}\text{C}$ .

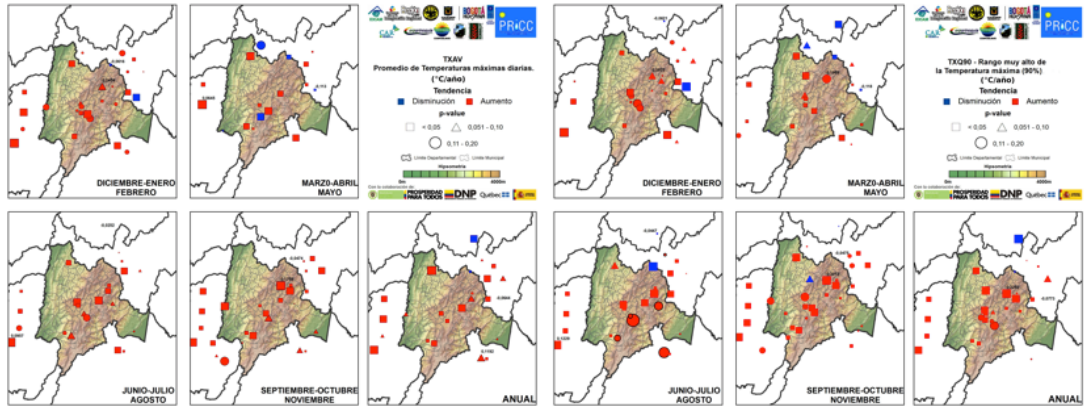


FIGURA 4.2.1: MAPAS DE LA TEMPERATURA MÁXIMA (MAGNITUD)

(a) Mapa para txav Temperarura Máxima promedio (b) Mapa para txq90 Percentil 90 de la Temperatura Máxima

TABLA 4.1: TENDENCIAS PARA LA TEMPERATURA MÁXIMA (MAGNITUD)

(a) Índice txav

| Periodo | Promedio Total Mapa (°C/año) | Promedio C/marca (°C/año) | Estaciones en Aumento              |                                      |                                   | Estaciones en Disminución             |                                 |                                   |
|---------|------------------------------|---------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|
|         |                              |                           | Promedio Aumentos C/marca (°C/año) | Cantidad Estaciones Aumentos C/marca | Tendencia Máxima C/marca (°C/año) | Promedio Disminución C/marca (°C/año) | Cantidad Estaciones Disminución | Tendencia Mínima C/marca (°C/año) |
| DEF     | 0.05                         | 0.04                      | 0.05                               | 11                                   | 0.08                              | -0.04                                 | 2                               | -0.06                             |
| MAM     | 0.01                         | 0.02                      | 0.04                               | 9                                    | 0.06                              | -0.04                                 | 3                               | -0.06                             |
| JJA     | 0.04                         | 0.04                      | 0.05                               | 13                                   | 0.08                              | -0.02                                 | 1                               | -0.02                             |
| SON     | 0.05                         | 0.04                      | 0.04                               | 12                                   | 0.08                              | -0.05                                 | 1                               | -0.05                             |
| Anual   | 0.03                         | 0.03                      | 0.04                               | 12                                   | 0.06                              | -0.06                                 | 1                               | -0.06                             |

(b) Índice txq90

| Periodo | Promedio Total Mapa (°C/año) | Promedio C/marca (°C/año) | Estaciones en Aumento              |                                      |                                   | Estaciones en Disminución             |                                 |                                   |
|---------|------------------------------|---------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|
|         |                              |                           | Promedio Aumentos C/marca (°C/año) | Cantidad Estaciones Aumentos C/marca | Tendencia Máxima C/marca (°C/año) | Promedio Disminución C/marca (°C/año) | Cantidad Estaciones Disminución | Tendencia Mínima C/marca (°C/año) |
| DEF     | 0.06                         | 0.05                      | 0.06                               | 12                                   | 0.09                              | -0.06                                 | 1                               | -0.06                             |
| MAM     | 0.03                         | 0.02                      | 0.05                               | 9                                    | 0.08                              | -0.05                                 | 3                               | -0.07                             |
| JJA     | 0.04                         | 0.05                      | 0.05                               | 13                                   | 0.11                              | -0.03                                 | 1                               | -0.03                             |
| SON     | 0.05                         | 0.04                      | 0.05                               | 15                                   | 0.10                              | -0.04                                 | 2                               | -0.05                             |
| Anual   | 0.05                         | 0.04                      | 0.05                               | 14                                   | 0.09                              | -0.07                                 | 1                               | -0.07                             |

#### 4.2.2 Temperatura Máxima - Frecuencia: $txhw90$ Percentil 90 de la Duración de ondas de calor para 10 días de Tx - $txf90$ fracción de días por encima del rango muy alto (percentil 90) de la Tx

La Fig. 4.2.2a presenta el mapa para el índice  $txhw90$  - Percentil 90 de la duración de ondas de calor para 10 días de Tx (definición en Cap. 1). Las unidades de este índice son *Días/año*. Este índice permite ver la tendencia en la frecuencia de las ondas de calor, como un aumento o disminución de días por año para cada periodo analizado. La tabla 4.1a, presenta los datos promedio de las estaciones que presentan aumentos y disminuciones para Cundinamarca. Se puede apreciar una tendencia al aumento en las ondas de calor para todos los periodos, tanto para el total del mapa, como unicamente al interior de Cundinamarca. El periodo trimestral que se aprecia con el promedio más alto de ondas de calor es DEF con 0,1 días/año, mientras que el periodo con menor promedio en las ondas de calor es MAM con 0,07 días/año. Por su parte, las tendencias máximas en las ondas de calor llegan a estar entre 0,1 y 0,2 días/año. Esto resulta una evidencia en la señal de cambio climático en la región Bogotá-Cundinamarca como un aumento en la frecuencia de los promedios de las ondas de calor, es decir que la cantidad de veces que se presentan días muy calurosos tiende al aumento. De continuar esta tendencia, se esperan aumentos el promedio de las ondas de calor entre 0,7 a 1 día por cada decada, lo que implica que en 50 años tendremos algunos 3 a 5 días más de ondas de calor, dependiendo el periodo analizado.

La Fig. 4.2.2b presenta el mapa para el índice  $txf90$  - Fracción de días por encima del rango muy alto (percentil 90) de la Temperatura máxima (definición en Cap. 2). Este índice corresponde a la relación entre la cantidad de días que sobrepasaron el valor del percentil 90 del periodo analizado y el total de días del periodo. La tabla 4.1b, presenta los datos promedio de las estaciones que presentan aumentos y disminuciones para Cundinamarca. Se puede apreciar una tendencia al aumento en los días en que la temperatura máxima diaria se encuentra por encima del percentil 90 para todos los periodos, en una proporción de 0,01 (equivalente al 1 % por año), para los periodos DEF, JJA y SON. Esta tendencia muestra una señal de cambio climático en la región Bogotá-Cundinamarca, dada la mayor cantidad de estaciones que presentan la condición de aumento para la cantidad de días que año a año superan el percentil 90. De continuar esta tendencia, se esperan cambios en el orden del 10 % por decada en la cantidad de días que sobrepasan el percentil 90, lo que significa que en 50 años, la condición actual de la cantidad de días que sobrepasan el percentil 90 habrá aumentado en un valor cercano a un 50 %<sup>12</sup>.

12 Como referencia se reporta la cantidad de días que sobrepasan el percentil 90 para la estación «Aeropuerto El Dorado (21205790)», que es de 11 días en promedio para el periodo MAM (uno de los más bajos) durante los 31 años (1980 a 2010). El cambio proyectando aquí es un aumento del orden de 1 % por cada año, es decir 1 día más por decada y de continuar la tendencia lineal se puede esperar un cambio de 5 días más en 50 años.

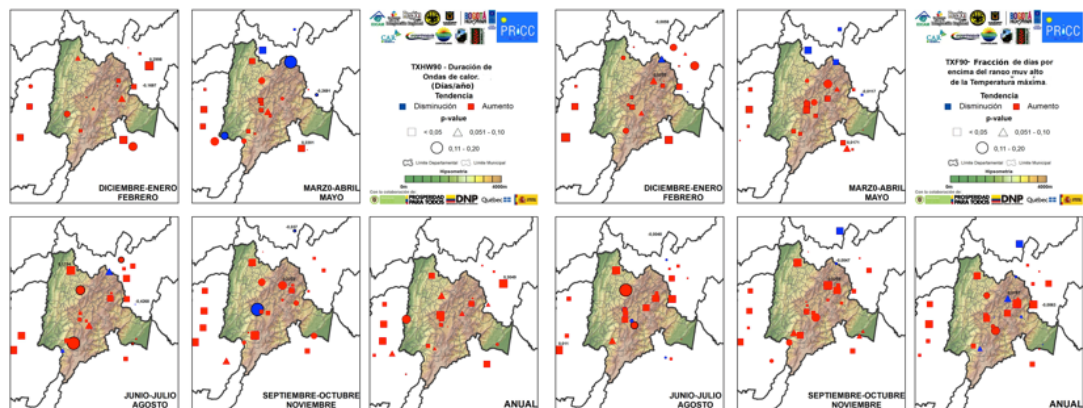


FIGURA 4.2.2: MAPAS DE LA TEMPERATURA MÁXIMA (FRECUENCIA)

(a) Mapa para txhw90 Percentil 90 de la Duración de ondas de calor para 10 días de Tx

(b) Mapa para txf90 fracción de días por encima del rango muy alto (percentil 90) de la Temperatura máxima

TABLA 4.2: TENDENCIAS PARA LA TEMPERATURA MÁXIMA (FRECUENCIA)

(a) Índice txhw90

| Periodo | Promedio Total Mapa (Días/año) | Promedio C/marca (Días/año) | Estaciones en Aumento                |                                      |                                     | Estaciones en Disminución               |                                 |                                     |
|---------|--------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|
|         |                                |                             | Promedio Aumentos C/marca (Días/año) | Cantidad Estaciones Aumentos C/marca | Tendencia Máxima C/marca (Días/año) | Promedio Disminución C/marca (Días/año) | Cantidad Estaciones Disminución | Tendencia Mínima C/marca (Días/año) |
| DEF     | 0.1                            | 0.09                        | 0.1                                  | 8                                    | 0.19                                | -0.1                                    | 1                               | -0.1                                |
| MAM     | 0.04                           | 0.05                        | 0.07                                 | 11                                   | 0.10                                | -0.04                                   | 3                               | -0.06                               |
| JJA     | 0.05                           | 0.06                        | 0.08                                 | 13                                   | 0.18                                | -0.04                                   | 2                               | -0.04                               |
| SON     | 0.08                           | 0.07                        | 0.09                                 | 13                                   | 0.22                                | -0.02                                   | 2                               | -0.03                               |
| Anual   | 0.1                            | 0.1                         | 0.1                                  | 12                                   | 0.22                                | Sin datos                               | 0                               | Sin datos                           |

(b) Índice txf90

| Periodo | Promedio Total Mapa (fracción/año) | Promedio C/marca (fracción/año) | Estaciones en Aumento                    |                                      |                                         | Estaciones en Disminución                   |                                 |                                         |
|---------|------------------------------------|---------------------------------|------------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------------|
|         |                                    |                                 | Promedio Aumentos C/marca (fracción/año) | Cantidad Estaciones Aumentos C/marca | Tendencia Máxima C/marca (fracción/año) | Promedio Disminución C/marca (fracción/año) | Cantidad Estaciones Disminución | Tendencia Mínima C/marca (fracción/año) |
| DEF     | 0.01                               | 0.004                           | 0.01                                     | 8                                    | 0.01                                    | -0.01                                       | 1                               | -0.01                                   |
| MAM     | 0.004                              | 0.004                           | 0.005                                    | 12                                   | 0.01                                    | -0.01                                       | 1                               | -0.01                                   |
| JJA     | 0.005                              | 0.004                           | 0.01                                     | 12                                   | 0.01                                    | -0.003                                      | 2                               | -0.003                                  |
| SON     | 0.01                               | 0.004                           | 0.01                                     | 14                                   | 0.01                                    | -0.005                                      | 1                               | -0.005                                  |
| Anual   | 0.004                              | 0.004                           | 0.004                                    | 15                                   | 0.01                                    | -0.01                                       | 1                               | -0.01                                   |

## 4.3 TEMPERATURA MÍNIMA

### 4.3.1 Temperatura Mínima - Magnitud: *tnav* Temperatura Mínima promedio - *tnq10* Percentil 10 de la Temperatura Mínima

La fig. 4.3.1a presenta el mapa para el índice *tnav* - *Temperatura mínima promedio* (definición en Cap. 1). Las unidades de este índice son °C/año. La tabla 4.2a, presenta los datos promedio de las estaciones que presentan aumentos y disminuciones para Cundinamarca. Se puede apreciar una tendencia al aumento en el promedio de las temperaturas mínimas diarias hacia el centro del departamento y disminuciones hacia el nororiente. Los aumentos en la variable temperatura mínima están en promedio en valores entre 0,04 a 0,06°C/año, mientras que las disminuciones están entre -0,04 y -0,08 °C/año. De continuar esta tendencia el promedio en la variable temperatura mínima diaria habrá aumentado hacia el centro del departamento en 0,5°C por década (tomando como referencia el periodo anual), lo que significa aproximadamente un aumento dentro de 50 años de 2,5°C. Por su parte, en los sitios en donde hay tendencia a la disminución la tasa será de -0,6°C por década (tomando como referencia el periodo anual), lo que significa una disminución cercana a las 3°C dentro de 50 años.

La fig. 4.3.1b presenta el mapa para el índice *tnq10* - *percentil 10 de la Temperatura mínima* (definición en Cap. 2). Las unidades de este índice son °C/año. La tabla 4.2b, presenta los datos promedio para las estaciones que presentan aumentos y disminuciones al interior de Cundinamarca. Se aprecian aumentos hacia el centro del departamento (al igual que para *tnav*) y disminuciones hacia el nororiente en el valor del percentil 10 de la temperatura mínima. Los rangos de los aumentos son del orden de 0,04 a 0,06 °C/año, mientras que las disminuciones son del orden de -0,05 a -0,1°C/año. De continuar esta tendencia, el valor del percentil 10 de la temperatura mínima tendrá una tasa de incremento en la parte central del departamento de 0,4 a 0,6°C por década, lo que puede implicar aumentos en 50 años por encima de 2°C. Mientras que para las zonas en donde la tendencia es a disminuir, como al nororiente del departamento, la magnitud de la tasa de cambio es aún más pronunciada, siendo del orden de -0,5 a 1°C por década, lo que puede implicar disminuciones de continuar la misma tendencia del orden de -2,5 a -5°C dentro de 50 años.

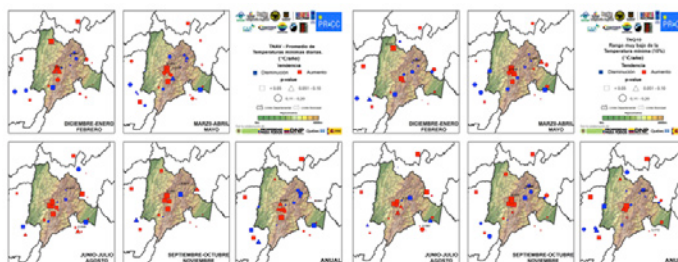


FIGURA 4.3.1: MAPAS PARA LA MAGNITUD DE LA TEMPERATURA MÍNIMA

(a) Mapa para *tnav* Temperatura Mínima promedio (b) Mapa para *tnq10* Percentil 10 de Temperatura Mínima

TABLA 4.3: TENDENCIAS PARA LA TEMPERATURA MÍNIMA (MAGNITUD)

(a) Índice  $tnav$ 

| Periodo | Promedio Total Mapa (°C/año) | Promedio C/marca (°C/año) | Estaciones en Aumento              |                                      |                                   | Estaciones en Disminución             |                                 |                                   |
|---------|------------------------------|---------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|
|         |                              |                           | Promedio Aumentos C/marca (°C/año) | Cantidad Estaciones Aumentos C/marca | Tendencia Máxima C/marca (°C/año) | Promedio Disminución C/marca (°C/año) | Cantidad Estaciones Disminución | Tendencia Mínima C/marca (°C/año) |
| DEF     | -0,01                        | 0,004                     | 0,05                               | 9                                    | 0,1                               | -0,08                                 | 5                               | -0,1                              |
| MAM     | 0,01                         | -0,001                    | 0,06                               | 6                                    | 0,1                               | -0,04                                 | 8                               | -0,1                              |
| JJA     | 0,01                         | 0,03                      | 0,05                               | 10                                   | 0,1                               | -0,06                                 | 3                               | -0,1                              |
| SON     | -0,003                       | 0,01                      | 0,04                               | 9                                    | 0,1                               | -0,06                                 | 5                               | -0,1                              |
| Anual   | 0,01                         | 0,01                      | 0,05                               | 10                                   | 0,1                               | -0,06                                 | 7                               | -0,1                              |

(b) Índice  $tnq10$ 

| Periodo | Promedio Total Mapa (°C/año) | Promedio C/marca (°C/año) | Estaciones en Aumento              |                                      |                                   | Estaciones en Disminución             |                                 |                                   |
|---------|------------------------------|---------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|
|         |                              |                           | Promedio Aumentos C/marca (°C/año) | Cantidad Estaciones Aumentos C/marca | Tendencia Máxima C/marca (°C/año) | Promedio Disminución C/marca (°C/año) | Cantidad Estaciones Disminución | Tendencia Mínima C/marca (°C/año) |
| DEF     | -0,04                        | -0,03                     | 0,06                               | 5                                    | 0,1                               | -0,1                                  | 6                               | -0,2                              |
| MAM     | 0,02                         | 0,02                      | 0,08                               | 10                                   | 0,2                               | -0,07                                 | 6                               | -0,1                              |
| JJA     | 0,03                         | 0,03                      | 0,05                               | 8                                    | 0,1                               | -0,05                                 | 2                               | -0,1                              |
| SON     | -0,01                        | 0,01                      | 0,06                               | 9                                    | 0,1                               | -0,07                                 | 6                               | -0,1                              |
| Anual   | -0,01                        | -0,02                     | 0,05                               | 8                                    | 0,1                               | -0,09                                 | 8                               | -0,1                              |

### 4.3.2 Temperatura mínima - frecuencia

#### 4.3.2.1 Ondas de Frío: $tnw10$ Percentil 10 de la Duración de ondas frías para 10 días de $T_n$ - $tnf10$ fracción de días por debajo del rango muy bajo (percentil 10) de la $T_n$

La Fig. 4.3.2a presenta el mapa para el índice  $tnw10$  - Percentil 10 de la duración de ondas frías para 10 días de  $T_x$  (definición en Cap. 1). Las unidades de este índice son *Días/año*. Este índice permite ver la tendencia en la frecuencia de las ondas de frío, como un aumento o disminución de días por año para cada periodo analizado. La tabla 4.3a, presenta los datos promedio de las estaciones que presentan aumentos y disminuciones al interior de Cundinamarca. Se puede apreciar en la figura 4.3.2a, una tendencia hacia el centro del departamento hacia la disminución en las ondas de frío y un aumento hacia el nororiente del departamento. Lo anterior contrasta con el aumento en las ondas de calor hacia el centro del departamento y disminución hacia el nororiente (Cap. 4.2.2). El periodo trimestral que se aprecia con el *aumento en promedio más alto* de ondas de frío es SON con 0,1 días/año, mientras que el periodo con la *disminución en promedio más baja* es DEF con -0,08 días/año. Por su parte, las tendencias en promedio máximas en las ondas de frío llegan a estar entre 0,1 y 0,3 días/año, mientras que las tendencias mínimas en las ondas de frío llegan a estar entre -0,04 y -0,08 días/año. Tomando como referencia el periodo anual, se pueden inferir tendencias (siempre y cuando la linealidad continúe de la misma forma) en aproximadamente 3 días por década para las zonas en donde se incrementan las ondas de frío (nororiente de Cundinamarca) y de 0,7 días por década para las zonas en donde disminuyen las ondas de frío (centro de Cundinamarca).

La Fig. 4.3.2b presenta el mapa para el índice  $tnf10$  - fracción de días por debajo del percentil 10 de la temperatura mínima (definición en Cap. 2). Este índice corresponde a la relación entre la cantidad de días que están por debajo del percentil 10 para el periodo analizado y el total de días del periodo. La tabla 4.3b, presenta los datos promedio de las estaciones que presentan aumentos y disminuciones al interior de Cundinamarca.

Se aprecia una tendencia a la disminución en los días en que la temperatura mínima diaria se encuentra por debajo del percentil 10 hacia el centro y oriente de Cundinamarca y una tendencia al aumento hacia el nororiente del departamento. Aunque las tendencias resultan relativamente bajas (disminución entre -0,004 a -0,01 y aumentos entre 0,005 y 0,006 días/año), se puede inferir que de continuar la tendencia lineal, en 50 años tendremos de 0,2 a 0,5 días menos con temperaturas mínimas por debajo del percentil 10 para las zonas en donde disminuye (centro de Cundinamarca) y para las zonas en donde aumenta (nororiente) tendremos entre 0,2 y 0,3 días adicionales con temperaturas mínimas por debajo del percentil 10<sup>13</sup>.

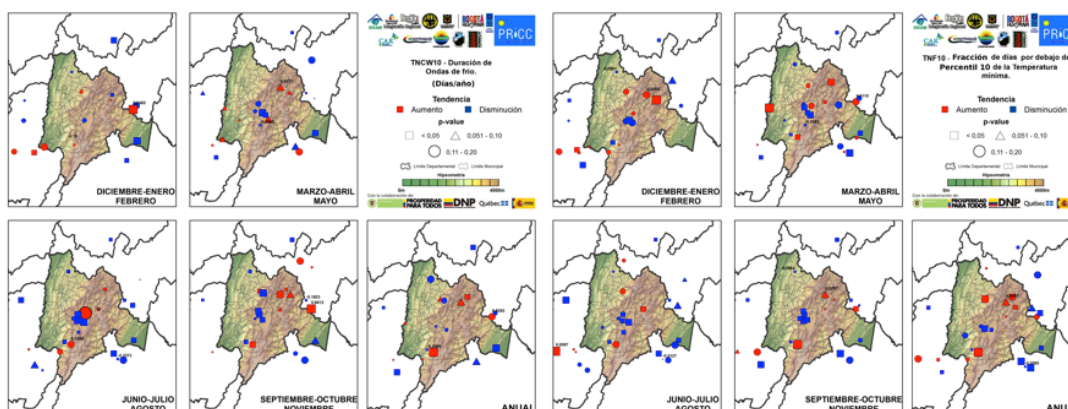


FIGURA 4.3.2: MAPAS PARA LA FRECUENCIA DE LA TEMPERATURA MÍNIMA.

(a) Mapa para tncw10 Percentil 10 de la Duración de ondas frías para 10 días de Tn

(b) Mapa para tnf10 fracción de días por debajo del percentil 10 de la temperatura mínima

TABLA 4.4: TENDENCIAS PARA LA TEMPERATURA MÍNIMA (FRECUENCIA)

(a) Índice tncw10

| Periodo | Promedio Total Mapa (Días/año) | Promedio C/marca (Días/año) | Estaciones en Aumento                |                                      |                                     | Estaciones en Disminución               |                                 |                                     |
|---------|--------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|
|         |                                |                             | Promedio Aumentos C/marca (Días/año) | Cantidad Estaciones Aumentos C/marca | Tendencia Máxima C/marca (Días/año) | Promedio Disminución C/marca (Días/año) | Cantidad Estaciones Disminución | Tendencia Mínima C/marca (Días/año) |
| DEF     | 0,01                           | 0,00                        | 0,09                                 | 3                                    | 0,1                                 | -0,08                                   | 4                               | -0,1                                |
| MAM     | -0,01                          | 0,002                       | 0,08                                 | 5                                    | 0,1                                 | -0,07                                   | 5                               | -0,1                                |
| JJA     | -0,05                          | -0,01                       | 0,07                                 | 5                                    | 0,1                                 | -0,07                                   | 8                               | -0,1                                |
| SON     | 0,03                           | 0,05                        | 0,1                                  | 7                                    | 0,3                                 | -0,04                                   | 6                               | -0,1                                |
| Anual   | 0,07                           | 0,1                         | 0,3                                  | 6                                    | 0,5                                 | -0,07                                   | 6                               | -0,1                                |

13 Para mayor facilidad en la interpretación, se puede multiplicar por 100 cada una de estas tendencias, obteniendo así un % en la tendencia de aumento o disminución en la cantidad de días que se encuentran por debajo del percentil 10 de la temperatura mínima por cada año.

(b) Índice tnf10

| Periodo | Promedio Total Mapa (fracción/año) | Promedio C/marca (fracción/año) | Estaciones en Aumento                    |                                      |                                         | Estaciones en Disminución                   |                                 |                                         |
|---------|------------------------------------|---------------------------------|------------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------------|
|         |                                    |                                 | Promedio Aumentos C/marca (fracción/año) | Cantidad Estaciones Aumentos C/marca | Tendencia Máxima C/marca (fracción/año) | Promedio Disminución C/marca (fracción/año) | Cantidad Estaciones Disminución | Tendencia Mínima C/marca (fracción/año) |
| DEF     | 0,002                              | 0,001                           | 0,006                                    | 6                                    | 0,007                                   | -0,004                                      | 6                               | -0,01                                   |
| MAM     | -0,0004                            | -0,001                          | 0,005                                    | 7                                    | 0,007                                   | -0,01                                       | 10                              | -0,01                                   |
| JJA     | -0,002                             | -0,002                          | 0,005                                    | 4                                    | 0,008                                   | -0,005                                      | 10                              | -0,009                                  |
| SON     | 0,0002                             | -0,0004                         | 0,006                                    | 6                                    | 0,01                                    | -0,005                                      | 8                               | -0,008                                  |
| Anual   | 0,0003                             | -0,0003                         | 0,006                                    | 7                                    | 0,008                                   | -0,005                                      | 9                               | -0,01                                   |

## 4.4 PRECIPITACIÓN

### 4.4.1 Precipitación - Magnitud: pav Promedio de precipitación total - pint Promedio de precipitación para días húmedos - pq90 Percentil 90 de días húmedos - px5d Máximo de precipitación en 5 días consecutivos - pfl90 Promedio para las precipitaciones extremas

La fig. 4.4.1a presenta el mapa para el índice *pav* (definición en Cap. 1). Este índice permite visualizar el promedio de precipitación diaria del periodo. Sus unidades son mm/día.año; es decir muestra la tendencia del cambio promedio en la precipitación diaria cada año<sup>14</sup>. La tabla 4.4a, presenta los datos promedio de las estaciones que presentan aumentos y disminuciones al interior de Cundinamarca. Se puede apreciar una tendencia a la disminución hacia la *zona oriental de cundinamarca* para casi todos los periodos a excepción de MAM que tiende al aumento. Estas disminuciones son en promedio (para estaciones al interior de cundinamarca) del orden de -0,04 a -0,1 mm/año y se destaca que el periodo DEF tiene una marcada tendencia a la disminución para la zona central y oriental, sin embargo no resultan los promedios en disminución más bajos, los cuales resultan para el periodo JJA con valores del orden de -0,1mm/año y además tiene la tendencia más baja con -0,2mm/año para esta zona oriental del departamento. De continuar esta tendencia, se pueden proyectar disminuciones promedio en la precipitación diaria de 0,4 a 1mm por década, lo que puede implicar que en 50 años caigan entre 2 a 5 mm menos en comparación a lo actual.

Por otro lado, se puede apreciar que sobre la *región central de cundinamarca* la tendencia es al aumento para casi todos los periodos (a excepción de DEF, que disminuye), con valores promedio para las estaciones al interior de cundinamarca de 0,02 a 0,04 mm/año, pero llegando a tener tendencias máximas del orden de 0,08mm/año para el periodo JJA (el cual a su vez también tiene las disminuciones más grandes). De continuar esta tendencia se debe esperar una tasa de incremento sobre esta región central, del orden de 0,2 a 0,4 mm por década, lo que implica que en 50 años puede caer en promedio 1 a 2 mm más diariamente en comparación a lo actual<sup>15</sup>.

<sup>14</sup> Es normal expresar estas unidades como mm/año

<sup>15</sup> Como referencia se reporta el dato promedio de la estación «Aeropuerto El Dorado (21205790)», el cual es de 0,4mm diarios (este promedio tiene en cuenta los días en donde no llueve) para el periodo JJA durante los 31 años (1980 a 2010). El cambio proyectando es un aumento del orden de 0,03mm por año.

La Fig. 4.4.1b presenta el mapa para el índice *pint* (definición en Cap. 2). Este índice permite visualizar el promedio de precipitación para los días húmedos<sup>16</sup> en el periodo. Sus unidades son mm/día.año; es decir la forma como cambia la precipitación solo para los días húmedos en promedio cada año. La tabla 4.4b, presenta los datos promedio de las estaciones que presentan aumentos y disminuciones al interior de Cundinamarca. Se pueden apreciar tendencias a la disminución desde la *región central hacia el oriente de Cundinamarca* para todos los periodos con valores en el orden de -0,08 a -0,1 mm/año, pero con tendencias mínimas del orden de -0,2mm/año. De continuar esta tendencia, la tasa de cambio en promedio será del orden de -0,8 a -1 mm por década, lo que puede implicar cambios en 50 años en el orden de 4 a 5 mm menos en comparación al promedio de precipitación para los días húmedos actuales.

Por su parte la *región central hacia el occidente de Cundinamarca*, se aprecia con tendencia al aumento en el promedio de precipitación para los días húmedos, para casi todos los periodos a excepción de DEF que no resulta tan evidente. Estas tendencias al aumento están en promedio para los periodos trimestrales en el orden de 0,08 a 0,1 mm/año, pero con tendencias máximas en el orden de 0,2 mm/año. De continuar esta tendencia, la tasa de cambio en promedio será del orden de 0,8 a 1 mm por década, lo que puede implicar cambios en 50 años en el orden de 4 a 5 mm más en comparación al promedio de precipitación para los días húmedos actuales<sup>17</sup>.

La fig. 4.4.1c presenta el mapa para el índice *pq90* (definición en Cap. 3). Este índice permite apreciar el cambio para las precipitaciones extremas, es decir la forma como está cambiando el percentil 90 de los días húmedos. La tabla 4.4c, presenta los datos promedio de las estaciones que presentan aumentos y disminuciones al interior de Cundinamarca. Se aprecia una tendencia desde la *región central hacia el oriente de Cundinamarca* a la disminución, en especial para los periodos trimestrales DEF, JJA<sup>18</sup> y el periodo Anual. El valor promedio de esta disminución es del orden de -0,2 mm/año (igual todos los periodos), siendo la disminución más baja en el orden de -0,4 mm/año, justo para estos dos periodos trimestrales DEF y JJA. De continuar esta tendencia, la tasa de cambio en promedio será del orden de 2 mm menos por década, lo que puede implicar cambios en 50 años en el orden de 10 mm menos en comparación al percentil 90 que se tiene hoy día.

Por su parte la *región central de Cundinamarca*, se aprecia con tendencia al aumento en el percentil 90 de los días húmedos, lo que significa tendencia a fuertes lluvias. Estas tendencias son del orden de 0,1 a 0,2 mm/año, con tendencias máximas de 0,4 mm/año. De continuar esta tendencia, la tasa de cambio en promedio será del orden de 1 a 2 mm más por década, lo que puede implicar cambios en 50 años en el orden de 5 a 10 mm más en comparación al percentil 90 que se tiene hoy día<sup>19</sup>. Esto significa que sobre esta región central de Cundinamarca se deben esperar más lluvias extremas.

16 Un día húmedo se define como precipitación mayor a 1mm.

17 Como referencia se reporta el promedio de precipitación para los días húmedos en la estación «Aeropuerto El Dorado (21205790)», para el periodo MAM durante los 31 años de análisis 1980-2010, el cual es de 7,7mm. La tasa de cambio encontrada aquí es en promedio del orden de 0,08 a 0,1mm cada año.

18 Los periodos trimestrales DEF y JJA típicamente pertenecen al régimen de lluvias bajas sobre la región Andina.

19 Como referencia se reporta el percentil 90 de precipitación para los días húmedos en la estación «Aeropuerto El Dorado (21205790)», para el periodo MAM durante los 31 años de análisis 1980-2010, el cual es de 22 mm. La tasa de cambio encontrada aquí para el percentil 90 es en promedio en el orden de 0,1 a 0,2 mm por cada año.

La Fig. 4.4.1d presenta el mapa para el índice *px5d* - Máximo de precipitación en 5 días consecutivos (definición en Cap. 4). La tabla 4.4d, presenta los datos promedio de las estaciones que presentan aumentos y disminuciones al interior de Cundinamarca. Se aprecia una tendencia desde la *región central hacia el oriente de Cundinamarca* a la disminución, en especial para los periodos trimes- trales DEF, JJA y el periodo Anual. El valor promedio de esta disminución es del orden de -0,8 a -1,3 mm/año, siendo la disminución más baja en el orden de -3 mm/año para el periodo JJA. De continuar esta tendencia, la tasa de cambio en promedio será del orden de 8 a 13 mm *menos* por década, lo que puede implicar cambios en 50 años en el orden de 40 a 65 mm *menos* en comparación al volumen de precipitación que cae en 5 días seguidos hoy día.

Por su parte la *región central de Cundinamarca*, se aprecia con tendencia al aumento en el volumen de precipitación que cae en 5 días seguidos, lo que indica mayor tendencia a lluvias más fuertes. Estas tendencias son del orden de 0,6 a 0,9 mm/año, con tendencias máximas de 1,6 mm/año. De continuar esta tendencia, la tasa de cambio en promedio será del orden de 6 a 9 mm *más* por década, lo que puede implicar cambios en 50 años en el orden de 30 a 45 mm *más* en comparación al volumen de lluvia que cae hoy día en 5 días segui- dos<sup>20</sup>. Esto significa que sobre esta región central de Cundinamarca se deben esperar más lluvias extremas.

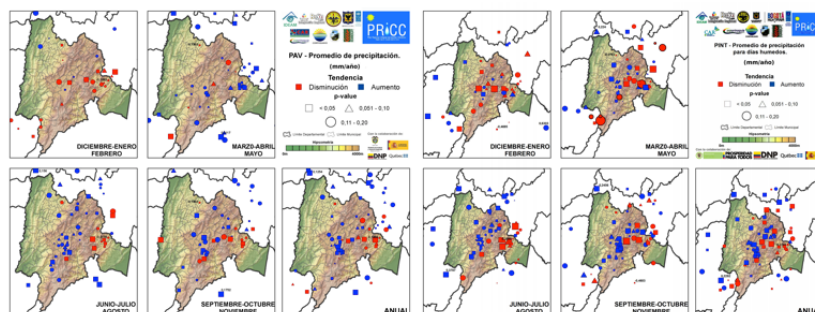
La Fig. 4.4.1e presenta el mapa para el índice *pfl90* (definición en Cap. 5). Este índice se puede entender como la tendencia promedio al aumento o disminución de las precipitaciones extremas para los días hú- medos, donde «extremo» corresponde a precipitaciones por encima del percentil 90. Aunque este índice no tiene unidades (pues se trata de una relación entre mismas variables), su interpretación resulta más fácil, sí se tiene en cuenta que es la sumatoria de **mm** de precipitación extrema (sólo para los días húmedos) dividido entre los **mm** de precipitación total por **año**<sup>21</sup>. La tabla 4.4e, presenta los datos promedio de las estaciones que presentan aumentos y disminuciones al interior de Cundinamarca. Se aprecia una tendencia a la disminución hacia la *zona oriental de Cundinamarca* para todos los periodos, pero resulta muy marcado para el periodo JJA, con tendencias promedio al interior de Cundinamarca en el orden de -0,004 a -0,01 (-0,4 a -1 % por año), pero con valores mínimos de -0,02 (-2 % por año). De continuar estas tendencias se pueden esperar disminuciones del orden de -4 a -10 % por década en las precipitaciones extremas, lo que significa que en 50 años se pueden tener entre -20 a -50 % menos de precipitaciones extremas en comparación a lo actual.

Por su parte las tendencias positivas, que resultan más importantes en términos de inundaciones y riesgos agroclimáticos, se aprecian hacia el *centro de Cundinamarca* para todos los periodos, con tendencias en el orden de 0,006 a 0,009 (0,6 a 0,9 % por año) para los periodos trimestrales, pero con tendencias máximas de 0,01 (1 % por año). De continuar estas tendencias se pueden esperar aumentos promedio hacia el centro de Cundinamarca en el orden de 6 a 9 % por década en las precipitaciones extremas, lo que significa que en 50

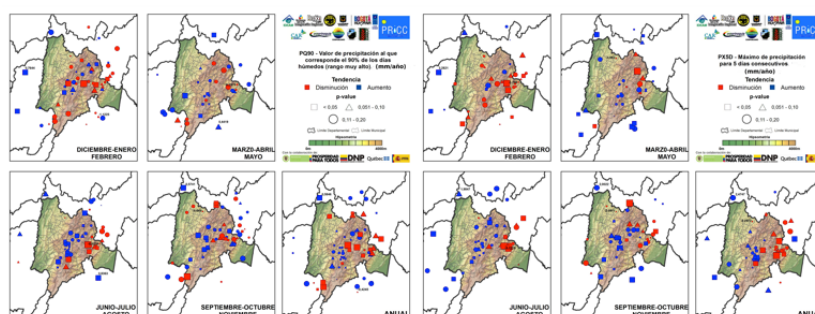
20 Como referencia se reporta el promedio del volumen de precipitación para 5 días seguidos de la estación «Aerop- uerto El Dorado (21205790)», para el periodo JJA durante los 31 años de análisis 1980-2010, el cual es de 34 mm (aunque el máximo es de 75 mm). La tasa de cambio promedio encontrada aquí para el volumen de lluvia que cae en 5 días consecutivos es de 0,6 a 0,9 mm por cada año.

21 Se puede multiplicar por 100 y obtener un porcentaje de incremento o disminución de precipitaciones extremas

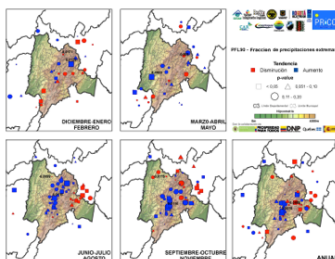
años se pueden tener entre 30 a 40 % más de precipitaciones extremas en comparación a lo actual<sup>22</sup>.



(a) Mapa para pav Promedio de precipitación (b) Mapa para pint Promedio de precipitación para días húmedos



(c) Mapa para pq90 Percentil 90 de días húmedos (d) Mapa para px5d Máximo de precipitación en 5 días consecutivos



(e) Mapa para pfl90

FIGURA 4.4.1: MAPAS PARA LA MAGNITUD DE LA PRECIPITACIÓN

<sup>22</sup> Como referencia se reporta el promedio de las precipitaciones extremas diarias, es decir el promedio de los datos de las precipitaciones que se encuentran por encima del percentil 90, para la estación «Aeropuerto El Dorado (21205790)», para el periodo JJA durante los 31 años de análisis 1980-2010, es de 16 mm (aunque el máximo es de 35 mm). La tasa de cambio promedio encontrada aquí para el aumento de las precipitaciones extremas es de 0,6 a 0,9 % por cada año.

#### 4.4.2 Precipitación - Frecuencia: *pxcdd* Máximo de días consecutivos secos - *pxc wd* Máximo de días consecutivos húmedos - *pn10mm* No. de días donde precip $\geq 10\text{mm}$ - *pn90* Eventos de precipitación extrema en el largo plazo

La Fig. 4.4.2a presenta el mapa para el índice *pxcdd* - Máximo de días consecutivos secos (definición en Cap. 1) y Fig. 4.4.2b presenta el mapa para el índice *pxc wd* - Máximo de días consecutivos húmedos (definición en Cap. 2). Se puede apreciar que estos dos mapas son complementarios; en donde los días secos aumentan, los días húmedos disminuyen, como lo presentado para el periodo DEF. Por el contrario en donde los días secos disminuyen, los días húmedos tienden a aumentar, como para los periodos trimestrales MAM, JJA y SON. Las tablas 4.5a y 4.5b, presenta los datos promedio de las estaciones que presentan aumentos y disminuciones al interior de Cundinamarca. Mientras el promedio en los aumentos de los *días consecutivos secos* son del orden de 0,1 a 0,4 días/año, el promedio en los aumentos para los *días consecutivos húmedos* tienen una tasa un poco menor con valores en el orden de 0,1 a 0,2 días/año. Esto significa un poco más de tendencia a tener días más secos, en comparación a la cantidad de días consecutivos húmedos. De continuar estas tendencias se pueden esperar aumentos en el número de días secos de 1 a 4 días por década y de 1 a 2 días por década en el número de días húmedos consecutivos<sup>23</sup>.

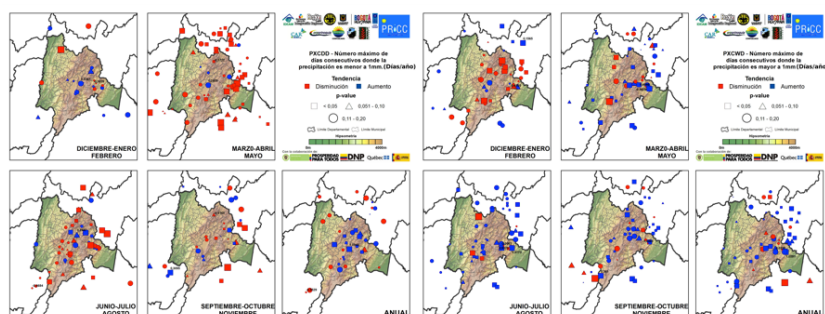
La Fig. 4.4.2c presenta el mapa para el índice *pn10mm* (definición en Cap. 3). Este índice, nos permite ver la forma como estan cambiando los días con precipitaciones por encima de 10mm. Sus unidades son días/año. La tabla 4.5c, presenta los datos promedio de las estaciones que presentan aumentos y disminuciones al interior de Cundinamarca. Se puede apreciar que hacia la *zona oriental de Cundinamarca* la tendencia es a la disminución, para los periodos trimestrales DEF, JJA y SON. Estas tendencias a la disminución son en promedio para los periodos trimestrales de -0,1 a -0,4 días/año para estaciones al interior de Cundinamarca, pero con mínimos hasta de -0,8 días/año. Por su parte en la *zona central de Cundinamarca* se aprecian aumentos del orden de 0,1 a 0,2 días/año, pero con máximos hasta de 0,4 días/año para los periodos trimestrales. De continuar estas tendencias, se puede esperar una tasa de cambio de 1 a 2 días por década, lo cual significa que en 50 años se puede llegar a tener alrededor de 5 a 10 días más con precipitaciones por encima de 10mm<sup>24</sup>.

La Fig. 4.4.2d presenta el mapa para el índice *pn90* (definición en Cap. 4). Este índice *pn90* equivale al número de eventos con precipitaciones extremas en el largo plazo (todo el periodo analizado: 1980 - 2010), donde extremo corresponde a los valores por encima del percentil 90 para los días húmedos. Las unidades de este indice son Eventos/año. La tabla 4.5d, presenta los datos promedio de las estaciones que presentan

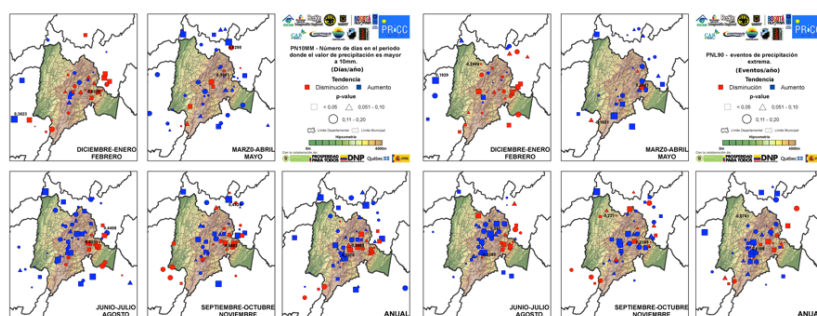
23 Como referencia se reporta el promedio del máximo número de días consecutivos secos, para la estación «Aeropuerto El Dorado (21205790)», para el periodo MAM durante los 31 años de análisis 1980-2010, el cual es de 11 días, aunque el valor máximo llega a estar en 28. La tasa de cambio promedio encontrada aquí para el aumento en el número de días consecutivos secos es de 0,1 a 0,4 días por año. Por otro lado, el promedio en el número máximo de días consecutivos húmedos es de 6 días y la tasa de aumento encontrando aquí es de 0,1 a 0,2 días por año.

24 Como referencia se reporta el promedio del número de días con precipitaciones por encima de 10mm, para la estación «Aeropuerto El Dorado (21205790)», durante los 31 años de análisis 1980-2010, con 3,4 días para el periodo JJA y de 8,6 para el periodo MAM. La tasa de cambio promedio encontrada aquí para la cantidad de días con precipitaciones por encima de 10mm para los periodos trimestrales son del orden de 0,1 a 0,2 días por cada año.

aumentos y disminuciones al interior de Cundinamarca. Se aprecia una tendencia a la disminución *hacia el oriente de Cundinamarca*, con tendencias del orden de -0,1 a -0,2 eventos/año para todos los periodos trimestrales analizados. Por su parte, se aprecian tendencias al aumento *hacia el centro del Cundinamarca* de 0,05 a 0,1 eventos/año para los periodos trimestrales. De continuar estas tendencias al aumento, se puede esperar una tasa de cambio de 0,5 a 1 evento por decada, lo que implica que en 50 años se puede esperar entre 2 a 5 eventos más de lo actual<sup>25</sup>.



(a) Mapa para pxcdd Máximo de días consecutivos secos (b) Mapa para pxcwd Máximo de días consecutivos húmedos



(c) Mapa para índice pn10mm No. de días donde precip  $\geq 10$ mm (d) Mapa para pn190

FIGURA 4.4.2: MAPAS PARA LA FRECUENCIA DE LA PRECIPITACIÓN.

25 Como referencia se reporta el promedio de eventos con precipitaciones fuertes, para la estación «Aeropuerto El Dorado (21205790)», durante los 31 años de análisis 1980-2010, con 1,8 para el trimestre DEF (el más bajo de los 4 trimestres) y con 3,6 para el trimestre MAM (el más alto de los 4 trimestres). La tasa de cambio promedio encontrada aquí para los eventos con precipitaciones fuertes es de 0,05 a 0,1 eventos por año.

TABLA 4.5: TENDENCIAS PARA LA PRECIPITACIÓN (MAGNITUD)

(a) Índice pav

| Periodo | Promedio Total Mapa (mm/año) | Promedio C/marca (mm/año) | Estaciones en Aumento              |                                      |                                   | Estaciones en Disminución             |                                 |                                   |
|---------|------------------------------|---------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|
|         |                              |                           | Promedio Aumentos C/marca (mm/año) | Cantidad Estaciones Aumentos C/marca | Tendencia Máxima C/marca (mm/año) | Promedio Disminución C/marca (mm/año) | Cantidad Estaciones Disminución | Tendencia Mínima C/marca (mm/año) |
| DEF     | -0,02                        | -0,03                     | 0,02                               | 4                                    | 0,03                              | -0,04                                 | 13                              | -0,07                             |
| MAM     | 0,05                         | 0,02                      | 0,04                               | 19                                   | 0,07                              | -0,06                                 | 4                               | -0,07                             |
| JJA     | 0,01                         | 0,003                     | 0,03                               | 34                                   | 0,08                              | -0,10                                 | 9                               | -0,2                              |
| SON     | 0,01                         | 0,01                      | 0,04                               | 22                                   | 0,06                              | -0,05                                 | 10                              | -0,1                              |
| Anual   | 0,01                         | 0,006                     | 0,02                               | 27                                   | 0,05                              | -0,04                                 | 11                              | -0,09                             |

(b) Índice pint

| Periodo | Promedio Total Mapa (mm/año) | Promedio C/marca (mm/año) | Estaciones en Aumento              |                                      |                                   | Estaciones en Disminución             |                                 |                                   |
|---------|------------------------------|---------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|
|         |                              |                           | Promedio Aumentos C/marca (mm/año) | Cantidad Estaciones Aumentos C/marca | Tendencia Máxima C/marca (mm/año) | Promedio Disminución C/marca (mm/año) | Cantidad Estaciones Disminución | Tendencia Mínima C/marca (mm/año) |
| DEF     | -0,01                        | -0,01                     | 0,1                                | 10                                   | 0,2                               | -0,1                                  | 15                              | -0,2                              |
| MAM     | 0,01                         | 0,01                      | 0,08                               | 19                                   | 0,2                               | -0,09                                 | 14                              | -0,2                              |
| JJA     | 0,03                         | 0,02                      | 0,08                               | 28                                   | 0,2                               | -0,1                                  | 13                              | -0,2                              |
| SON     | 0,01                         | 0,02                      | 0,08                               | 33                                   | 0,2                               | -0,1                                  | 12                              | -0,2                              |
| Anual   | -0,0002                      | 0,01                      | 0,05                               | 34                                   | 0,1                               | -0,08                                 | 15                              | -0,2                              |

(c) Índice pq90

| Periodo | Promedio Total Mapa (mm/año) | Promedio C/marca (mm/año) | Estaciones en Aumento              |                                      |                                   | Estaciones en Disminución             |                                 |                                   |
|---------|------------------------------|---------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|
|         |                              |                           | Promedio Aumentos C/marca (mm/año) | Cantidad Estaciones Aumentos C/marca | Tendencia Máxima C/marca (mm/año) | Promedio Disminución C/marca (mm/año) | Cantidad Estaciones Disminución | Tendencia Mínima C/marca (mm/año) |
| DEF     | -0,06                        | -0,05                     | 0,2                                | 11                                   | 0,4                               | -0,2                                  | 18                              | -0,4                              |
| MAM     | 0,04                         | 0,01                      | 0,2                                | 13                                   | 0,2                               | -0,2                                  | 11                              | -0,3                              |
| JJA     | 0,04                         | 0,02                      | 0,1                                | 21                                   | 0,2                               | -0,2                                  | 10                              | -0,4                              |
| SON     | 0,02                         | 0,08                      | 0,2                                | 26                                   | 0,4                               | -0,2                                  | 13                              | -0,3                              |
| Anual   | 0,01                         | 0,01                      | 0,1                                | 27                                   | 0,3                               | -0,2                                  | 17                              | -0,4                              |

(d) Índice px5d

| Periodo | Promedio Total Mapa (mm/año) | Promedio C/marca (mm/año) | Estaciones en Aumento              |                                      |                                   | Estaciones en Disminución             |                                 |                                   |
|---------|------------------------------|---------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|
|         |                              |                           | Promedio Aumentos C/marca (mm/año) | Cantidad Estaciones Aumentos C/marca | Tendencia Máxima C/marca (mm/año) | Promedio Disminución C/marca (mm/año) | Cantidad Estaciones Disminución | Tendencia Mínima C/marca (mm/año) |
| DEF     | -0,6                         | -0,7                      | 0,7                                | 3                                    | 0,7                               | -1,0                                  | 16                              | -1,9                              |
| MAM     | 0,6                          | 0,3                       | 0,9                                | 14                                   | 1,6                               | -0,8                                  | 8                               | -1,2                              |
| JJA     | 0,0                          | -0,3                      | 0,6                                | 22                                   | 1,1                               | -1,6                                  | 14                              | -3,1                              |
| SON     | 0,2                          | 0,3                       | 0,9                                | 24                                   | 1,6                               | -1,1                                  | 11                              | -2,1                              |
| Anual   | 0,1                          | -0,08                     | 0,8                                | 19                                   | 1,3                               | -1,2                                  | 15                              | -2,0                              |

(e) Índice pfl90

| Periodo | Promedio Total Mapa | Promedio C/marca | Estaciones en Aumento     |                                      |                          | Estaciones en Disminución    |                                 |                          |
|---------|---------------------|------------------|---------------------------|--------------------------------------|--------------------------|------------------------------|---------------------------------|--------------------------|
|         |                     |                  | Promedio Aumentos C/marca | Cantidad Estaciones Aumentos C/marca | Tendencia Máxima C/marca | Promedio Disminución C/marca | Cantidad Estaciones Disminución | Tendencia Mínima C/marca |
| DEF     | -0,001              | -0,002           | 0,009                     | 7                                    | 0,01                     | -0,01                        | 12                              | -0,02                    |
| MAM     | 0,001               | 0,001            | 0,006                     | 10                                   | 0,008                    | -0,01                        | 6                               | -0,01                    |
| JJA     | 0,003               | 0,004            | 0,007                     | 27                                   | 0,01                     | -0,006                       | 9                               | -0,01                    |
| SON     | 0,002               | 0,002            | 0,006                     | 27                                   | 0,01                     | -0,006                       | 13                              | -0,01                    |
| Anual   | 0,0002              | 0,0005           | 0,004                     | 22                                   | 0,008                    | -0,004                       | 16                              | -0,01                    |

TABLA 4.6: TENDENCIAS PARA LA PRECIPITACIÓN (FRECUENCIA)

(a) Índice pxcdd

| Periodo | Promedio Total Mapa (Días/año) | Promedio C/marca (Días/año) | Estaciones en Aumento                |                                      |                                     | Estaciones en Disminución               |                                 |                                     |
|---------|--------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|
|         |                                |                             | Promedio Aumentos C/marca (Días/año) | Cantidad Estaciones Aumentos C/marca | Tendencia Máxima C/marca (Días/año) | Promedio Disminución C/marca (Días/año) | Cantidad Estaciones Disminución | Tendencia Mínima C/marca (Días/año) |
| DEF     | 0.2                            | 0.1                         | 0.4                                  | 11                                   | 0.6                                 | -0.3                                    | 5                               | -0.5                                |
| MAM     | -0.2                           | -0.1                        | 0.1                                  | 3                                    | 0.2                                 | -0.2                                    | 22                              | -0.4                                |
| JJA     | -0.1                           | -0.1                        | 0.06                                 | 10                                   | 0.1                                 | -0.2                                    | 28                              | -0.5                                |
| SON     | -0.04                          | -0.1                        | 0.1                                  | 7                                    | 0.2                                 | -0.2                                    | 11                              | -0.4                                |
| Anual   | 0.1                            | 0.1                         | 0.4                                  | 16                                   | 0.7                                 | -0.3                                    | 9                               | -0.5                                |

(b) Índice pxcwd

| Periodo | Promedio Total Mapa (Días/año) | Promedio C/marca (Días/año) | Estaciones en Aumento                |                                      |                                     | Estaciones en Disminución               |                                 |                                     |
|---------|--------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|
|         |                                |                             | Promedio Aumentos C/marca (Días/año) | Cantidad Estaciones Aumentos C/marca | Tendencia Máxima C/marca (Días/año) | Promedio Disminución C/marca (Días/año) | Cantidad Estaciones Disminución | Tendencia Mínima C/marca (Días/año) |
| DEF     | -0.04                          | -0.05                       | 0.07                                 | 7                                    | 0.1                                 | -0.09                                   | 21                              | -0.2                                |
| MAM     | 0.05                           | 0.01                        | 0.2                                  | 12                                   | 0.3                                 | -0.2                                    | 9                               | -0.4                                |
| JJA     | 0.05                           | -0.02                       | 0.1                                  | 19                                   | 0.3                                 | -0.3                                    | 9                               | -0.5                                |
| SON     | 0.03                           | -0.02                       | 0.1                                  | 18                                   | 0.3                                 | -0.3                                    | 8                               | -1.0                                |
| Anual   | 0.07                           | 0.1                         | 0.2                                  | 20                                   | 0.5                                 | -0.3                                    | 7                               | -0.5                                |

(c) Índice pn10mm

| Periodo | Promedio Total Mapa (Días/año) | Promedio C/marca (Días/año) | Estaciones en Aumento                |                                      |                                     | Estaciones en Disminución               |                                 |                                     |
|---------|--------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|
|         |                                |                             | Promedio Aumentos C/marca (Días/año) | Cantidad Estaciones Aumentos C/marca | Tendencia Máxima C/marca (Días/año) | Promedio Disminución C/marca (Días/año) | Cantidad Estaciones Disminución | Tendencia Mínima C/marca (Días/año) |
| DEF     | -0.06                          | -0.08                       | 0.08                                 | 6                                    | 0.1                                 | -0.1                                    | 16                              | -0.25                               |
| MAM     | 0.1                            | 0.07                        | 0.1                                  | 17                                   | 0.3                                 | -0.2                                    | 5                               | -0.25                               |
| JJA     | 0.01                           | -0.04                       | 0.1                                  | 30                                   | 0.3                                 | -0.4                                    | 13                              | -0.85                               |
| SON     | 0.01                           | 0.02                        | 0.2                                  | 19                                   | 0.4                                 | -0.2                                    | 13                              | -0.39                               |
| Anual   | 0.1                            | 0.06                        | 0.4                                  | 28                                   | 0.8                                 | -0.6                                    | 14                              | -1.2                                |

(d) Índice pn190

| Periodo | Promedio Total Mapa (Eventos/año) | Promedio C/marca (Eventos/año) | Estaciones en Aumento                   |                                      |                                        | Estaciones en Disminución                  |                                 |                                        |
|---------|-----------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------|----------------------------------------|
|         |                                   |                                | Promedio Aumentos C/marca (Eventos/año) | Cantidad Estaciones Aumentos C/marca | Tendencia Máxima C/marca (Eventos/año) | Promedio Disminución C/marca (Eventos/año) | Cantidad Estaciones Disminución | Tendencia Mínima C/marca (Eventos/año) |
| DEF     | -0.03                             | -0.05                          | 0.05                                    | 6                                    | 0.07                                   | -0.08                                      | 17                              | -0.2                                   |
| MAM     | 0.05                              | 0.04                           | 0.09                                    | 14                                   | 0.2                                    | -0.1                                       | 4                               | -0.1                                   |
| JJA     | 0.02                              | 0.02                           | 0.1                                     | 28                                   | 0.2                                    | -0.2                                       | 11                              | -0.3                                   |
| SON     | 0.03                              | 0.03                           | 0.1                                     | 26                                   | 0.2                                    | -0.1                                       | 12                              | -0.2                                   |
| Anual   | 0.05                              | 0.04                           | 0.2                                     | 31                                   | 0.4                                    | -0.3                                       | 12                              | -0.7                                   |

# CONCLUSIONES

1. La magnitud de la *variable temperatura máxima diaria* en Cundinamarca esta aumentando, con una tasa de cambio promedio alrededor de  $0,05^{\circ}\text{C/año}$  ó  $0,5^{\circ}\text{C}$  por década.
2. La magnitud del percentil 90 de la *variable temperatura máxima diaria* esta aumentando en Cundinamarca, con una tasa de cambio en el orden de  $0,05^{\circ}\text{C/año}$ , lo que significa que cada vez las temperaturas máximas diarias son cada vez más extremas. Por su parte la frecuencia con que ocurren estos eventos también aumenta, a una tasa de 1 % por año, es decir que los días en que se sobrepasa el percentil 90 tienen un incremento de 10 % por década.
3. La frecuencia de eventos en donde la variable temperatura máxima aumenta, representado como ondas de calor, presenta tendencia al aumento con una tasa de cambio alrededor de 0,1 días/año, es decir 1 día más de ondas de calor por década.
4. La magnitud de la variable temperatura mínima tiende a aumentar hacia el centro y a disminuir hacia el nororiente de Cundinamarca, con tasas de cambio de  $0,05^{\circ}\text{C/año}$  y  $-0,06^{\circ}\text{C/año}$ , respectivamente.
5. La magnitud del percentil 10 de la *variable temperatura mínima diaria* esta aumentando hacia el centro de Cundinamarca y disminuyendo hacia el nororiente con tasas en el orden de  $0,05^{\circ}\text{C/año}$  y  $-0,07^{\circ}\text{C/año}$ , respectivamente. Por su parte, se aprecia una disminución en los días (es decir en la frecuencia), en donde el percentil 10 aumenta, es decir hacia la zona central de Cundinamarca, con una tasa del orden de -0,7 %, lo que puede implicar (de continuar la tendencia de la misma forma) que en 50 años tengamos 0,4 días menos por debajo del percentil 10; mientras que en las zonas en donde el percentil 10 disminuye, es decir hacia el nororiente de Cundinamarca, la cantidad de días que sobrepasan el percentil 10, aumentan con una tasa del orden de 0,5 %, lo que puede implicar (de continuar la tendencia de la misma forma) que en 50 años tengamos 0,3 días más por debajo del percentil 10.
6. El rango de las temperaturas extremas diarias tiende a aumentar hacia el *nororiente de Cundinamarca* (mayor temperatura máxima diaria y menor temperatura mínima diaria), es decir que hacia esta zona existen cada vez mayores extremos en las temperaturas diarias.
7. La precipitación promedio tiende a disminuir hacia la *zona oriental de Cundinamarca* para los periodos trimestrales DEF, JJA, SON y Anual, con una tasa en el orden de  $-0,05\text{ mm/año}$ , lo que significa que de continuar esta tendencia, se esperan disminuciones promedio en la precipitación diaria del orden de 0,5mm por década. Por su parte hacia la zona central de Cundinamarca se aprecian tendencias al aumento para los periodos trimestrales MAM, JJA y SON, con una tasa en el orden de  $0,03\text{mm/año}$  en pro-

medio, lo que significa que de continuar esta tendencia se esperan 0,3mm de incremento por década.

8. La precipitación promedio para los días húmedos (precipitación > 1mm) tiende a disminuir en la *región central y oriental de Cundinamarca* para todos los periodos trimestrales con una tasa de cambio de -0,08 mm/año, lo que puede implicar disminuciones en el orden de -0,8 mm por década. Por su parte en *región central y occidental de Cundinamarca* se aprecian aumentos en el promedio de precipitación para los días húmedos para los periodos trimestrales MAM, JJA y SON, con una tasa en el orden de 0,08 mm/año, lo que puede implicar aumentos del orden de 1mm más por década en comparación al promedio actual.

9. Las precipitaciones extremas, determinadas por el percentil 90 para días húmedos, se encuentran en disminución hacia el *oriente de Cundinamarca*, con una tasa en el orden de -0,2 mm/año para los periodos trimestrales DEF y JJA (periodos típicos de lluvias bajas), lo que implica que de continuar esta tendencia se tendrán 2mm menos por década en comparación al percentil 90 actual. Esto también queda evidenciado con la relación entre sumatoria de precipitaciones extremas (mayor a percentil 90) y el total de precipitación de cada periodo analizado para los días húmedos, el cual presenta un cambio en el orden de -0,4 a -1,0 % por año, lo que puede implicar disminuciones en las precipitaciones extremas en el orden de -4 a -10 % por década en comparación a lo actual.

10. Las precipitaciones extremas, determinadas por el percentil 90 para días húmedos, se encuentran en aumento hacia el *región central de Cundinamarca*, con una tasa de cambio en el orden de 0,1 a 0,2 mm/año, lo que puede implicar cambios de continuar esta tendencia, de 1 a 2 mm más por década.

11. Esto también queda evidenciado con la relación entre sumatoria de precipitaciones extremas (mayor a percentil 90) y el total de precipitación de cada periodo analizado para los días húmedos, el cual presenta un cambio en el orden de 0,6 a 0,9 % por año, lo que puede implicar aumentos promedio en las precipitaciones extremas en el orden de 6 a 9 % por década en comparación a lo actual. Esto significa que sobre la región central de Cundinamarca se deben esperar más lluvias extremas.

12. El máximo de precipitación en 5 días consecutivos presenta una tendencia a la disminución hacia el *oriente de Cundinamarca* en especial para los periodos trimestrales DEF y JJA, con una tasa de cambio del orden de -1,0mm/año. Por su parte en la *región central de Cundinamarca*, la tendencia es al aumento en el volumen de precipitación que cae en 5 días seguidos, en una tasa del orden de 0,6 a 0,9 mm/año, lo que puede implicar aumentos promedios de 6 a 9 mm más por década, siempre y cuando se continúe con esta tendencia. Esto significa que sobre esta región central de Cundinamarca se esperan lluvias más extremas.

13. El máximo de días secos consecutivos tienden a disminuir en el orden de 0,1 a 0,4 días/año y el máximo de días húmedos consecutivos tienden a aumentar en el orden de 0,1 a 0,2 días/año al interior de Cundinamarca. Esta información es complementaria, es decir en donde disminuyen los días secos consecutivos, aumentan los días húmedos consecutivos. El periodo trimestral DEF tiende a la disminución de días húmedos consecutivos (mayor cantidad de días secos consecutivos); mientras que los otros periodos trimestrales (MAM, JJA y SON) tienden a aumentar los días húmedos consecutivos (menor cantidad de días secos consecutivos).

14. Los días en donde la precipitación es mayor a 10mm, se encuentran en disminución hacia la *zona*

*oriental de Cundinamarca* para los periodos trimestrales DEF, JJA y SON con una tasa del orden de -0,1 a -0,4 días/año; mientras que para la *zona central de Cundinamarca* se aprecian aumentos del orden de 0,1 a 0,2 días/año, lo que puede implicar una tasa de 1 a 2 días más por década de precipitaciones por encima de 10mm en comparación a los días actuales.

15. Los eventos de precipitaciones extremas tienden a disminuir hacia el *oriente de Cundinamarca* con tasas del orden de -0,1 a -0,2 eventos por año. Por su parte, los aumentos se presentan hacia el *centro de Cundinamarca* con tasas del orden de 0,05 a 0,1 eventos por año, para todos los periodos trimestrales analizados.

# BIBLIOGRAFÍA

[Grajales F., 2013] Grajales F., 2013. Análisis de índices de Extremos Climáticos mediante RCLimdex y Stardex. Proyecto PRICC, región Capital Bogotá-Cundinamarca. Enero de 2013.

[CRU,2005] Goodess C.M., Anagnostopoulou C., Bárdossy A., Frei C., Harpham C., Haylock M.R., Hurrell J., Maheras P., Ribalaygua J., Schmidli J., Schmith T., Tolika K., Tomozeiu R. and Wilby R.L. *An intercomparison of statistical downscaling methods for Europe and European regions – assessing their performance with respect to extreme temperature and precipitation events*. Climatic Research Unit School of Environmental Sciences University of East Anglia. Chapter 2.3.2012.

[Stardex,2013] <http://www.uea.ac.uk/projects/stardex>

[Stardex,2005] Clare Goodess. *Statistical and Regional dynamical Downscaling of Extremes for European regions. STARDEX*. Chapter 6.3. Climatic Research Unit, University of East Anglia. 2005.

[Stardex,2004] Malcolm Haylock. Stardex Core indices. 2004.

[Goodess, 2005] Goodess Clare, 2005.*Diagnostic\_tool.pdf*. Extraído de: <http://www.cru.uea.ac.uk/projects/stardex/> en Octubre 2012.

[Rodríguez, 2010] Rodríguez Roa A. (2010), *Evaluación de los modelos globales del clima utilizados para la generación de escenarios de cambio climático con el clima presente en Colombia*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM, Subdirección de meteorología, Bogotá, D. C.

[IPCC, 2011] IPCC, (2011). Definition of Terms Used Within the Data Distribution Centre -DDC- Pages. Tomado en Noviembre 2012: [http://www.ipcc-data.org/ddc\\_definitions.html](http://www.ipcc-data.org/ddc_definitions.html).

[STARDEX, 2005] STARDEX, downscaling climate extremes. Final Report. *Can these changes in extremes be related to changes in circulation and other aspects of the atmosphere?*. Climatic Research Unit School of Environmental Sciences University of East Anglia. United Kingdom.

## PARTE 2

Relaciones entre índices de Extremos Climáticos -STARDEX y Fenómeno ENOS para la región Bogotá - Cundinamarca

# TABLA DE CONTENIDO

|                                                          |    |
|----------------------------------------------------------|----|
| RESUMEN .....                                            | 47 |
| PALABRAS CLAVES: .....                                   | 48 |
| INTRODUCCIÓN.....                                        | 49 |
| 1.Objetivo General.....                                  | 51 |
| 1.1 <i>Objetivos específicos</i> .....                   | 51 |
| 2.Marco teórico .....                                    | 51 |
| 2.1 <i>STARDEX</i> .....                                 | 51 |
| 2.2 <i>Cálculo de índices por medio de STARDEX</i> ..... | 53 |
| 2.2.1 Temperatura máxima.....                            | 53 |
| 2.2.2 Temperatura mínima.....                            | 54 |
| 2.2.3 Precipitación.....                                 | 54 |
| 2.3 <i>Variabilidad climática</i> .....                  | 55 |
| 3.Metodología.....                                       | 56 |
| 3.1 <i>Datos</i> .....                                   | 56 |

|         |                                                                                                                                                                                                                                                                           |    |
|---------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.2     | <i>Procedimiento</i> .....                                                                                                                                                                                                                                                | 57 |
| 3.3     | <i>Interpretación de mapas</i> .....                                                                                                                                                                                                                                      | 57 |
| 4.      | <b>Resultados</b> .....                                                                                                                                                                                                                                                   | 59 |
| 4.1     | <i>Selección de región ENOS</i> .....                                                                                                                                                                                                                                     | 59 |
| 4.2     | <i>Relaciones entre anomalías ENOS e índices de extremos climáticos</i> .....                                                                                                                                                                                             | 60 |
| 4.2.1   | Temperatura Máxima .....                                                                                                                                                                                                                                                  | 60 |
| 4.2.1.1 | Temperatura Máxima - Magnitud: txav Temperatura Máxima promedio - txq90 Percentil 90 de la Temperatura Máxima .....                                                                                                                                                       | 60 |
| 4.2.1.2 | Temperatura Máxima - Frecuencia: txhw90 Percentil 90 de la duración de ondas de calor para 10 días de Tx - txf90 fracción de días por encima del rango muy alto (percentil 90) de la Tx .....                                                                             | 63 |
| 4.2.2   | Temperatura Mínima .....                                                                                                                                                                                                                                                  | 66 |
| 4.2.2.1 | Temperatura Mínima - Magnitud: tnav Temperatura mínima promedio - tnq10 Percentil 10 de la temperatura mínima.....                                                                                                                                                        | 66 |
| 4.2.2.2 | Temperatura mínima - frecuencia: ondas de frío: tncw10 Percentil 10 de la duración de ondas frías para 10 días de Tn - tnf10 fracción de días por debajo del rango muy bajo (percentil 10) de la Tn .....                                                                 | 68 |
| 4.2.3   | Precipitación.....                                                                                                                                                                                                                                                        | 69 |
| 4.2.3.1 | Precipitación - Magnitud: pav Promedio de precipitación total - pint Promedio de precipitación para días húmedos - pq90 Percentil 90 de días húmedos - pxd5 Máximo de precipitación en 5 días consecutivos - pfl90 Fracción promedio de las precipitaciones extremas..... | 69 |
| 4.2.3.2 | Precipitación - Frecuencia: pxcdd Máximo de días consecutivos secos - pxcwd Máximo de días consecutivos húmedos - pn10mm No. de días donde precip $\geq$ 10mm - pnl90 Eventos de precipitación extrema en el largo plazo .....                                            | 75 |
|         | <b>CONCLUSIONES</b> .....                                                                                                                                                                                                                                                 | 81 |
|         | <b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....                                                                                                                                                                                                                                                 | 83 |
|         | <b>ANEXOS:</b> .....                                                                                                                                                                                                                                                      | 85 |

# LISTA DE FIGURAS

|                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------|----|
| FIGURA 4.2.1: MAPA DE CORRELACIÓN DE ÍNDICE TXAV - NIÑO 3.4.....     | 60 |
| FIGURA 4.2.2: MAPA DE CORRELACIÓN DE ÍNDICE TXQ90 - NIÑO 3.4.....    | 62 |
| FIGURA 4.2.3: MAPA DE CORRELACIÓN DE ÍNDICE TXHW90 - NIÑO 3.4.....   | 63 |
| FIGURA 4.2.4: MAPA DE CORRELACIÓN DE ÍNDICE TXF90 - NIÑO 3.4 .....   | 65 |
| FIGURA 4.2.5: MAPA DE CORRELACIÓN DE ÍNDICE TNAV - NIÑO 3.4.....     | 66 |
| FIGURA 4.2.6: MAPA DE CORRELACIÓN DE ÍNDICE TNQ10 - NIÑO 3.4.....    | 67 |
| FIGURA 4.2.7: MAPA DE CORRELACIÓN DE ÍNDICE TNCW10 - NIÑO 3.4 .....  | 68 |
| FIGURA 4.2.8: MAPA DE CORRELACIÓN DE ÍNDICE PAV - NIÑO 3.4 .....     | 69 |
| FIGURA 4.2.9: MAPA DE CORRELACIÓN DE ÍNDICE PINT - NIÑO 3.4.....     | 71 |
| FIGURA 4.2.10: MAPA DE CORRELACIÓN DE ÍNDICE PQ90 - NIÑO 3.4 .....   | 72 |
| FIGURA 4.2.11: MAPA DE CORRELACIÓN DE ÍNDICE PX5D - NIÑO 3.4.....    | 73 |
| FIGURA 4.2.12: MAPA DE CORRELACIÓN DE ÍNDICE PFL90 - NIÑO 3.4.....   | 74 |
| FIGURA 4.2.13: MAPA DE CORRELACIÓN DE ÍNDICE PXCDD - NIÑO 3.4 .....  | 75 |
| FIGURA 4.2.14: MAPA DE CORRELACIÓN DE ÍNDICE PXCWD - NIÑO 3.4.....   | 76 |
| FIGURA 4.2.15: MAPA DE CORRELACIÓN DE ÍNDICE PN10MM - NIÑO 3.4 ..... | 78 |
| FIGURA 4.2.16: MAPA DE CORRELACIÓN DE ÍNDICE PNL90 - NIÑO 3.4.....   | 79 |

## LISTA DE TABLA 2

|                                                                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| TABLA 3.1: ÍNDICES DE EXTREMOS CLIMÁTICOS SELECCIONADOS .....                                                                        | 56 |
| TABLA 4.1: CANTIDAD DE DATOS DE CORRELACIÓN VÁLIDOS OBTENIDOS PARA CADA REGIÓN ENOS DE ACUERDO CON LA SIGNIFICANCIA ESTADÍSTICA..... | 59 |
| TABLA 4.2: DATOS DE CORRELACIÓN ENTRE ÍNDICE TXAV Y NIÑO 3.4. ....                                                                   | 61 |
| TABLA 4.3: CORRELACIÓN PARA ÍNDICE TXQ90 .....                                                                                       | 62 |
| TABLA 4.4: CORRELACIÓN PARA ÍNDICE TXHW90 .....                                                                                      | 64 |
| TABLA 4.5: CORRELACIÓN PARA ÍNDICE TXF90 .....                                                                                       | 65 |
| TABLA 4.6: CORRELACIÓN PARA ÍNDICE TNAV .....                                                                                        | 66 |
| TABLA 4.7: CORRELACIÓN PARA ÍNDICE TNQ10.....                                                                                        | 67 |
| TABLA 4.8: CORRELACIÓN PARA ÍNDICE TNCW10.....                                                                                       | 68 |
| TABLA 4.9: CORRELACIÓN PARA ÍNDICE PAV .....                                                                                         | 70 |
| TABLA 4.10: CORRELACIÓN PARA ÍNDICE PINT - NIÑO 3.4 .....                                                                            | 71 |
| TABLA 4.11: CORRELACIÓN PARA ÍNDICE PQ90 - NIÑO 3.4.....                                                                             | 73 |
| TABLA 4.12: CORRELACIÓN PARA ÍNDICE PX5D - NIÑO 3.4.....                                                                             | 74 |
| TABLA 4.13: CORRELACIÓN PARA ÍNDICE PFL90 - NIÑO 3.4 .....                                                                           | 75 |
| TABLA 4.14: CORRELACIÓN PARA ÍNDICE PXCDD - NIÑO 3.4 .....                                                                           | 76 |

|                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------|----|
| TABLA 4.15: CORRELACIÓN PARA ÍNDICE PXCWD - NIÑO 3.4.....   | 77 |
| TABLA 4.16: CORRELACIÓN PARA ÍNDICE PN10MM - NIÑO 3.4 ..... | 78 |
| TABLA 4.17: CORRELACIÓN PARA ÍNDICE PNL90 - NIÑO 3.4 .....  | 80 |
| TABLA 5.1: CORRELACIÓN PARA ÍNDICE PAV - NIÑO 3.....        | 85 |
| TABLA 5.2: CORRELACIÓN PARA ÍNDICE PFL90 - NIÑO 3.....      | 86 |
| TABLA 5.3: CORRELACIÓN PARA ÍNDICE PINT - NIÑO 3 .....      | 86 |
| TABLA 5.4: CORRELACIÓN PARA ÍNDICE PN10MM - NIÑO 3 .....    | 87 |
| TABLA 7.5: CORRELACIÓN PARA ÍNDICE PNL90 - NIÑO 3.....      | 87 |
| TABLA 5.6: CORRELACIÓN PARA ÍNDICE PQ90 - NIÑO 3.....       | 88 |
| TABLA 5.7: CORRELACIÓN PARA ÍNDICE PX5D - NIÑO 3 .....      | 88 |
| TABLA 5.8: CORRELACIÓN PARA ÍNDICE PXCDD - NIÑO 3.....      | 89 |
| TABLA 5.9: CORRELACIÓN PARA ÍNDICE PXCWD - NIÑO 3.....      | 89 |
| TABLA 5.10: CORRELACIÓN PARA ÍNDICE TNAV - NIÑO 3 .....     | 89 |
| TABLA 5.11: CORRELACIÓN PARA ÍNDICE TNQ10 - NIÑO 3 .....    | 90 |
| TABLA 5.12: CORRELACIÓN PARA ÍNDICE TXAV - NIÑO 3.....      | 90 |
| TABLA 5.13: CORRELACIÓN PARA ÍNDICE TXF90 - NIÑO 3 .....    | 91 |
| TABLA 5.14: CORRELACIÓN PARA ÍNDICE TXHW90 - NIÑO 3.....    | 91 |
| TABLA 5.15: CORRELACIÓN PARA ÍNDICE TXQ90 - NIÑO 3.....     | 92 |

# RESUMEN

Se presenta un análisis de teleconexiones entre datos de índices de extremos climáticos obtenidos mediante STARDEX y las anomalías en la temperatura superficial de mar del Pacífico tropical en las regiones El Niño 3 y El niño 3.4. Se han usado 17 índices de extremos climáticos calculados mediante el software STARDEX, los cuales se han seleccionado previamente dada su importancia en la detección de señales de cambio climático y el resultado específico para la región Bogotá- Cundinamarca. Los datos de los índices provienen del cálculo que realiza el software STARDEX con los datos diarios de estaciones meteorológicas para las variables temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación. Se han analizado los periodos trimestrales DEF, MAM, JJA, SON y el periodo Anual. Se han calculado correlaciones de Pearson entre los conjuntos de los datos y se han analizado los valores obtenidos en los niveles de confianza estadística de 90 y 95 %, tanto para magnitud como para la frecuencia de los eventos de las variables analizadas. Se han encontrado valores de correlación de hasta 0,73 y 0,69 para el niveles de confianza al 90 % y al 95 %, respectivamente.

## PALABRAS CLAVES:

Índices de extremos climáticos, STARDEX, El Niño, La Niña, temperatura máxima diaria, temperatura mínima diaria, precipitación diaria, Bogotá-Cundinamarca.

# INTRODUCCIÓN

Con el fin de avanzar en la planificación referente a las estrategias de adaptación y mitigación al cambio climático en su nivel regional, el proyecto Regional Integral de Cambio Climático (PRICC) propone que dichas estrategias provengan de la recopilación y el análisis de información técnica, en aspectos como la vulnerabilidad al riesgo y su gestión, el ordenamiento territorial y el análisis alrededor de la información climática. El PRICC ha venido adelantado desde hace algunos años información técnica que sirve de base para la generación de políticas, las cuales en conjunto con todas las estrategias resultan útiles en el desarrollo de la región capital Bogotá-Cundinamarca.

Siendo una de las estrategias la generación de información climática y dada la importancia que ha venido teniendo en la última década el análisis de eventos extremos, el PRICC se ha interesado en desarrollar información de interés en el análisis de estos eventos extremos para la región Bogotá- Cundinamarca [Grajales(a),2013]. Se puede decir que existe un consenso en la comunidad científica de que cualquier cambio en la magnitud y frecuencia de los eventos extremos puede tener profundos impactos en la naturaleza y la sociedad en general, de aquí la importancia de su análisis. Se construyen índices de extremos climáticos (los cuales son cálculos numéricos sobre una serie de datos), para evaluar la tendencia de la variable y analizar si esta se encuentra aumentando o disminuyendo. Un conjunto de estaciones cercanas entre sí y que muestren la misma tendencia en magnitud y sentido, puede ser una señal de cambio climático regional, por lo que tener un panorama de estas tendencias en variables como la temperatura y la precipitación y sus posibles cambios en horizontes de tiempo de 10, 20 o 30 años, es una información que ayuda a soportar decisiones locales en el diseño futuro de sectores como los recursos hídricos, la agricultura, los sistemas pluviales y de drenaje de tierras, carreteras, ferrocarriles, generación de energía, el diseño de edificios y otros sectores como el turismo, donde el tiempo y el clima son claves determinantes de la vida cotidiana. El PRICC ha llevado a cabo algunos trabajos previos en cuanto a la tendencia de los extremos climáticos, en los cuales se presenta la metodología de cálculo y las tendencias obtenidas [Grajales(a),2013] y también se han seleccionado los índices que resultan de mayor impacto tanto en magnitud como en frecuencia para la región Bogotá-Cundinamarca [Grajales(b),2013].

Este documento es el primer acercamiento que hace el PRICC para entender las relaciones entre los índices de extremos climáticos y los fenómenos El Niño y La Niña en la región Bogotá- Cundinamarca, por medio del análisis de correlación entre los datos de las anomalías en la temperatura superficial del mar en el Pacífico tropical, específicamente regiones Niño 3 y Niño 3.4 con respecto a los datos de los índices de extremos climáticos. Los fenómenos El Niño y La Niña producen cambios en los patrones climáticos regionales de América

del Sur, trayendo alteración en la corriente de Humboldt, pérdidas pesqueras, una mayor formación de nubes en la zona de convergencia intertropical, periodos muy húmedos o muy secos, pérdidas agrícolas y una mayor incertidumbre en el pronóstico tanto del estado del tiempo como del estacional.

Se ha usado como materia prima el dato calculado para cada periodo estacional DEF, MAM, JJA, SON de los índices de extremos climáticos para las variables *temperatura máxima*, *temperatura mínima* y *precipitación diaria*, usando el software STARDEX [Goodess(a),2005, CRU,2005]. Estos índices se calculan con datos observados provenientes de estaciones meteorológicas en series históricas diarias (para el caso se usó el periodo 1980-2010), las cuales han sido sometidas previamente a un control de calidad y a un proceso de homogenización, identificando errores evidentes (en especial para la variable precipitación) y eliminando dichos segmentos [Grajales(a),2013]. En este trabajo se han usado 17 índices de extremos climáticos de los 49 obtenidos inicialmente. Se han seleccionado 10 índices de acuerdo con las recomendaciones de STARDEX con los llamados índices centrales o de «core» [Stardex,2004, Goodess(a),2005] y que resultan básicos en el monitoreo y detección de posibles señales de cambio climático. Otros 3 de estos 17 índices son los promedios de cada una de las variables seleccionadas y 4 de estos índices han sido seleccionados dada la complementación de información con los otros índices y además por resultar notables en el análisis para la región. Los 17 índices se encuentran repartidos en 4 para la variable temperatura máxima (2 de magnitud y 2 de frecuencia) y de igual forma para la variable temperatura mínima; mientras que para la variable precipitación se tienen 9 índices (5 para magnitud y 4 para frecuencia). A diferencia de trabajos anteriores, en los cuales se analiza la tendencia de los índices y, por tanto, se tiene una proyección, en este trabajo se usa el dato del índice obtenido.

Encontrar posibles teleconexiones entre el fenómeno ENOS y los índices de extremos climáticos puede ser un primer paso que permita orientar algunos aspectos regionales en la planeación del territorio y además puede ayudar en la atención y prevención del riesgo.

## 1. OBJETIVO GENERAL

Encontrar posibles teleconexiones entre índices de extremos climáticos calculados mediante STARDEX y la temperatura superficial del mar en el Pacífico tropical, regiones Niño 3 y Niño 3.4 para la región Bogotá-Cundinamarca.

### 1.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Encontrar correlaciones de Pearson entre los índices de extremos climáticos calculados en el periodo 1980-2010 para la temperatura máxima diaria y la temperatura superficial del mar en el Pacífico tropical.
2. Encontrar correlaciones de Pearson entre los índices de extremos climáticos calculados en el periodo 1980-2010 para la temperatura mínima diaria y la temperatura superficial del mar en el Pacífico tropical.
3. Encontrar correlaciones de Pearson entre los índices de extremos climáticos calculados en el periodo 1980-2010 para la precipitación diaria y la temperatura superficial del mar en el Pacífico tropical.
4. Hacer un análisis de las correlaciones encontradas que permita entender las teleconexiones en magnitud y frecuencia en la región Bogotá-Cundinamarca.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 STARDEX

STARDEX (**STA**tistical and **R**egional Dynamical **D**ownscaling of **EX**tremes) es un software de la Unión Europea que hace parte de un grupo de tres proyectos cooperativos que exploran los futuros cambios en eventos extremos. Los otros miembros de este grupo son MICE (Modelling the Impacts of Climate Change<sup>1</sup>) y PRUDENCE (Prediction of Regional Scenarios and Uncertainties for Defining European Climate Change Risks and Effects<sup>2</sup>). Estos proyectos ayudan a direccionar la preguntas vitales acerca de cómo los extremos climáticos pueden ocurrir más frecuentemente en el futuro. PRUDENCE está centrado en el desarrollo y aplicación de modelos regionales climáticos y MICE sobre el uso de la información generada por los modelos regionales y globales en el estudio de los impactos del cambio climático. Por su lado, STARDEX se encuentra centrado en dos objetivos principales:

---

1 <http://www.cru.uea.ac.uk/projects/mice>

2 <http://prudence.dmi.dk>

1. Generar una intercomparación y evaluación rigurosa y sistemática de métodos estadísticos y dinámicos de downscaling<sup>3</sup>.
2. Identificar las técnicas más robustas de downscaling y aplicarlas para proveer escenarios futuros confiables de extremos en temperatura y precipitación.

El downscaling estadístico consiste en la aplicación de las relaciones identificadas en el clima observado entre una escala grande (modelos globales) y una escala más pequeña (que puede llegar hasta la escala local), relaciones aplicadas a los datos de salida de los modelos climáticos globales. Esto se basa en dos suposiciones: la primera de ellas es que las relaciones observadas son también aplicables a un futuro clima más cálido o más frío, lo cual se conoce como la hipótesis de estacionariedad. La segunda suposición es que los modelos climáticos globales representan mejor los patrones de circulación de gran escala que los patrones climáticos locales. Estas relaciones entre eventos extremos y la circulación de gran escala nos dan la clave básica para el downscaling estadístico, siempre y cuando los supuestos de regionalización se cumplan. Este proyecto de la Unión Europea ha desarrollado 22 métodos diferentes de downscaling estadístico<sup>4</sup> y Stardex ha llevado a cabo una evaluación sistemática de estos. Por su parte, el proyecto PRUDENCE ha llegado a desarrollar modelos dinámicos<sup>5</sup> regionales (a partir de los modelos globales) hasta de 50 km de resolución espacial, lo cual resulta interesante en especial para regiones montañosas. Dos de los modelos climáticos globales más importantes en Europa (HadCM3 y ECHAM4) han sido ampliamente validados, con énfasis particular en extremos. Estos dos modelos, de igual forma, presentan una muy buena validación de los datos climáticos en Colombia [Rodríguez, 2010]. Lo interesante en este punto es poder comparar directamente los dos downscaling realizados: el estadístico y el dinámico regional, con el fin de identificar la mejor técnica.

De la intercomparación del downscaling (bien sean métodos estadísticos o dinámicos) se busca identificar qué métodos puedan reproducir, al menos en parte, los extremos que ya han ocurrido en nuestro presente cercano, lo cual toma lugar usando datos climáticos observados desde la mitad del siglo XX. Identificando cuáles técnicas de downscaling son las mejores (para una región determinada), se puede tener cierta certeza en la construcción de escenarios de extremos futuros. Stardex proporciona información muy valiosa que los métodos de downscaling deben encontrar, o al menos reproducir en parte. Se fundamenta en que los cambios en los extremos observados en nuestro presente cercano (en este caso se usaron 40 años) pueden ser explicados por medio de predictores de circulación general a gran escala e incluso otros a escala regional. Por ejemplo, la correlación entre «días de precipitación fuertes» y la «oscilación del Atlántico Norte» para toda la región europea ha resultado muy fuerte.[STARDEX, 2005]

---

3 El término downscaling hace referencia a métodos que conllevan a una reducción de escala, es decir, métodos que permiten pasar de una baja resolución (rejillas grandes) a mejores resoluciones (rejillas más pequeñas).

4 Algunas categorías de estos métodos: regresión lineal múltiple, análisis de correlación canónica, redes neuronales artificiales, modelos autoregresivos multivariados, remuestreo condicional y otras técnicas análogas.

5 Los métodos dinámicos buscan representar matemáticamente las condiciones de la atmósfera.

No se trata de que Stardex haga una proyección o un pronóstico del futuro<sup>6</sup>, sino más bien de proveer información sobre los cambios más probables en los extremos y dar un escenario confiable y creíble de lo que puede pasar<sup>7</sup>[IPCC 2011]. Stardex se define como una construcción de índices moderados en vez de eventos muy extremos, pues estos no representan una muestra estadísticamente consistente. Además, la construcción de los índices está basada en umbrales definidos usando el valor de percentil en vez de valores fijos. STARDEX provee escenarios de cambios esperados en la **magnitud** (intensidad) y la **frecuencia** de los eventos extremos, tales como fuertes precipitaciones, que resultan en inundaciones y extremos en temperaturas, eventos que tienen un impacto sobre la vida y las actividades en el medio ambiente.

## 2.2 CÁLCULO DE ÍNDICES POR MEDIO DE STARDEX

### 2.2.1 Temperatura máxima

Índices asociados a la **magnitud**:

1. Temperatura máxima promedio (txav): Sea  $T_{xij}$  la temperatura máxima diaria del día  $i$ , periodo  $j$ . Si el periodo  $j$  tiene un número de días  $K$ , entonces el promedio de temperatura de la variable Temperatura Máxima es:

$$txav_j = \frac{\sum_{i=1}^K T_{xij}}{K}$$

2. Percentil 90 de la Temperatura Máxima (txq90): Percentil 90 de txav. Se obtiene el promedio txav para cada periodo en análisis, luego se organizan los datos de menor a mayor. El percentil 90 corresponde al dato cuya ubicación esté en el 90 % de la serie organizada.

Índices asociados a la **frecuencia**:

1. Ondas de calor (txhw90): Percentil 90 de la duración de ondas de calor para 10 días de Tx. Sea  $T_{xij}$  la temperatura máxima diaria en el día  $i$  del periodo  $j$ . Y sea  $T_{xq90inorm}$ , el cálculo del percentil 90 de cada 10 días seguidos durante el periodo. Luego, se cuenta el número máximo de días consecutivos por periodo en donde:

6 En el sentido del IPCC, una proyección equivale a una descripción del futuro hecha mediante alguna técnica específica, normalmente a partir de estimaciones de modelos o técnicas estadísticas. De aquí que en la terminología del IPCC se prefiera el uso del término «proyección climática», mientras que cuando se habla de un pronóstico o una predicción se hace referencia a la proyección más probable, la cual es derivada normalmente de un conjunto de modelos determinísticos, los cuales dan un nivel de confianza estadístico a dicha proyección.

7 El término escenario se refiere a una descripción coherente, consistente y convincente de un estado futuro del mundo. No es un pronóstico; de hecho, cada escenario es una imagen alternativa de cómo el futuro puede revelarse. Una proyección puede servir como materia prima para generar un escenario, pero los escenarios requieren información adicional (por ejemplo, condiciones base). Un conjunto de escenarios son frecuentemente adoptados para reflejar, tan bien como sea posible, el rango de incertidumbre en las proyecciones. Un sinónimo de escenario usado frecuentemente es «caracterización»; así se habla de escenario futuro o caracterización futura.

$$T_{xij} > T_{xq90inorm}$$

2. Fracción de días con Temperaturas extremas máximas (txf90): Fracción de días por encima del rango muy alto (percentil 90) de la Temperatura máxima. Sea  $T_{xij}$  la temperatura máxima diaria en el día  $i$  del periodo  $j$  y sea  $T_{xin90}$ , el cálculo del percentil 90 en el periodo  $j$ . Se determina la fracción de veces en donde:

$$T_{xij} > T_{xin90}$$

### 2.2.2 Temperatura mínima

Índices asociados a la **magnitud**:

1. Temperatura mínima promedio (tnav): Sea  $T_{nij}$  la temperatura mínima diaria del día  $i$ , periodo  $j$ . Si el periodo  $j$  tiene un número de días  $K$ , entonces el promedio de temperatura de la variable Temperatura Mínima es:

$$tnav_j = \frac{\sum_{i=1}^K T_{nij}}{K}$$

2. Percentil 10 de la Temperatura mínima (tnq10): Percentil 10 de tnav.

Los índices asociados a la **frecuencia**:

1. Ondas de frío (tncw10): Percentil 10 de la duración de ondas frías para 10 días de  $T_n$ . Sea  $T_{nij}$  la temperatura mínima diaria en el día  $i$  del periodo  $j$ . Y sea  $T_{nq10inorm}$  el cálculo del percentil 10 de cada 10 días seguidos durante el periodo, es decir, el valor del primer día con  $T_n$  más grande. Cuente el número máximo de días consecutivos en cada periodo, donde:

$$T_{nij} < T_{nq10inorm}$$

2. Fracción de días con Temperaturas extremas mínimas (tnf10): Sea  $T_{nij}$  la temperatura mínima diaria en el día  $i$  del periodo  $j$  y sea  $T_{nin10}$  el cálculo del percentil 10 en el periodo  $j$ . Se determina la fracción de veces en donde:

$$T_{nij} < T_{nin10}$$

### 2.2.3 Precipitación

Índices asociados a la **magnitud**:

1. Promedio de precipitación (pav): Sea  $R_{wj}$  la cantidad de precipitación diaria para el día  $w$  del periodo  $j$ . El promedio de precipitación en el periodo es:

$$pav_j = \frac{\sum_{w=1}^W (R_{wj})}{W}$$

2. Promedio de precipitación para los días húmedos (pint): Sea  $R_{wj}$  la cantidad de precipitación diaria para días húmedos ( $prcp > 1\text{ mm}$ ) en el día  $w$  del periodo  $j$ . El promedio de precipitación en el periodo es:

$$pint_j = \frac{\sum_{w=1}^W (R_{wj})}{W}$$

3. Precipitaciones extremas en los días húmedos o percentil 90 de los días húmedos (pq90): Valor de precipitación al que corresponde el 90 % de los días húmedos (rango muy alto).

4. Máximo de precipitación para 5 días consecutivos (px5d): Se suman las precipitaciones de los conjuntos de 5 días consecutivos en el periodo de interés. px5d equivale al valor máximo de este conjunto de datos.

5. Fracción promedio de las precipitaciones extremas (pfl90): Sea  $R_j$  la suma de la precipitación diaria en el periodo  $j$  y sea  $R_{wj}$  la precipitación diaria para los días húmedos (mayor a 1 mm) en el mismo periodo  $j$ . Sea  $R_{wn90}$  el percentil 90 de la precipitación para los días húmedos en el mismo periodo específico.  $pfl90$  corresponde a:

$$pfl90_j = \frac{\sum_{w=1}^W R_{wj}}{R_j} \text{ donde } R_{wj} \geq R_{wn90}$$

Se puede decir que  $pfl90$  equivale a la proporción de precipitaciones extremas. Los índices asociados a la **frecuencia** que fueron seleccionados son:

1. Máximo de días consecutivos secos (pxcdd): El número máximo de días consecutivos en el periodo de interés, donde la precipitación es menor a 1 mm.
2. Máximo de días consecutivos húmedos (pxc wd): El número máximo de días consecutivos en el periodo de interés, donde la precipitación es mayor a 1 mm.
3. Número de días con precipitación mayor o igual a 10 mm (pn10mm): Número de días en el periodo donde el valor de precipitación es mayor a 10 mm.
4. Eventos de precipitación extrema (pnl90): Sea  $R_{wj}$  la cantidad precipitación diaria en el periodo  $j$  y sea  $R_{wn90}$  el percentil 90 de la precipitación en días húmedos (mayor a 1 mm) para todo el periodo analizado, que para este caso es 1980-2010. Se determina el número de veces en donde se cumpla:

$$R_{wj} > R_{wn90}$$

## 2.3 VARIABILIDAD CLIMÁTICA

La Variabilidad Climática se refiere a fluctuaciones observadas en el clima durante períodos de tiempo, que pueden ser intranuales o interanuales. Es normal encontrar registros en variables atmosféricas como temperatura y precipitación con valores por encima o por debajo de la «normal climatológica», lo cual corresponde a que en una serie continua de mediciones durante un periodo de 30 años. La diferencia entre el valor

registrado y su promedio se le conoce como *anomalía*. El ciclo de oscilaciones de variables climáticas como temperatura y precipitación alrededor de sus “normales climáticas”, se le conoce como variabilidad climática.

Se ha encontrado que en los ciclos del fenómeno ENOS para el departamento de Cundinamarca, se reflejan déficits en la precipitación durante El Niño (anomalías positivas) y excedentes de lluvia durante La Niña (anomalías negativas) [Montealegre y Pabón 1999, Serna 2013]. Por lo anterior, cabe esperar, que las relaciones de teleconexiones entre los ciclos ENOS para la variable precipitación y los datos de las temperaturas superficiales del mar en el Pacífico tropical sean relaciones inversas. Para la variable temperatura se encuentran aumentos durante la fase El Niño y disminuciones durante la fase de La Niña [Montealegre 2013], por lo que cabe esperar que para la variable temperatura las relaciones de teleconexiones sean de tipo directo entre las variables.

### 3. METODOLOGÍA

#### 3.1 DATOS

Para encontrar las teleconexiones entre las variaciones del ciclo ENOS en el Pacífico tropical con respecto a los índices de extremos climáticos calculados mediante STARDEX para la región Bogotá- Cundinamarca, se han usado los 17 índices de extremos climáticos seleccionados previamente en [Grajales(b),2013], los cuales se presentan en 3.1.

TABLA 3.1: ÍNDICES DE EXTREMOS CLIMÁTICOS SELECCIONADOS

| No. | Variable      | Nombre | Descripción                                                                                                   | Unidades          | Tipo       | Clase  | Cantidad de estaciones |     |     |     |     |
|-----|---------------|--------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|------------|--------|------------------------|-----|-----|-----|-----|
|     |               |        |                                                                                                               |                   |            |        | DJF                    | MAM | JJA | SON | ANN |
| 1   | Temp. Máxima  | txav   | Temperatura Máxima (Tx) promedio                                                                              | °C/año            | Magnitud   | Mean   | 29                     | 24  | 28  | 32  | 28  |
| 2   |               | txq90  | Percentil 90 de la Temperatura Máxima                                                                         | °C/año            | Magnitud   | Core   | 26                     | 24  | 27  | 36  | 29  |
| 3   |               | txhw90 | Percentil 90 de la Duración de ondas de calor para 10 días de Tx.                                             | Días/año          | Frecuencia | Core   | 20                     | 25  | 29  | 29  | 27  |
| 4   |               | txt90  | Fracción de días donde Tx > Percentil 90                                                                      | Fracción días/año | Frecuencia | Severo | 22                     | 25  | 26  | 29  | 31  |
| 5   | Temp. Mínima  | tnav   | Temperatura Mínima (Tn) promedio                                                                              | °C/año            | Magnitud   | Mean   | 24                     | 30  | 27  | 25  | 29  |
| 6   |               | tnq10  | Percentil 10 de la Temperatura Mínima                                                                         | °C/año            | Magnitud   | Core   | 23                     | 28  | 24  | 25  | 31  |
| 7   |               | tnw10  | Percentil 10 de la Duración de ondas frías para 10 días de Tn.                                                | Días/año          | Frecuencia | Severo | 17                     | 24  | 26  | 25  | 22  |
| 8   |               | tnf10  | Fracción de días donde Tn < Percentil 10                                                                      | Fracción días/año | Frecuencia | Severo | 26                     | 28  | 29  | 24  | 30  |
| 9   | precipitación | pav    | Promedio de precipitación                                                                                     | mm/año            | Magnitud   | Mean   | 32                     | 53  | 61  | 48  | 67  |
| 10  |               | pint   | Promedio de precipitación para días húmedos.                                                                  | mm/año            | Magnitud   | Core   | 44                     | 50  | 61  | 66  | 78  |
| 11  |               | pg90   | Percentil 90 de días húmedos.                                                                                 | mm/año            | Magnitud   | Core   | 51                     | 36  | 46  | 56  | 69  |
| 12  |               | px5d   | Máximo de precipitación para 5 días consecutivos.                                                             | mm/año            | Magnitud   | Core   | 37                     | 35  | 48  | 48  | 47  |
| 13  |               | pt90   | Proporción de precipitaciones extremas                                                                        | Ninguno           | Magnitud   | Core   | 39                     | 35  | 51  | 54  | 57  |
| 14  |               | pn10mm | No.de días donde precip >=10mm                                                                                | días/año          | Frecuencia | Severo | 38                     | 48  | 67  | 55  | 66  |
| 15  |               | pxcdd  | Máximo de días consecutivos secos.                                                                            | días/año          | Frecuencia | Core   | 24                     | 67  | 53  | 36  | 37  |
| 16  |               | pxcwd  | Máximo de días consecutivos húmedos.                                                                          | días/año          | Frecuencia | Severo | 47                     | 48  | 59  | 51  | 59  |
| 17  |               | pn90   | Eventos de precipitación extrema (% de eventos en donde precipitación diaria > Percentil 90 de días húmedos). | Eventos/año       | Frecuencia | Core   | 32                     | 33  | 50  | 49  | 55  |

Las variaciones en el Pacífico tropical se representan por medio de la temperatura superficial del mar como anomalías en las regiones Niño 3 (5°N-5°, 90°-150°W) y Niño 3.4 (5°N-5°S, 120°-170°W), tomando el periodo base 1981-2010[Climate Prediction Center].

### 3.2 PROCEDIMIENTO

Con el fin de obtener las correlaciones de Pearson que permitan analizar posibles teleconexiones entre las variaciones en el Pacífico tropical y los índices de extremos climáticos, se ha llevado a cabo el siguiente procedimiento:

1. Se obtuvieron los promedios de las anomalías en las regiones Niño 3 y Niño 3.4 para los 4 periodos trimestrales: Diciembre-Enero-Febrero (DEF), Marzo-Abril-Mayo (MAM), Junio- Julio-Agosto (JJA) y Septiembre-Octubre-Noviembre (SON) y para el periodo anual. Estos 5 periodos corresponden a los obtenidos por el software STARDEX para cada uno de los índices de extremos climáticos.
2. Se obtuvieron los datos de los índices de extremos climáticos calculados por STARDEX para cada uno de los 5 periodos. Estos datos corresponden a una serie teórica de 31 datos: periodo 1980 a 2010.
3. Se obtuvieron las correlaciones de Pearson entre los datos de las anomalías de la temperatura superficial del mar en el Pacífico tropical y los índices de extremos climáticos de la serie reportada por STARDEX. Luego de obtener los datos de correlación, estos se han filtrado colocando los siguientes **condicionales**, con el fin de análisis y evaluación posterior:
  1. Que la serie calculada por STARDEX tenga una significancia estadística mayor o igual a 90 %, es decir, un p-value menor o igual a 0,104.
  2. Que la serie de STARDEX correlacionada tenga un mínimo de 18 datos de los 31 posibles, es decir, al menos un 60 % de información<sup>8</sup>.
  3. Que el valor de correlación obtenido tenga un nivel de confianza del 90 % (significancia estadística de 0,1), aunque también se han obtenido las correlaciones para el nivel de confianza del 95 % (significancia estadística de 0,05). Según la tabla de significación del coeficiente de correlación de Pearson, para 18 datos se debe tener una correlación mínima de 0,378 para el 90 % de confianza y de 0,444 para el 95 %.
  4. Identificar la región ENOS entre Niño 3 y Niño 3.4 que resulta con mayor respuesta a los extremos climáticos para la región Bogotá-Cundinamarca, dadas las variaciones de la temperatura superficial del mar en el Pacífico tropical.

### 3.3 INTERPRETACIÓN DE MAPAS

Los resultados que se presentan para cada una de las correlaciones encontradas entre índices de extremos climáticos y los datos de las anomalías ENOS se encuentran acompañados de su respectivo mapa y

---

<sup>8</sup> Aunque teóricamente STARDEX puede obtener los 31 datos del periodo 1980-2010, no para todos los años calcula el índice. Uno de los condicionales que se ha puesto en el software STARDEX para el cálculo de los índices es tener un máximo de 20 % de datos faltantes dentro de la serie original de datos; esto significa que de los 90, 91 o 92 días del trimestre, STARDEX acepta hasta 18 días faltantes, de lo contrario, no calcula el índice.

tabla de resultados. Un ejemplo de mapa se presenta en la Fig. 3.3.1 y deben tenerse en cuenta los siguientes criterios para su lectura:

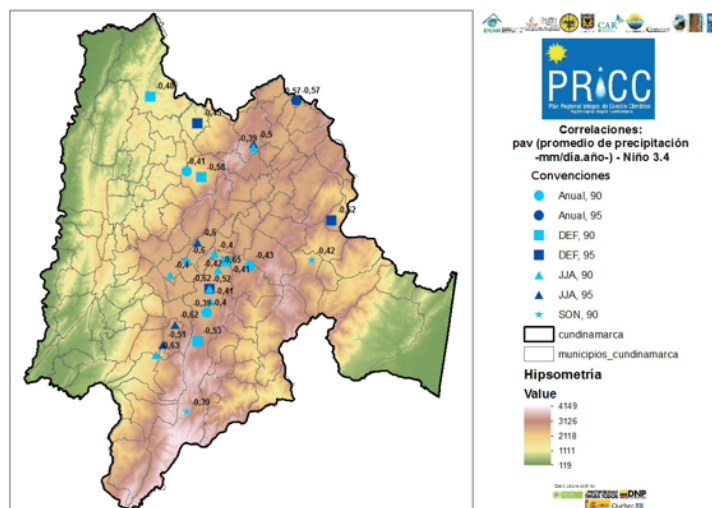


FIGURA 3.3.1: EJEMPLO DE INTERPRETACIÓN DE MAPAS DE CORRELACIÓN ENTRE ÍNDICES EXTREMOS CLIMÁTICOS Y ANOMALÍAS NIÑO 3.4

1. El título de cada mapa se encuentra en la parte superior derecha, debajo de los logos. Se referencia el nombre breve del índice y su nombre largo entre paréntesis con las unidades. Se puede verificar la definición numérica de cada índice en el capítulo 3.2.
2. Cada forma de punto (círculos, cuadrados, triángulos, estrellas y diamantes) corresponde a la clasificación del periodo analizado y el color corresponde al nivel de confianza estadístico usado; azul claro: 90 % y azul oscuro: 95 %.
3. El valor de correlación se encuentra reportado al lado de cada punto (superior derecho).
4. Debajo de las convenciones para los símbolos usados se han puesto los límites departamentales y los límites municipales.
5. Por último, en la parte inferior de cada mapa se presenta una referencia a la hipsometría correspondiente.

Las **tablas** se encuentran organizadas de acuerdo con el Periodo, y cada columna significa:

1. Código: Corresponde al código o número de identificación en el catálogo de estaciones del Ideam.
2. Cat: Corresponde a la categoría de la estación en el catálogo de estaciones del Ideam.
3. Nombre: Corresponde al nombre de la estación en el catálogo de estaciones del Ideam.
4. Municipio: Corresponde al municipio en el cual se encuentra ubicada la estación.
5. Departamento: Corresponde al departamento en el cual se encuentra ubicada la estación.
6. Longitud, Latitud, Elev: Corresponde a la Longitud, Latitud y elevación en metros de la estación.
7. Periodo: Corresponde al periodo trimestral del cual se encuentra un valor de correlación estadísticamente significativo.

8. Correlación: Corresponde al valor de correlación de Pearson encontrado.
9. N.º Datos: Corresponde a la cantidad de datos de la serie del índice respectivo. Mínimo se aceptan 18.
10. p-value Tendencia: Corresponde al valor de la significancia estadística como p-value encontrado para la serie del índice respectivo. Para la significancia al 90 % se acepta un valor máximo de 0.104 y para la significancia de 95 % se acepta un valor máximo de 0.054.

## 4. RESULTADOS

### 4.1 SELECCIÓN DE REGIÓN ENOS

La tabla 4.1 presenta la cantidad de datos de correlación válidos obtenidos para cada una de las regiones ENOS usadas (Niño 3 y Niño 3.4) y para cada significancia estadística<sup>9</sup>. Se puede observar que para casi todos los índices analizados, la región Niño 3.4 resulta con mayor número de datos de correlación, con diferencias de hasta 5 datos con respecto a la región Niño 3. Se puede apreciar que solo en 3 casos la región Niño 3 resulta un poco más sensible a los datos de correlación, pero tan solo supera en 1 dato a la región Niño 3.4.

A partir de la información anterior se ha seleccionado la región Niño 3.4 para el análisis de teleconexión entre las variaciones de la temperatura superficial del mar en el Pacífico tropical y los índices de extremos climáticos. Sin embargo, en el Cap.7 se encuentran las tablas de correlación en la región Niño 3 para cada uno de los índices de extremos climáticos.

**TABLA 4.1: CANTIDAD DE DATOS DE CORRELACIÓN VÁLIDOS OBTENIDOS PARA CADA REGIÓN ENOS DE ACUERDO CON LA SIGNIFICANCIA ESTADÍSTICA.**

|                    |              | Significancia al 90% |            | Significancia al 95% |           |
|--------------------|--------------|----------------------|------------|----------------------|-----------|
|                    |              | Niño 3               | Niño 3.4   | Niño 3               | Niño 3.4  |
| Precipitación      | pav          | 24                   | 28         | 8                    | 9         |
|                    | ptf90        | 3                    | 3          | 1                    | 0         |
|                    | pint         | 10                   | 13         | 3                    | 6         |
|                    | pn10mm       | 21                   | 23         | 5                    | 9         |
|                    | pni90        | 9                    | 14         | 2                    | 2         |
|                    | pq90         | 8                    | 11         | 2                    | 3         |
|                    | px5d         | 3                    | 3          | 1                    | 1         |
|                    | pxcdd        | 2                    | 3          | 0                    | 1         |
|                    | pxcwd        | 5                    | 6          | 3                    | 2         |
|                    | <b>Total</b> | <b>85</b>            | <b>104</b> | <b>25</b>            | <b>33</b> |
| Temperatura mínima | tnav         | 6                    | 5          | 2                    | 3         |
|                    | tnw10        | 0                    | 2          | 0                    | 0         |
|                    | tnf10        | 0                    | 0          | 0                    | 0         |
|                    | tnq10        | 2                    | 4          | 0                    | 0         |
|                    | <b>Total</b> | <b>8</b>             | <b>11</b>  | <b>2</b>             | <b>3</b>  |
| Temperatura máxima | txav         | 15                   | 18         | 10                   | 15        |
|                    | txf90        | 8                    | 11         | 2                    | 4         |
|                    | txhw90       | 9                    | 12         | 4                    | 3         |
|                    | txq90        | 17                   | 20         | 9                    | 10        |
|                    | <b>Total</b> | <b>49</b>            | <b>61</b>  | <b>25</b>            | <b>32</b> |

<sup>9</sup> La cantidad de datos de correlación válidos obtenidos no necesariamente es equivalente al número de estaciones, pues para una misma estación se pueden tener hasta 5 datos válidos de correlación correspondientes a los periodos temporales.

## 4.2 RELACIONES ENTRE ANOMALÍAS ENOS E ÍNDICES DE EXTREMOS CLIMÁTICOS

Los siguientes resultados se encuentran divididos entre correlaciones de índices que miden la **Magnitud** del evento (que permite apreciar la intensidad) y la **Frecuencia** (la cual nos ayuda a entender la relación entre el aumento o la disminución en el número de eventos extremos).

### 4.2.1 Temperatura Máxima

#### 4.2.1.1 Temperatura Máxima - Magnitud: *txav* Temperatura Máxima promedio - *txq90* Percentil 90 de la Temperatura Máxima

La Fig.4.2.1 presenta el mapa de correlación entre el índice *txav* - Temperatura máxima promedio (definición en Cap. 1) y las anomalías en la región Niño 3.4, y la tabla 4.2 presenta los datos de correlación obtenidos para una significancia del 90 % (a) y del 95 % (b). Se pueden apreciar valores de correlación hasta de 0.64, lo que resulta en buena señal de teleconexión, en especial para el periodo estacional DEF, con 6 valores de correlación entre 0.41-0.63; seguido de JJA, con 3 datos de correlación entre 0.48-0.64. Los periodos MMA y SON muestran 4 y 2 datos de correlación, con valores entre 0.44-0.53 y 0.49-0.59, respectivamente. Este resultado muestra una buena relación lineal entre la anomalía de la temperatura superficial del mar en la región Niño 3.4 y la temperatura máxima promedio, es decir que ante un fenómeno El Niño (anomalías positivas), las temperaturas máximas para buena parte de la región Bogotá-Cundinamarca tienden al aumento y, por el contrario, ante un fenómeno La Niña (anomalías negativas), las temperaturas máximas promedio tienden a disminuir.

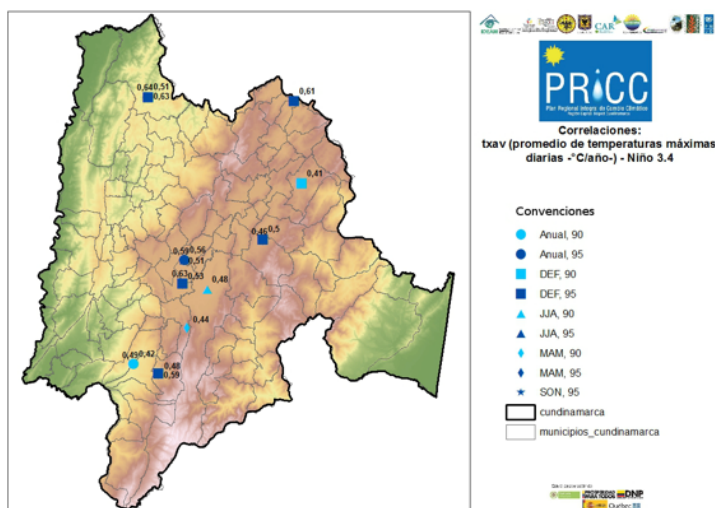


FIGURA 4.2.1: MAPA DE CORRELACIÓN DE ÍNDICE TXAV - NIÑO 3.4

TABLA 4.2: DATOS DE CORRELACIÓN ENTRE ÍNDICE TXAV Y NIÑO 3.4.

(a) Significancia mínima al 90 %

| Código   | Cat | Nombre             | Municipio | Departamento | Longitud | Latitud | Elev | Periodo | Correlación | No. Datos | P-value Tendencia |
|----------|-----|--------------------|-----------|--------------|----------|---------|------|---------|-------------|-----------|-------------------|
| 21205980 | CO  | Providencia Gja    | Tenjo     | C/marca      | -74.201  | 4.792   | 2560 | Anual   | 0.56        | 24        | 0.001             |
| 23065110 | CO  | Yacopi             | Yacopi    | C/marca      | -74.355  | 5.484   | 1347 | Anual   | 0.51        | 21        | 0.013             |
| 21195030 | CP  | Granja Ticabuy     | Tibacuy   | C/marca      | -74.417  | 4.350   | 1550 | Anual   | 0.42        | 31        | 0.040             |
| 21195070 | CO  | Pasca              | Pasca     | C/marca      | -74.312  | 4.310   | 2256 | DEF     | 0.59        | 21        | 0.003             |
| 21205420 | AM  | Tibaitata          | Mosquera  | C/marca      | -74.209  | 4.691   | 2543 | DEF     | 0.63        | 28        | 0.007             |
| 21205700 | CO  | Guasca             | Guasca    | C/marca      | -73.868  | 4.880   | 2750 | DEF     | 0.50        | 21        | 0.019             |
| 21205740 | CO  | Silos              | Choconta  | C/marca      | -73.701  | 5.118   | 2709 | DEF     | 0.41        | 22        | 0.030             |
| 23065110 | CO  | Yacopi             | Yacopi    | C/marca      | -74.355  | 5.484   | 1347 | DEF     | 0.63        | 25        | 0.013             |
| 24015120 | CP  | Isla del Santuario | Fuquene   | C/marca      | -73.735  | 5.467   | 2580 | DEF     | 0.61        | 26        | 0.008             |
| 21205710 | CO  | Jardin Botanico    | Bogota DC | Bogota DC    | -74.103  | 4.669   | 2552 | JJA     | 0.48        | 20        | 0.060             |
| 21205980 | CO  | Providencia Gja    | Tenjo     | C/marca      | -74.201  | 4.792   | 2560 | JJA     | 0.51        | 23        | 0.000             |
| 23065110 | CO  | Yacopi             | Yacopi    | C/marca      | -74.355  | 5.484   | 1347 | JJA     | 0.64        | 23        | 0.025             |
| 21195070 | CO  | Pasca              | Pasca     | C/marca      | -74.312  | 4.310   | 2256 | MAM     | 0.48        | 20        | 0.027             |
| 21205420 | AM  | Tibaitata          | Mosquera  | C/marca      | -74.209  | 4.691   | 2543 | MAM     | 0.53        | 29        | 0.003             |
| 21205700 | CO  | Guasca             | Guasca    | C/marca      | -73.868  | 4.880   | 2750 | MAM     | 0.46        | 22        | 0.034             |
| 21205720 | CO  | San Jorge Gja      | Soacha    | C/marca      | -74.189  | 4.506   | 2900 | MAM     | 0.44        | 20        | 0.044             |
| 21205980 | CO  | Providencia Gja    | Tenjo     | C/marca      | -74.201  | 4.792   | 2560 | SON     | 0.59        | 24        | 0.029             |
| 21195030 | CP  | Granja Ticabuy     | Tibacuy   | C/marca      | -74.417  | 4.350   | 1550 | SON     | 0.49        | 31        | 0.006             |

(b) Significancia mínima al 95 %

| Código   | Cat | Nombre             | Municipio | Departamento | Longitud | Latitud | Elev | Periodo | Correlación | No. Datos | P-value Tendencia |
|----------|-----|--------------------|-----------|--------------|----------|---------|------|---------|-------------|-----------|-------------------|
| 21205980 | CO  | Providencia Gja    | Tenjo     | C/marca      | -74.201  | 4.792   | 2560 | Anual   | 0.56        | 24        | 0.001             |
| 23065110 | CO  | Yacopi             | Yacopi    | C/marca      | -74.355  | 5.484   | 1347 | Anual   | 0.51        | 21        | 0.013             |
| 21195070 | CO  | Pasca              | Pasca     | C/marca      | -74.312  | 4.310   | 2256 | DEF     | 0.59        | 21        | 0.003             |
| 21205420 | AM  | Tibaitata          | Mosquera  | C/marca      | -74.209  | 4.691   | 2543 | DEF     | 0.63        | 28        | 0.007             |
| 21205700 | CO  | Guasca             | Guasca    | C/marca      | -73.868  | 4.880   | 2750 | DEF     | 0.50        | 21        | 0.019             |
| 23065110 | CO  | Yacopi             | Yacopi    | C/marca      | -74.355  | 5.484   | 1347 | DEF     | 0.63        | 25        | 0.013             |
| 24015120 | CP  | Isla del Santuario | Fuquene   | C/marca      | -73.735  | 5.467   | 2580 | DEF     | 0.61        | 26        | 0.008             |
| 21205980 | CO  | Providencia Gja    | Tenjo     | C/marca      | -74.201  | 4.792   | 2560 | JJA     | 0.51        | 23        | 0.000             |
| 23065110 | CO  | Yacopi             | Yacopi    | C/marca      | -74.355  | 5.484   | 1347 | JJA     | 0.64        | 23        | 0.025             |
| 21195070 | CO  | Pasca              | Pasca     | C/marca      | -74.312  | 4.310   | 2256 | MAM     | 0.48        | 20        | 0.027             |
| 21205420 | AM  | Tibaitata          | Mosquera  | C/marca      | -74.209  | 4.691   | 2543 | MAM     | 0.53        | 29        | 0.003             |
| 21205700 | CO  | Guasca             | Guasca    | C/marca      | -73.868  | 4.880   | 2750 | MAM     | 0.46        | 22        | 0.034             |
| 21205720 | CO  | San Jorge Gja      | Soacha    | C/marca      | -74.189  | 4.506   | 2900 | MAM     | 0.44        | 20        | 0.044             |
| 21205980 | CO  | Providencia Gja    | Tenjo     | C/marca      | -74.201  | 4.792   | 2560 | SON     | 0.59        | 24        | 0.029             |
| 21195030 | CP  | Granja Ticabuy     | Tibacuy   | C/marca      | -74.417  | 4.350   | 1550 | SON     | 0.49        | 31        | 0.006             |

La Fig. 4.2.2 presenta el mapa de correlación entre el índice  $txq90$  - percentil 90 de la Temperatura máxima diaria (definición en Cap. 2) y las anomalías en la región Niño 3.4, y la tabla 4.3 presenta los datos de correlación obtenidos para una significancia del 90 % (a) y del 95 % (b). Se pueden apreciar valores de correlación hasta de 0.69 para una significancia al 95 %, mientras que al 90 % se encuentran correlaciones de hasta 0.73. El periodo estacional que mejor respuesta lineal tiene resulta ser DEF, con 6 valores de correlación entre 0.52 y 0.70; seguido del periodo JJA, con 3 datos entre 0.54-0.73. Por su parte, los periodos MAM y SON resultan con 3 y 5 datos, con valores entre 0.41-0.60 y 0.42-0.55, respectivamente. Este resultado muestra una buena relación lineal entre la anomalía en la región Niño 3.4 y el aumento o disminución del percentil 90 de la temperatura máxima, es decir que ante un fenómeno El Niño (anomalías positivas), el percentil 90 de la temperatura máxima tiende al aumento y, por el contrario, ante un fenómeno La Niña (anomalías negativas), el percentil 90 de la temperatura máxima tiende a disminuir en la región Bogotá-Cundinamarca.

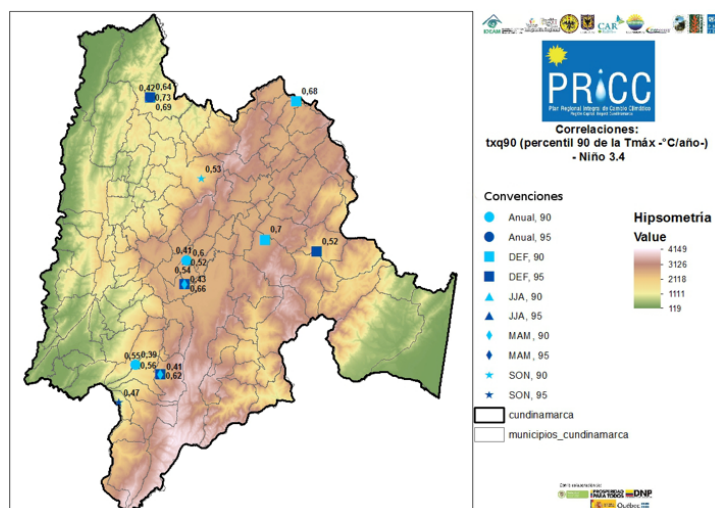


FIGURA 4.2.2: MAPA DE CORRELACIÓN DE ÍNDICE TXQ90 - NIÑO 3.4

TABLA 4.3: CORRELACIÓN PARA ÍNDICE TXQ90

(a) Significancia al 90 %

| No. | Código   | Cat | Nombre             | Municipio | Departamento | Longitud | Latitud | Elev | Periodo | Correlación | No. Datos | P-value Tendencia |
|-----|----------|-----|--------------------|-----------|--------------|----------|---------|------|---------|-------------|-----------|-------------------|
| 1   | 21205980 | CO  | Providencia Gja    | Tenjo     | C/marca      | -74,201  | 4,792   | 2560 | Annual  | 0,41        | 24        | 0,033             |
| 2   | 23065110 | CO  | Yacopi             | Yacopi    | C/marca      | -74,355  | 5,484   | 1347 | Annual  | 0,64        | 21        | 0,032             |
| 3   | 21195030 | CP  | Granja Ticabuy     | Tibacuy   | C/marca      | -74,417  | 4,350   | 1550 | Annual  | 0,39        | 31        | 0,018             |
| 4   | 21195070 | CO  | Pasca              | Pasca     | C/marca      | -74,312  | 4,310   | 2256 | DEF     | 0,62        | 21        | 0,010             |
| 5   | 21205420 | AM  | Tibaitata          | Mosquera  | C/marca      | -74,209  | 4,691   | 2543 | DEF     | 0,66        | 28        | 0,011             |
| 6   | 21205700 | CO  | Guasca             | Guasca    | C/marca      | -73,868  | 4,880   | 2750 | DEF     | 0,70        | 21        | 0,069             |
| 7   | 23065110 | CO  | Yacopi             | Yacopi    | C/marca      | -74,355  | 5,484   | 1347 | DEF     | 0,69        | 25        | 0,039             |
| 8   | 24015120 | CP  | Isla del Santuario | Fuquene   | C/marca      | -73,735  | 5,467   | 2580 | DEF     | 0,68        | 26        | 0,060             |
| 9   | 35065010 | CO  | Gacheta            | Gacheta   | C/marca      | -73,646  | 4,830   | 1752 | DEF     | 0,52        | 25        | 0,028             |
| 10  | 21205980 | CO  | Providencia Gja    | Tenjo     | C/marca      | -74,201  | 4,792   | 2560 | JJA     | 0,54        | 23        | 0,001             |
| 11  | 23065110 | CO  | Yacopi             | Yacopi    | C/marca      | -74,355  | 5,484   | 1347 | JJA     | 0,73        | 23        | 0,071             |
| 12  | 21195030 | CP  | Granja Ticabuy     | Tibacuy   | C/marca      | -74,417  | 4,350   | 1550 | JJA     | 0,56        | 31        | 0,045             |
| 13  | 21195070 | CO  | Pasca              | Pasca     | C/marca      | -74,312  | 4,310   | 2256 | MAM     | 0,41        | 20        | 0,088             |
| 14  | 21205420 | AM  | Tibaitata          | Mosquera  | C/marca      | -74,209  | 4,691   | 2543 | MAM     | 0,43        | 29        | 0,001             |
| 15  | 21205980 | CO  | Providencia Gja    | Tenjo     | C/marca      | -74,201  | 4,792   | 2560 | MAM     | 0,60        | 23        | 0,038             |
| 16  | 21195060 | CO  | Pandi              | Pandi     | C/marca      | -74,487  | 4,193   | 950  | SON     | 0,47        | 29        | 0,038             |
| 17  | 21205980 | CO  | Providencia Gja    | Tenjo     | C/marca      | -74,201  | 4,792   | 2560 | SON     | 0,52        | 24        | 0,071             |
| 18  | 23065110 | CO  | Yacopi             | Yacopi    | C/marca      | -74,355  | 5,484   | 1347 | SON     | 0,42        | 24        | 0,000             |
| 19  | 23065120 | CO  | Cabrera La         | Pacho     | C/marca      | -74,139  | 5,142   | 2000 | SON     | 0,53        | 21        | 0,093             |
| 20  | 21195030 | CP  | Granja Ticabuy     | Tibacuy   | C/marca      | -74,417  | 4,350   | 1550 | SON     | 0,55        | 31        | 0,019             |

(b) Significancia al 95 %

| No. | Código   | Cat | Nombre          | Municipio | Departamento | Longitud | Latitud | Elev | Periodo | Correlación | No. Datos | P-value Tendencia |
|-----|----------|-----|-----------------|-----------|--------------|----------|---------|------|---------|-------------|-----------|-------------------|
| 1   | 23065110 | CO  | Yacopi          | Yacopi    | C/marca      | -74,355  | 5,484   | 1347 | Anual   | 0,64        | 21        | 0,032             |
| 2   | 21195070 | CO  | Pasca           | Pasca     | C/marca      | -74,312  | 4,310   | 2256 | DEF     | 0,62        | 21        | 0,010             |
| 3   | 21205420 | AM  | Tibaitata       | Mosquera  | C/marca      | -74,209  | 4,691   | 2543 | DEF     | 0,66        | 28        | 0,011             |
| 4   | 23065110 | CO  | Yacopi          | Yacopi    | C/marca      | -74,355  | 5,484   | 1347 | DEF     | 0,69        | 25        | 0,039             |
| 5   | 35065010 | CO  | Gacheta         | Gacheta   | C/marca      | -73,646  | 4,830   | 1752 | DEF     | 0,52        | 25        | 0,028             |
| 6   | 21205980 | CO  | Providencia Gja | Tenjo     | C/marca      | -74,201  | 4,792   | 2560 | JJA     | 0,54        | 23        | 0,001             |
| 7   | 21195030 | CP  | Granja Ticabuy  | Tibacuy   | C/marca      | -74,417  | 4,350   | 1550 | JJA     | 0,56        | 31        | 0,045             |
| 8   | 21205980 | CO  | Providencia Gja | Tenjo     | C/marca      | -74,201  | 4,792   | 2560 | MAM     | 0,60        | 23        | 0,038             |
| 9   | 21195060 | CO  | Pandi           | Pandi     | C/marca      | -74,487  | 4,193   | 950  | SON     | 0,47        | 29        | 0,038             |
| 10  | 21195030 | CP  | Granja Ticabuy  | Tibacuy   | C/marca      | -74,417  | 4,350   | 1550 | SON     | 0,55        | 31        | 0,019             |

#### 4.2.1.2 Temperatura Máxima - Frecuencia: txhw90Percentil 90 de la duración de ondas de calor para 10 días de Tx - txf90 fracción de días por encima del rango muy alto (percentil 90) de la Tx

La Fig.4.2.3 presenta el mapa de correlación entre el índice txhw90 - Percentil 90 de la duración de ondas de calor para 10 días de Tx (definición en Cap. 1), y la tabla 4.4 presenta los datos de correlación obtenidos para una significancia del 90 % (a) y del 95 % (b). Se pueden apreciar valores de correlación hasta de 0.57, lo que resulta en buena señal de teleconexión, en especial para el periodo estacional DEF, con 3 valores de correlación entre 0.41-0.57, y para el periodo JJA, con 5 datos de correlación con valores un poco más bajos, entre 0.38-0.44. Por su parte, los periodos MMA y SON muestran 1 dato de correlación cada uno, con valores de 0.41 y 0.50, respectivamente. Este resultado muestra una buena relación lineal entre la anomalía de la temperatura superficial del mar en la región Niño 3.4 y el percentil 90 de la duración de ondas de calor, es decir que ante un fenómeno El Niño (anomalías positivas), la cantidad de días de ondas de calor tienden al aumento y, por el contrario, ante un fenómeno La Niña (anomalías negativas), la cantidad de días de ondas de calor tiende a disminuir para buena parte de la región Bogotá-Cundinamarca.

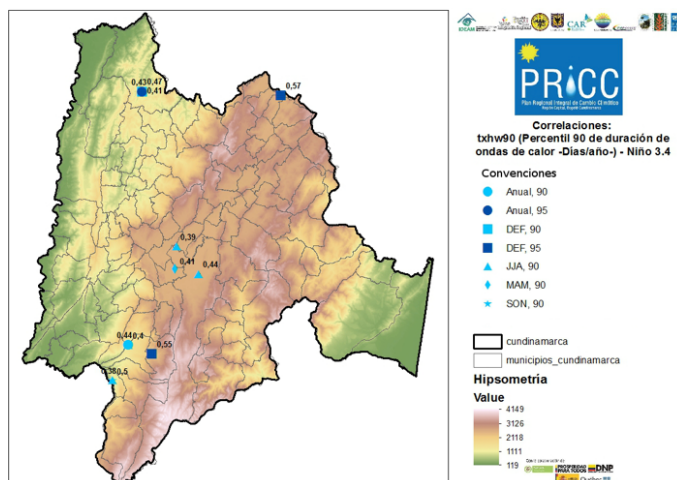


FIGURA 4.2.3: MAPA DE CORRELACIÓN DE ÍNDICE TXHW90 - NIÑO 3.4

TABLA 4.4: CORRELACIÓN PARA ÍNDICE TXHW90

(a) Significancia mínima al 90 %

| No. | Código   | Cat | Nombre             | Municipio | Departamento | Longitud | Latitud | Elev | Periodo | Correlación | No. Datos | P-value Tendencia |
|-----|----------|-----|--------------------|-----------|--------------|----------|---------|------|---------|-------------|-----------|-------------------|
| 1   | 23065110 | CO  | Yacopi             | Yacopi    | C/marca      | -74,355  | 5,484   | 1347 | Anual   | 0,47        | 21        | 0,018             |
| 2   | 21195030 | CP  | Granja Ticabuy     | Tibacuy   | C/marca      | -74,417  | 4,350   | 1550 | Anual   | 0,44        | 31        | 0,019             |
| 3   | 21195070 | CO  | Pasca              | Pasca     | C/marca      | -74,312  | 4,310   | 2256 | DEF     | 0,55        | 21        | 0,033             |
| 4   | 23065110 | CO  | Yacopi             | Yacopi    | C/marca      | -74,355  | 5,484   | 1347 | DEF     | 0,41        | 25        | 0,085             |
| 5   | 24015120 | CP  | Isla del Santuario | Fuquene   | C/marca      | -73,735  | 5,467   | 2580 | DEF     | 0,57        | 26        | 0,028             |
| 6   | 21195060 | CO  | Pandi              | Pandi     | C/marca      | -74,487  | 4,193   | 950  | JJA     | 0,38        | 27        | 0,076             |
| 7   | 21205710 | CO  | Jardin Botanico    | Bogota DC | Bogota DC    | -74,103  | 4,669   | 2552 | JJA     | 0,44        | 20        | 0,048             |
| 8   | 21205980 | CO  | Providencia Gja    | Tenjo     | C/marca      | -74,201  | 4,792   | 2560 | JJA     | 0,39        | 23        | 0,005             |
| 9   | 23065110 | CO  | Yacopi             | Yacopi    | C/marca      | -74,355  | 5,484   | 1347 | JJA     | 0,43        | 23        | 0,002             |
| 10  | 21195030 | CP  | Granja Ticabuy     | Tibacuy   | C/marca      | -74,417  | 4,350   | 1550 | JJA     | 0,40        | 31        | 0,024             |
| 11  | 21205420 | AM  | Tibaitata          | Mosquera  | C/marca      | -74,209  | 4,691   | 2543 | MAM     | 0,41        | 29        | 0,002             |
| 12  | 21195060 | CO  | Pandi              | Pandi     | C/marca      | -74,487  | 4,193   | 950  | SON     | 0,50        | 29        | 0,103             |

(b) Significancia mínima al 95 %

| No. | Código   | Cat | Nombre             | Municipio | Departamento | Longitud | Latitud | Elev | Periodo | Correlación | No. Datos | P-value Tendencia |
|-----|----------|-----|--------------------|-----------|--------------|----------|---------|------|---------|-------------|-----------|-------------------|
| 1   | 23065110 | CO  | Yacopi             | Yacopi    | C/marca      | -74,355  | 5,484   | 1347 | Anual   | 0,47        | 21        | 0,018             |
| 2   | 21195070 | CO  | Pasca              | Pasca     | C/marca      | -74,312  | 4,310   | 2256 | DEF     | 0,55        | 21        | 0,033             |
| 3   | 24015120 | CP  | Isla del Santuario | Fuquene   | C/marca      | -73,735  | 5,467   | 2580 | DEF     | 0,57        | 26        | 0,028             |

La Fig.4.2.4 presenta el mapa de correlación entre el índice  $txf90$  - Fracción de días por encima del percentil 90 de la temperatura máxima (definición en Cap. 2), y la tabla 4.5 presenta los datos de correlación obtenidos para una significancia del 90 % (a) y del 95 % (b). Se pueden apreciar valores de correlación hasta de 0.60, lo que resulta en buena señal de teleconexión, en especial para el periodo estacional DEF, con 2 valores de correlación de 0.52, 0.60, y para el periodo SON, con 2 datos de correlación de 0.44, 0.55. Por su parte, los periodos MAM y JJA muestran 4 y 2 datos de correlación, con valores entre 0.38-0.49 y 0.38-0.48, respectivamente. Este resultado muestra una buena relación lineal entre la anomalía de la temperatura superficial del mar en la región Niño 3.4 y la fracción de días que superan el percentil 90 de la temperatura máxima, es decir que ante un fenómeno El Niño (anomalías positivas), los días que superan el percentil 90 de la Tx tienden al aumento y, por el contrario, ante un fenómeno La Niña (anomalías negativas), los días que superan el percentil 90 de la Tx tienden a disminuir.

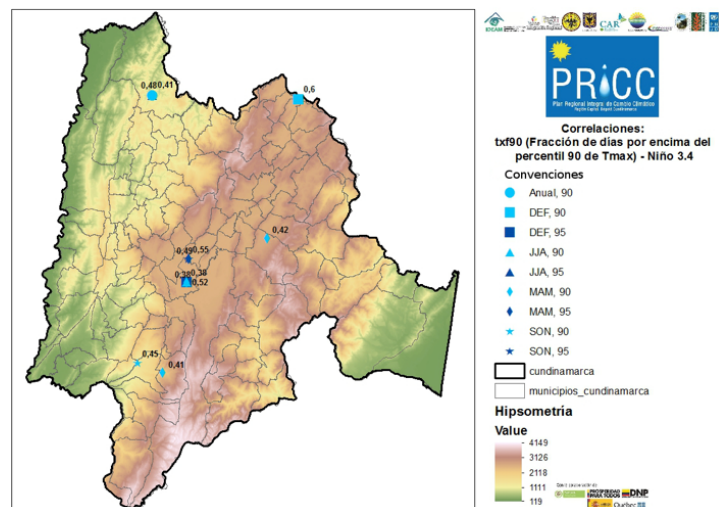


FIGURA 4.2.4: MAPA DE CORRELACIÓN DE ÍNDICE TXF90 - NIÑO 3.4

TABLA 4.5: CORRELACIÓN PARA ÍNDICE TXF90

(a) Significancia al 90 %

| No. | Código   | Cat | Nombre             | Municipio | Departamento | Longitud | Latitud | Elev | Periodo | Correlación | No. Datos | P-value Tendencia |
|-----|----------|-----|--------------------|-----------|--------------|----------|---------|------|---------|-------------|-----------|-------------------|
| 1   | 23065110 | CO  | Yacopi             | Yacopi    | C/marca      | -74,355  | 5,484   | 1347 | Anual   | 0,41        | 21        | 0,013             |
| 2   | 21205420 | AM  | Tibaitata          | Mosquera  | C/marca      | -74,209  | 4,691   | 2543 | DEF     | 0,52        | 28        | 0,007             |
| 3   | 24015120 | CP  | Isla del Santuario | Fuquene   | C/marca      | -73,735  | 5,467   | 2580 | DEF     | 0,60        | 26        | 0,089             |
| 4   | 21205420 | AM  | Tibaitata          | Mosquera  | C/marca      | -74,209  | 4,691   | 2543 | JJA     | 0,38        | 29        | 0,000             |
| 5   | 23065110 | CO  | Yacopi             | Yacopi    | C/marca      | -74,355  | 5,484   | 1347 | JJA     | 0,48        | 23        | 0,027             |
| 6   | 21195070 | CO  | Pasca              | Pasca     | C/marca      | -74,312  | 4,310   | 2256 | MAM     | 0,41        | 20        | 0,029             |
| 7   | 21205420 | AM  | Tibaitata          | Mosquera  | C/marca      | -74,209  | 4,691   | 2543 | MAM     | 0,38        | 29        | 0,000             |
| 8   | 21205700 | CO  | Guasca             | Guasca    | C/marca      | -73,868  | 4,880   | 2750 | MAM     | 0,42        | 22        | 0,005             |
| 9   | 21205980 | CO  | Providencia Gja    | Tenjo     | C/marca      | -74,201  | 4,792   | 2560 | MAM     | 0,49        | 23        | 0,036             |
| 10  | 21205980 | CO  | Providencia Gja    | Tenjo     | C/marca      | -74,201  | 4,792   | 2560 | SON     | 0,55        | 24        | 0,038             |
| 11  | 21195030 | CP  | Granja Ticabuy     | Tibacuy   | C/marca      | -74,417  | 4,350   | 1550 | SON     | 0,45        | 31        | 0,061             |

(b) Significancia al 95 %

| No. | Código   | Cat | Nombre          | Municipio | Departamento | Longitud | Latitud | Elev | Periodo | Correlación | No. Datos | P-value Tendencia |
|-----|----------|-----|-----------------|-----------|--------------|----------|---------|------|---------|-------------|-----------|-------------------|
| 1   | 21205420 | AM  | Tibaitata       | Mosquera  | C/marca      | -74,209  | 4,691   | 2543 | DEF     | 0,52        | 28        | 0,007             |
| 2   | 23065110 | CO  | Yacopi          | Yacopi    | C/marca      | -74,355  | 5,484   | 1347 | JJA     | 0,48        | 23        | 0,027             |
| 3   | 21205980 | CO  | Providencia Gja | Tenjo     | C/marca      | -74,201  | 4,792   | 2560 | MAM     | 0,49        | 23        | 0,036             |
| 4   | 21205980 | CO  | Providencia Gja | Tenjo     | C/marca      | -74,201  | 4,792   | 2560 | SON     | 0,55        | 24        | 0,038             |

## 4.2.2 Temperatura Mínima

### 4.2.2.1 Temperatura Mínima - Magnitud: *tnav* Temperatura mínima promedio - *tnq10* Percentil 10 de la temperatura mínima

La Fig.4.2.5 presenta el mapa de correlación entre el índice *tnav* - Temperatura mínima promedio (definición en Cap. 1), y la tabla 4.6 presenta los datos de correlación obtenidos para una significancia del 90 % (a) y del 95 % (b). Se pueden apreciar 5 valores de correlación al 90 % de significancia, de los cuales 3 valores se encuentran al 95 % y para los periodos MAM y DEF, con valores de correlación entre 0.45-0.58 y de 0.38-0.50, respectivamente. Este resultado, aunque no resulta tan evidente como la temperatura máxima promedio, permite apreciar cierta relación lineal entre la anomalía de la temperatura superficial del mar en la región Niño 3.4 y la temperatura mínima promedio.

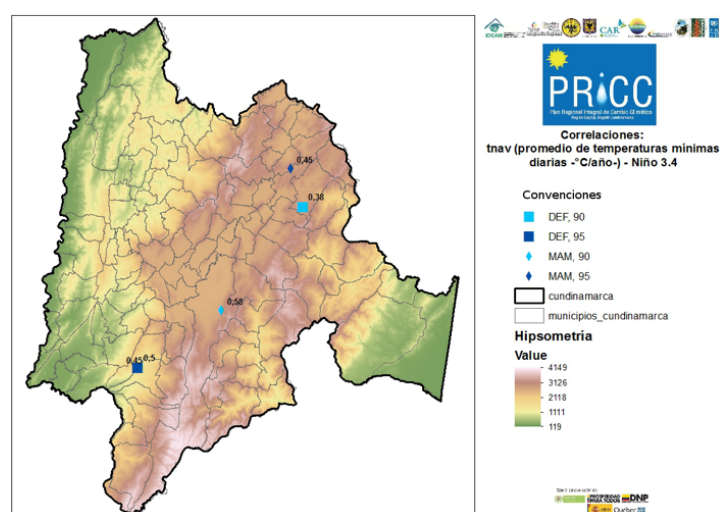


FIGURA 4.2.5: MAPA DE CORRELACIÓN DE ÍNDICE TNAV - NIÑO 3.4

TABLA 4.6: CORRELACIÓN PARA ÍNDICE TNAV

(a) Significancia mínima al 90 %

| No. | Código   | Cat | Nombre            | Municipio | Departamento | Longitud | Latitud | Elev | Periodo | Correlación | No. Datos | P-value Tendencia |
|-----|----------|-----|-------------------|-----------|--------------|----------|---------|------|---------|-------------|-----------|-------------------|
| 1   | 21205480 | CP  | Iberia La         | Choconta  | C/marca      | -73,717  | 5,033   | 2760 | DEF     | 0,38        | 19        | 0,100             |
| 2   | 21195030 | CP  | Granja Ticabuy    | Tibacuy   | C/marca      | -74,417  | 4,350   | 1550 | DEF     | 0,50        | 30        | 0,003             |
| 3   | 21205580 | CO  | Venado Oro Vivero | Bogota DC | Bogota DC    | -74,062  | 4,598   | 2725 | MAM     | 0,58        | 19        | 0,087             |
| 4   | 24015150 | CO  | Carrizal          | Cucunuba  | C/marca      | -73,767  | 5,200   | 2860 | MAM     | 0,45        | 18        | 0,053             |
| 5   | 21195030 | CP  | Granja Ticabuy    | Tibacuy   | C/marca      | -74,417  | 4,350   | 1550 | MAM     | 0,45        | 31        | 0,000             |

(b) Significancia mínima al 95 %

| No. | Código   | Cat | Nombre         | Municipio | Departamento | Longitud | Latitud | Elev | Periodo | Correlación | No. Datos | P-value Tendencia |
|-----|----------|-----|----------------|-----------|--------------|----------|---------|------|---------|-------------|-----------|-------------------|
| 1   | 21195030 | CP  | Granja Ticabuy | Tibacuy   | C/marca      | -74,417  | 4,350   | 1550 | DEF     | 0,50        | 30        | 0,003             |
| 2   | 24015150 | CO  | Carrizal       | Cucunuba  | C/marca      | -73,767  | 5,200   | 2860 | MAM     | 0,45        | 18        | 0,053             |
| 3   | 21195030 | CP  | Granja Ticabuy | Tibacuy   | C/marca      | -74,417  | 4,350   | 1550 | MAM     | 0,45        | 31        | 0,000             |

La Fig.4.2.6 presenta el mapa de correlación entre el índice *tnq10* - Percentil 10 de la temperatura mínima (definición en Cap. 2), y la tabla 4.7 presenta los datos de correlación obtenidos para una significancia del 90 % (no se obtuvieron datos al 95 %). Se pueden apreciar 3 valores de correlación al 90 % de significancia para el periodo MAM, con valores de correlación de 0.38 y 0.39. Este resultado permite inferir que ante un evento La Niña (anomalías negativas), el percentil 10 de la temperatura mínima tiende a disminuir, es decir, una pequeña tendencia a heladas.

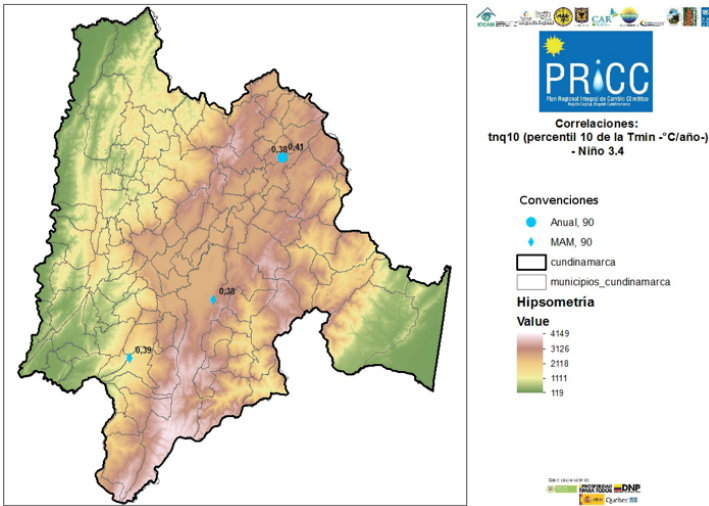


FIGURA 4.2.6: MAPA DE CORRELACIÓN DE ÍNDICE TNQ10 - NIÑO 3.4

TABLA 4.7: CORRELACIÓN PARA ÍNDICE TNQ10

(a) Significancia al 90 %

| No. | Código   | Cat | Nombre             | Municipio | Departamento | Longitud | Latitud | Elev | Periodo | Correlación | No. Datos | P-value Tendencia |
|-----|----------|-----|--------------------|-----------|--------------|----------|---------|------|---------|-------------|-----------|-------------------|
| 1   | 24015150 | CO  | Carrizal           | Cucunuba  | C/marca      | -73,767  | 5,200   | 2860 | Anual   | 0,41        | 18        | 0,013             |
| 2   | 21205580 | CO  | Venado Oro Viviero | Bogota DC | Bogota DC    | -74,062  | 4,598   | 2725 | MAM     | 0,38        | 19        | 0,011             |
| 3   | 24015150 | CO  | Carrizal           | Cucunuba  | C/marca      | -73,767  | 5,200   | 2860 | MAM     | 0,38        | 18        | 0,023             |
| 4   | 21195030 | CP  | Granja Ticabuy     | Tibacuy   | C/marca      | -74,417  | 4,350   | 1550 | MAM     | 0,39        | 31        | 0,000             |

4.2.2.2Temperatura mínima - frecuencia: ondas de frío: tncw10 Percentil 10 de la duración de ondas frías para 10 días de Tn - tnf10 fracción de días por debajo del rango muy bajo (percentil 10) de la Tn

La Fig.4.2.7 presenta el mapa de correlación entre el índice *tncw10* - Percentil 10 de la duración de ondas frías para 10 días de Tn (definición en Cap. 2), y la tabla 4.8 presenta 2 datos de correlación obtenidos para una significancia del 90 %. Por su parte, el índice *tnf10* no presenta datos de correlación válidos al nivel de significancia estadística usada en este documento.

No se aprecia relación lineal entre la frecuencia de ocurrencia de las ondas de frío (índice *tncw10* ) y de la fracción de días por debajo del percentil 10 de la temperatura mínima (índice *tnf10*) con respecto a la temperatura superficial del mar en la región Niño 3.4.

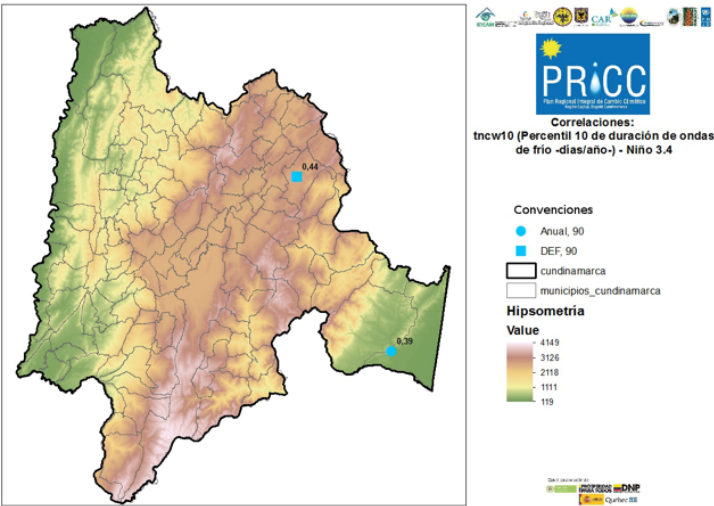


FIGURA 4.2.7: MAPA DE CORRELACIÓN DE ÍNDICE TNCW10 - NIÑO 3.4

TABLA 4.8: CORRELACIÓN PARA ÍNDICE TNCW10

(a) Significancia al 90 %

| No. | Código   | Cat | Nombre   | Municipio   | Departamento | Longitud | Latitud | Elev | Periodo | Correlación | No. Datos | P-value Tendencia |
|-----|----------|-----|----------|-------------|--------------|----------|---------|------|---------|-------------|-----------|-------------------|
| 1   | 21205740 | CO  | Silos    | Choconta    | C/marca      | -73,701  | 5,118   | 2709 | DEF     | 0.44        | 23        | 0.020             |
| 2   | 35055010 | CO  | Japon El | Paratebueno | C/marca      | -73,301  | 4,377   | 280  | Anual   | 0.39        | 28        | 0.030             |

### 4.2.3 Precipitación

**4.2.3.1 Precipitación - Magnitud:** *pav* Promedio de precipitación total - *pint* Promedio de precipitación para días húmedos - *pq90* Percentil 90 de días húmedos - *px5d* Máximo de precipitación en 5 días consecutivos - *pf90* Fracción promedio de las precipitaciones extremas

La Fig.4.2.8 presenta el mapa de correlación entre el índice *pav* - Promedio de precipitación total (definición en Cap. 1), y la tabla 4.9 presenta los datos de correlación obtenidos para una significancia del 90 % (a) y del 95 % (b). Se pueden apreciar valores de correlación inversa hasta de -0.65, lo que resulta en una buena señal de teleconexión, en especial para el periodo estacional JJA, el cual tiene un total de 14 datos al 90 % de significancia, con valores entre -0.39 y -0.65 (y presenta 5 datos al 95 %, con valores entre -0.51 y -0.62). El segundo periodo trimestral en importancia resulta DEF, con 7 datos de correlación al 90 % de significancia, entre -0.41 y -0.62 (y presenta 3 datos al 95 % con valores entre -0.45 y -0.62). Por su parte, el periodo SON tiene 3 datos al 90 %, con valores de correlación entre -0.39 y -0.42 (no presenta datos al 95 %). Este resultado muestra una buena relación lineal inversa entre los datos de las anomalías de la temperatura superficial del mar en el Pacífico tropical y el *promedio de la precipitación total (pav)* para los periodos trimestrales JJA y DEF, lo cual significa que ante un fenómeno La Niña, la magnitud del promedio de la precipitación total tiende a aumentar y ante un evento El Niño, la magnitud tiende a disminuir para la región Cundinamarca y, en especial, hacia el centro del departamento. Es de notar que el periodo trimestral MAM no presenta relación lineal inversa con respecto a la temperatura superficial del mar en el Pacífico tropical.

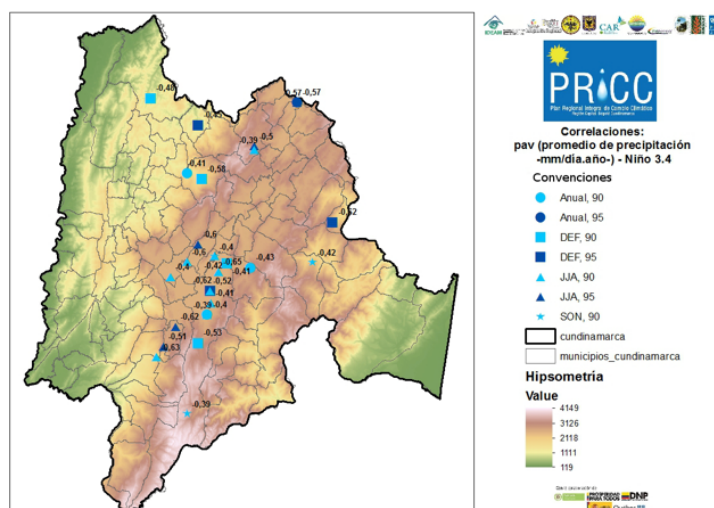


FIGURA 4.2.8: MAPA DE CORRELACIÓN DE ÍNDICE PAV - NIÑO 3.4

TABLA 4.9: CORRELACIÓN PARA ÍNDICE PAV

(a) Significancia mínima al 90 %

| Código   | Cat | Nombre             | Municipio        | Departamento | Longitud | Latitud | Elev | Periodo | Correlación | No. Datos | P-value<br>Tendencia |
|----------|-----|--------------------|------------------|--------------|----------|---------|------|---------|-------------|-----------|----------------------|
| 23065070 | CO  | Esc Vocacional     | Pacho            | C/marca      | -74.200  | 5.167   | 1940 | Anual   | -0.41       | 28        | 0.048                |
| 24015120 | CP  | Isla del Santuario | Fuquene          | C/marca      | -73.735  | 5.467   | 2580 | Anual   | -0.57       | 27        | 0.032                |
| 21200520 | PM  | Sta Lucia          | Bogota DC        | Bogota DC    | -74.117  | 4.567   | 2630 | Anual   | -0.40       | 31        | 0.011                |
| 21205650 | CP  | Tabio              | Tabio            | C/marca      | -73.933  | 4.767   | 2620 | Anual   | -0.43       | 27        | 0.004                |
| 21205710 | CO  | Jardin Botanico    | Bogota DC        | Bogota DC    | -74.103  | 4.669   | 2552 | DEF     | -0.62       | 18        | 0.011                |
| 23065110 | CO  | Yacopi             | Yacopi           | C/marca      | -74.355  | 5.484   | 1347 | DEF     | -0.48       | 26        | 0.061                |
| 23065120 | CO  | Cabrera La         | Pacho            | C/marca      | -74.139  | 5.142   | 2000 | DEF     | -0.58       | 26        | 0.090                |
| 21200770 | PM  | Torca              | Bogota DC        | Bogota DC    | -74.033  | 4.783   | 2579 | DEF     | -0.41       | 21        | 0.016                |
| 21201580 | PM  | Pasquilla          | Bogota DC        | Bogota DC    | -74.155  | 4.447   | 3000 | DEF     | -0.53       | 27        | 0.058                |
| 23120240 | PM  | Paime              | Paime            | C/marca      | -74.155  | 5.371   | 1038 | DEF     | -0.45       | 29        | 0.012                |
| 35070490 | PM  | Hato Grande Hda    | Manita           | C/marca      | -73.584  | 4.959   | 2346 | DEF     | -0.62       | 22        | 0.019                |
| 21205590 | SS  | Apto Guaymaral     | Bogota DC        | Bogota DC    | -74.083  | 4.817   | 2560 | JJA     | -0.42       | 24        | 0.003                |
| 21205710 | CO  | Jardin Botanico    | Bogota DC        | Bogota DC    | -74.103  | 4.669   | 2552 | JJA     | -0.52       | 21        | 0.080                |
| 21205770 | CO  | Base Aerea Madrid  | Madrid           | C/marca      | -74.273  | 4.729   | 2550 | JJA     | -0.40       | 27        | 0.091                |
| 21205980 | CO  | Providencia Gja    | Tenjo            | C/marca      | -74.201  | 4.792   | 2560 | JJA     | -0.60       | 28        | 0.075                |
| 24015120 | CP  | Isla del Santuario | Fuquene          | C/marca      | -73.735  | 5.467   | 2580 | JJA     | -0.57       | 25        | 0.025                |
| 21200510 | PG  | Sibate Apostolica  | Sibate           | C/marca      | -74.250  | 4.517   | 2618 | JJA     | -0.62       | 25        | 0.032                |
| 21200600 | PG  | Guarani El Penon   | Sibate           | C/marca      | -74.300  | 4.433   | 2800 | JJA     | -0.51       | 29        | 0.013                |
| 21201210 | PM  | Hato El            | Tenjo            | C/marca      | -74.154  | 4.867   | 2575 | JJA     | -0.60       | 31        | 0.013                |
| 24010520 | PM  | Hato 1 El          | Carmen de Carupa | C/marca      | -73.917  | 5.283   | 2985 | JJA     | -0.50       | 21        | 0.019                |
| 24010530 | PM  | Hato 2 El          | Carmen de Carupa | C/marca      | -73.917  | 5.267   | 2974 | JJA     | -0.39       | 24        | 0.039                |
| 21190310 | PM  | Pinar El           | Fusagasuga       | C/marca      | -74.330  | 4.388   | 1900 | JJA     | -0.63       | 29        | 0.099                |
| 21200310 | PM  | Cerro de Suba      | Bogota DC        | Bogota DC    | -74.067  | 4.750   | 2691 | JJA     | -0.65       | 30        | 0.061                |
| 21200520 | PM  | Sta Lucia          | Bogota DC        | Bogota DC    | -74.117  | 4.567   | 2630 | JJA     | -0.39       | 31        | 0.010                |
| 21205690 | CO  | Camavieja          | Bogota DC        | Bogota DC    | -74.100  | 4.617   | 2680 | JJA     | -0.41       | 31        | 0.022                |
| 21205590 | SS  | Apto Guaymaral     | Bogota DC        | Bogota DC    | -74.083  | 4.817   | 2560 | SON     | -0.40       | 28        | 0.007                |
| 35060050 | PM  | Junin              | Junin            | C/marca      | -73.669  | 4.792   | 2323 | SON     | -0.42       | 29        | 0.033                |
| 21195100 | CO  | Sopas Las          | Bogota DC        | Bogota DC    | -74.200  | 4.150   | 3200 | SON     | -0.39       | 27        | 0.019                |

(b) Significancia mínima al 95 %

| Código   | Cat | Nombre             | Municipio        | Departamento | Longitud | Latitud | Elev | Periodo | Correlación | No. Datos | P-value<br>Tendencia |
|----------|-----|--------------------|------------------|--------------|----------|---------|------|---------|-------------|-----------|----------------------|
| 24015120 | CP  | Isla del Santuario | Fuquene          | C/marca      | -73.735  | 5.467   | 2580 | Anual   | -0.57       | 27        | 0.032                |
| 21205710 | CO  | Jardin Botanico    | Bogota DC        | Bogota DC    | -74.103  | 4.669   | 2552 | DEF     | -0.62       | 18        | 0.011                |
| 23120240 | PM  | Paime              | Paime            | C/marca      | -74.155  | 5.371   | 1038 | DEF     | -0.45       | 29        | 0.012                |
| 35070490 | PM  | Hato Grande Hda    | Manita           | C/marca      | -73.584  | 4.959   | 2346 | DEF     | -0.62       | 22        | 0.019                |
| 24015120 | CP  | Isla del Santuario | Fuquene          | C/marca      | -73.735  | 5.467   | 2580 | JJA     | -0.57       | 25        | 0.025                |
| 21200510 | PG  | Sibate Apostolica  | Sibate           | C/marca      | -74.250  | 4.517   | 2618 | JJA     | -0.62       | 25        | 0.032                |
| 21200600 | PG  | Guarani El Penon   | Sibate           | C/marca      | -74.300  | 4.433   | 2800 | JJA     | -0.51       | 29        | 0.013                |
| 21201210 | PM  | Hato El            | Tenjo            | C/marca      | -74.154  | 4.867   | 2575 | JJA     | -0.60       | 31        | 0.013                |
| 24010520 | PM  | Hato 1 El          | Carmen de Carupa | C/marca      | -73.917  | 5.283   | 2985 | JJA     | -0.50       | 21        | 0.019                |

La Fig.4.2.9 presenta el mapa de correlación entre el índice *pint* - Promedio de precipitación para días húmedos (definición en Cap. 2), y la tabla 4.10 presenta los datos de correlación obtenidos para una significancia del 90 % (a) y del 95 % (b). Se pueden apreciar valores de correlación inversa hasta de -0.66, lo que resulta en una buena señal de teleconexión para el periodo estacional JJA, el cual tiene un total de 8 datos al 90 % de significancia, con valores entre -0.38 y -0.66 (y presenta 5 datos al 95 %, con valores entre -0.45 y -0.66). El periodo trimestral SON presenta un dato al 90 % de -0.42, al sur de Cundinamarca. Los periodos trimestrales DEF y MAM no presentan relación lineal inversa, lo que implica que las anomalías de la temperatura superficial del mar en el Pacífico tropical no presentan teleconexión con respecto al *promedio de precipitación para los días húmedos (pint)* de estos dos periodos. Este resultado muestra una buena relación lineal inversa entre los datos de las anomalías de la temperatura superficial del mar en el Pacífico tropical y el promedio de precipitación para los días húmedos (*pint*) en el periodo JJA, lo que implica que ante un fenómeno La Niña, la

magnitud del promedio de la precipitación para los días húmedos en el periodo JJA tiende a aumentar y ante un evento El Niño, la magnitud tiende a disminuir en la región Cundinamarca y, en especial, hacia el centro y norte del departamento.

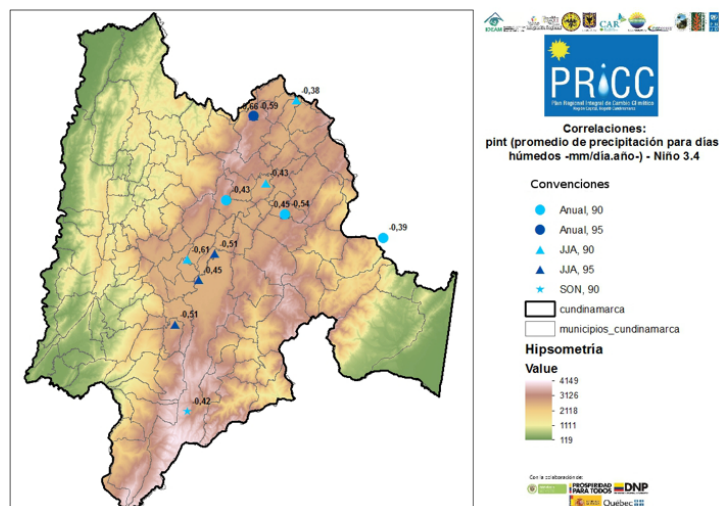


FIGURA 4.2.9: MAPA DE CORRELACIÓN DE ÍNDICE PINT - NIÑO 3.4

TABLA 4.10: CORRELACIÓN PARA ÍNDICE PINT - NIÑO 3.4

(a) Significancia mínima al 90 %

| No. | Código   | Cat | Nombre             | Municipio        | Departamento | Longitud | Latitud | Elev | Periodo | Correlación | No. Datos | P-value Tendencia |
|-----|----------|-----|--------------------|------------------|--------------|----------|---------|------|---------|-------------|-----------|-------------------|
| 1   | 21205620 | CP  | Guatavita          | Guatavita        | C/marca      | -73.367  | 4.883   | 2625 | Anual   | -0.39       | 23        | 0.054             |
| 2   | 21200960 | PG  | Consuelo El        | Sesquile         | C/marca      | -73.783  | 4.983   | 2960 | Anual   | -0.54       | 19        | 0.054             |
| 3   | 21201060 | PG  | Pantano Redondo 1  | Zipaquirá        | C/marca      | -74.033  | 5.043   | 3160 | Anual   | -0.43       | 24        | 0.029             |
| 4   | 24010370 | PM  | Socota             | Carmen de Carupá | C/marca      | -73.917  | 5.400   | 3080 | Anual   | -0.59       | 23        | 0.028             |
| 5   | 21205400 | CP  | Checua-Nemocon     | Nemocon          | C/marca      | -73.867  | 5.117   | 2580 | JJA     | -0.43       | 20        | 0.052             |
| 6   | 21205590 | SS  | Apto Guaymaral     | Bogotá DC        | Bogotá DC    | -74.083  | 4.817   | 2560 | JJA     | -0.51       | 24        | 0.033             |
| 7   | 21205790 | SP  | Apto El Dorado     | Bogotá DC        | Bogotá DC    | -74.151  | 4.706   | 2547 | JJA     | -0.45       | 30        | 0.010             |
| 8   | 21205980 | CO  | Providencia Gja    | Tenjo            | C/marca      | -74.201  | 4.792   | 2560 | JJA     | -0.61       | 28        | 0.069             |
| 9   | 24015120 | CP  | Isia del Santuario | Fuquene          | C/marca      | -73.735  | 5.467   | 2580 | JJA     | -0.38       | 25        | 0.032             |
| 10  | 21200510 | PG  | Sibate Apostolica  | Sibate           | C/marca      | -74.250  | 4.517   | 2618 | JJA     | -0.51       | 25        | 0.005             |
| 11  | 21200960 | PG  | Consuelo El        | Sesquile         | C/marca      | -73.783  | 4.983   | 2960 | JJA     | -0.45       | 21        | 0.046             |
| 12  | 24010370 | PM  | Socota             | Carmen de Carupá | C/marca      | -73.917  | 5.400   | 3080 | JJA     | -0.66       | 22        | 0.030             |
| 13  | 21195100 | CO  | Sopas Las          | Bogotá DC        | Bogotá DC    | -74.200  | 4.150   | 3200 | SON     | -0.42       | 27        | 0.021             |

(b) Significancia mínima al 95 %

| No. | Código   | Cat | Nombre            | Municipio        | Departamento | Longitud | Latitud | Elev | Periodo | Correlación | No. Datos | P-value Tendencia |
|-----|----------|-----|-------------------|------------------|--------------|----------|---------|------|---------|-------------|-----------|-------------------|
| 1   | 24010370 | PM  | Socota            | Carmen de Carupa | C/marca      | -73.917  | 5.400   | 3080 | Annual  | -0.59       | 23        | 0.028             |
| 2   | 21205590 | SS  | Apto Guaymaral    | Bogota DC        | Bogota DC    | -74.083  | 4.817   | 2560 | JJA     | -0.51       | 24        | 0.033             |
| 3   | 21205790 | SP  | Apto El Dorado    | Bogota DC        | Bogota DC    | -74.151  | 4.706   | 2547 | JJA     | -0.45       | 30        | 0.010             |
| 4   | 21200510 | PG  | Sibate Apostolica | Sibate           | C/marca      | -74.250  | 4.517   | 2618 | JJA     | -0.51       | 25        | 0.005             |
| 5   | 21200960 | PG  | Consuelo El       | Sesquille        | C/marca      | -73.783  | 4.983   | 2960 | JJA     | -0.45       | 21        | 0.046             |
| 6   | 24010370 | PM  | Socota            | Carmen de Carupa | C/marca      | -73.917  | 5.400   | 3080 | JJA     | -0.66       | 22        | 0.030             |

La Fig.4.2.10 presenta el mapa de correlación entre el índice pq90 - Percentil 90 de precipitación para días húmedos, también llamado precipitaciones extremas (definición en Cap. 3), y la tabla 4.11 presenta los datos de correlación obtenidos para una significancia del 90 % (a) y del 95 % (b). Se pueden apreciar valores de correlación inversa hasta de -0.51, lo que resulta en una buena señal de teleconexión, en especial para el periodo estacional JJA, el cual tiene un total de 6 datos al 90 % de significancia, con valores entre -0.42 y -0.51 (y presenta 2 datos al 95 %, con valores entre -0.45 y -0.51). El periodo trimestral DEF presenta dos valores al 90 %, de -0.46 y -0.48, mientras que los periodos MAM y SON presentan cada uno un valor de correlación de -0.41 y -0.38. Este resultado muestra una buena relación lineal inversa entre los datos de las anomalías de la temperatura superficial del mar en el Pacífico tropical y las precipitaciones extremas (pq90) en el periodo JJA, lo que implica que ante un fenómeno La Niña, la magnitud de las precipitaciones extremas en el periodo JJA tiende a aumentar y ante un evento El Niño, la magnitud tiende a disminuir en la región central de Cundinamarca. Para los otros periodos trimestrales (DEF, MAM y SON) la señal de la relación lineal inversa es mucho más débil en comparación con el periodo JJA. Es de notar que los datos de correlación encontrados se encuentran en sitios ubicados por encima de los 2000 - 2500 m.s.n.m.

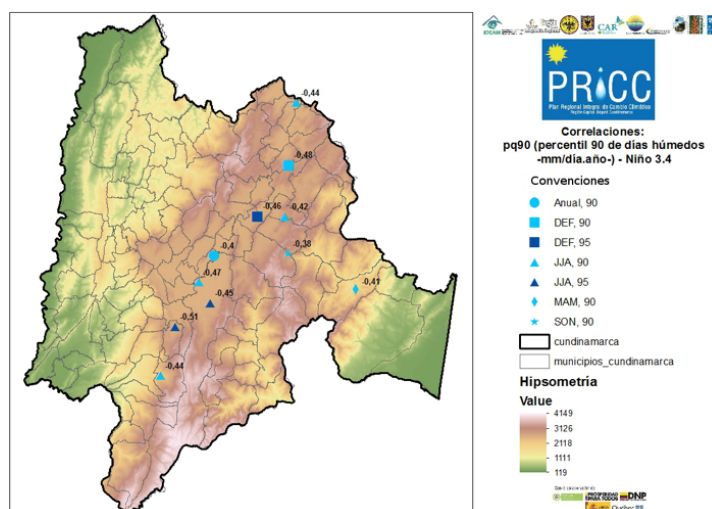


FIGURA 4.2.10: MAPA DE CORRELACIÓN DE ÍNDICE PQ90 - NIÑO 3.4

TABLA 4.11: CORRELACIÓN PARA ÍNDICE PQ90 - NIÑO 3.4

(a) Significancia mínima al 90 %

| No. | Código   | Cat | Nombre             | Municipio | Departamento | Longitud | Latitud | Elev | Periodo | Correlación | No. Datos | P-value Tendencia |
|-----|----------|-----|--------------------|-----------|--------------|----------|---------|------|---------|-------------|-----------|-------------------|
| 1   | 21205590 | SS  | Apto Guaymaral     | Bogota DC | Bogota DC    | -74.083  | 4.817   | 2560 | Anual   | -0.40       | 26        | 0.001             |
| 2   | 24015150 | CO  | Carrizal           | Cucunuba  | C/marca      | -73.767  | 5.200   | 2860 | DEF     | -0.48       | 18        | 0.075             |
| 3   | 21200800 | PG  | San Jose           | Guasca    | C/marca      | -73.900  | 4.983   | 2700 | DEF     | -0.46       | 21        | 0.046             |
| 4   | 21195070 | CO  | Pasca              | Pasca     | C/marca      | -74.312  | 4.310   | 2256 | JJA     | -0.44       | 27        | 0.030             |
| 5   | 21205790 | SP  | Apto El Dorado     | Bogota DC | Bogota DC    | -74.151  | 4.706   | 2547 | JJA     | -0.47       | 30        | 0.061             |
| 6   | 24015120 | CP  | Isla del Santuario | Fuquene   | C/marca      | -73.735  | 5.467   | 2580 | JJA     | -0.44       | 25        | 0.040             |
| 7   | 21200510 | PG  | Sibate Apostolica  | Sibate    | C/marca      | -74.250  | 4.517   | 2618 | JJA     | -0.51       | 24        | 0.033             |
| 8   | 21200960 | PG  | Consuelo El        | Sesquile  | C/marca      | -73.783  | 4.983   | 2960 | JJA     | -0.42       | 21        | 0.057             |
| 9   | 21205690 | CO  | Camavieja          | Bogota DC | Bogota DC    | -74.100  | 4.617   | 2680 | JJA     | -0.45       | 31        | 0.002             |
| 10  | 35060130 | PM  | Minas Las          | Gachala   | C/marca      | -73.482  | 4.675   | 2003 | MAM     | -0.41       | 30        | 0.076             |
| 11  | 35060160 | PM  | Potreritos         | Guatavita | C/marca      | -73.769  | 4.829   | 2802 | SON     | -0.38       | 29        | 0.080             |

(b) Significancia al 95 %

| No. | Código   | Cat | Nombre            | Municipio | Departamento | Longitud | Latitud | Elev | Periodo | Correlación | No. Datos | P-value Tendencia |
|-----|----------|-----|-------------------|-----------|--------------|----------|---------|------|---------|-------------|-----------|-------------------|
| 1   | 21200800 | PG  | San Jose          | Guasca    | C/marca      | -73.900  | 4.983   | 2700 | DEF     | -0.46       | 21        | 0.046             |
| 2   | 21200510 | PG  | Sibate Apostolica | Sibate    | C/marca      | -74.250  | 4.517   | 2618 | JJA     | -0.51       | 24        | 0.033             |
| 3   | 21205690 | CO  | Camavieja         | Bogota DC | Bogota DC    | -74.100  | 4.617   | 2680 | JJA     | -0.45       | 31        | 0.002             |

La Fig.4.2.11 presenta el mapa de correlación entre el índice  $px5d$  - *Máximo de precipitación para 5 días consecutivos* (definición en Cap. 4), y la tabla 4.12 presenta los datos de correlación obtenidos para una significancia del 90 % (a) y del 95 % (b). Se pueden apreciar 3 valores de correlación inversa para la significancia al 90 %: 2 para el periodo DEF y 1 para el periodo SON, con correlaciones de -0.42 y -0.50 y -0.43, respectivamente. Al revisar los datos al 95 % de significancia, tan solo se registra 1 dato para el periodo DEF. Este resultado muestra una débil relación lineal inversa entre los datos de las anomalías de la temperatura superficial del mar en el Pacífico tropical y los *máximos acumulados de precipitación en 5 días consecutivos ( $px5d$ )* para el periodo DEF. Para los periodos trimestrales MAM y JJA no se aprecia señal de teleconexión, es decir que ante un fenómeno ENOS, los máximos de precipitación en 5 días consecutivos no parecen afectarse por las variaciones en la temperatura superficial del mar en el Pacífico tropical.

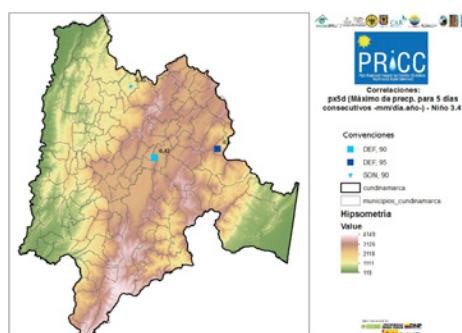


FIGURA 4.2.11: MAPA DE CORRELACIÓN DE ÍNDICE PX5D - NIÑO 3.4

TABLA 4.12: CORRELACIÓN PARA ÍNDICE PX5D - NIÑO 3.4

(a) Significancia mínima al 90 %

| No. | Código   | Cat | Nombre          | Municipio | Departamento | Longitud | Latitud | Elev | Periodo | Correlación | No. Datos | P-value Tendencia |
|-----|----------|-----|-----------------|-----------|--------------|----------|---------|------|---------|-------------|-----------|-------------------|
| 1   | 21201590 | PG  | Alco            | Zipaquira | C/marca      | -74,000  | 4,900   | 2590 | DEF     | -0,42       | 21        | 0,061             |
| 2   | 35070490 | PM  | Hato Grande Hda | Manta     | C/marca      | -73,584  | 4,959   | 2346 | DEF     | -0,50       | 22        | 0,052             |
| 3   | 23120240 | PM  | Paime           | Paime     | C/marca      | -74,155  | 5,371   | 1038 | SON     | -0,43       | 28        | 0,069             |

(b) Significancia mínima al 95 %

| No. | Código   | Cat | Nombre          | Municipio | Departamento | Longitud | Latitud | Elev | Periodo | Correlación | No. Datos | P-value Tendencia |
|-----|----------|-----|-----------------|-----------|--------------|----------|---------|------|---------|-------------|-----------|-------------------|
| 1   | 35070490 | PM  | Hato Grande Hda | Manta     | C/marca      | -73,584  | 4,959   | 2346 | DEF     | -0,50       | 22        | 0,052             |

La Fig.4.2.12 presenta el mapa de correlación entre el índice *pf/90* - Fracción promedio de las precipitaciones extremas (definición en Cap. 5), y la tabla 4.13 presenta los datos de correlación obtenidos para una significancia del 90 % (no se obtuvieron datos al 95 %). Se pueden apreciar 3 datos de correlación entre -0.40 y -0.42 para los periodos JJA (2) y SON (1). Este resultado muestra una débil relación lineal inversa para el periodo JJA, y hacia el centro de Cundinamarca, entre los datos de las anomalías de la temperatura superficial del mar en el Pacífico tropical y la *fracción promedio de precipitaciones extremas*. Para los periodos trimestrales DEF y MAM no se aprecia señal de teleconexión, es decir que ante un fenómeno ENOS, la fracción promedio de precipitaciones extremas no parece afectarse por las variaciones en la temperatura superficial del mar en el Pacífico tropical.

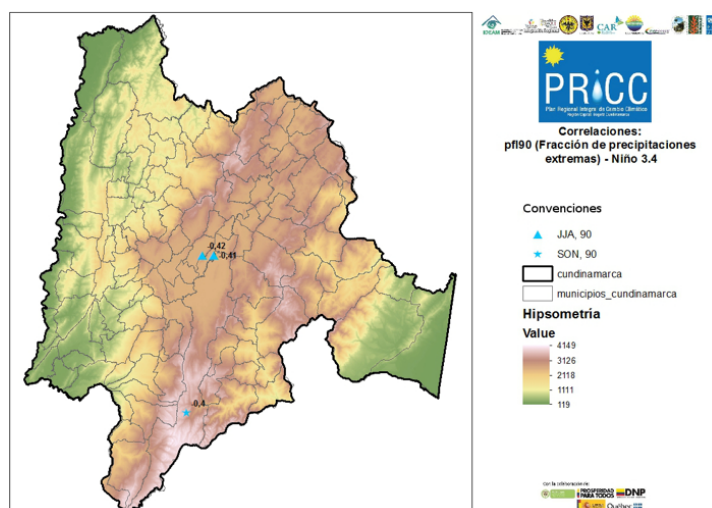


FIGURA 4.2.12: MAPA DE CORRELACIÓN DE ÍNDICE PFL90 - NIÑO 3.4

TABLA 4.13: CORRELACIÓN PARA ÍNDICE PFL90 - NIÑO 3.4

(a) Significancia al 90 %

| No. | Código   | Cat | Nombre         | Municipio | Departamento | Longitud | Latitud | Elev | Periodo | Correlación | No. Datos | P-value Tendenci |
|-----|----------|-----|----------------|-----------|--------------|----------|---------|------|---------|-------------|-----------|------------------|
| 1   | 21205590 | SS  | Apto Guaymaral | Bogota DC | Bogota DC    | -74,083  | 4,817   | 2560 | JJA     | -0,41       | 24        | 0,004            |
| 2   | 21201360 | PM  | Sta Ines       | Tenjo     | C/marca      | -74,133  | 4,817   | 2550 | JJA     | -0,42       | 24        | 0,078            |
| 3   | 21195100 | CO  | Sopas Las      | Bogota DC | Bogota DC    | -74,200  | 4,150   | 3200 | SON     | -0,40       | 27        | 0,100            |

4.2.3.2 Precipitación - Frecuencia:  $pxcdd$  Máximo de días consecutivos secos -  $pxc wd$  Máximo de días consecutivos húmedos -  $pn10mm$  No. de días donde precip  $\geq 10mm$  -  $pnf90$  Eventos de precipitación extrema en el largo plazo

La Fig.4.2.13 presenta el mapa de correlación entre el índice *pxcdd* - Máximo de días consecutivos secos (definición en Cap. 1), y la tabla 4.14 presenta los datos de correlación obtenidos para una significancia del 90 % (a) y 95 % (b). Se pueden apreciar 3 datos de correlación entre -0.41 y -0.45 para los periodos MAM (2) y JJA (1) para un nivel de confianza estadístico al 90 %. Este resultado muestra una débil relación lineal inversa para el periodo MAM y JJA, entre los datos de las variaciones de la temperatura superficial del mar en el Pacífico tropical y el *máximo de días consecutivos secos*. Para los periodos trimestrales DEF y SON no se aprecia señal de teleconexión, es decir que ante un fenómeno El Niño o La Niña, los días consecutivos secos no parecen afectarse por las variaciones en la temperatura superficial del mar en el Pacífico tropical.

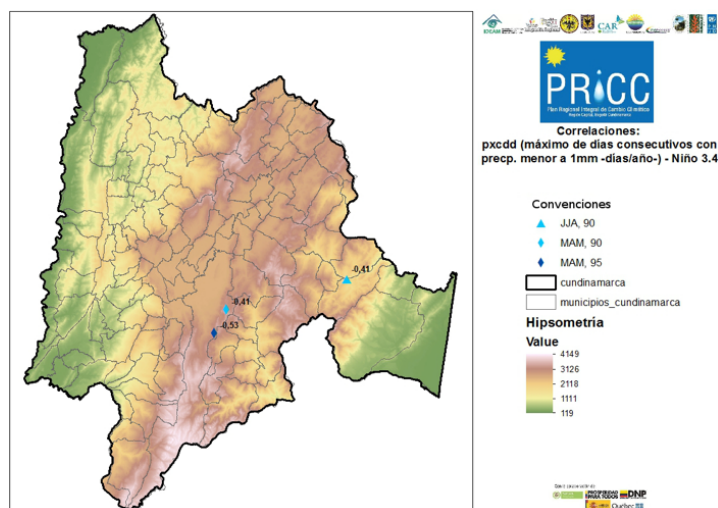


FIGURA 4.2.13: MAPA DE CORRELACIÓN DE ÍNDICE PXCDD - NIÑO 3.4

TABLA 4.14: CORRELACIÓN PARA ÍNDICE PXCDD - NIÑO 3.4

(a) Significancia al 90 %

| No. | Código   | Cat | Nombre          | Municipio | Departamento | Longitud | Latitud | Elev | Periodo | Correlación | No. Datos | P-value Tendencia |
|-----|----------|-----|-----------------|-----------|--------------|----------|---------|------|---------|-------------|-----------|-------------------|
| 1   | 35060100 | PG  | Esc Tena        | Gachala   | C/marca      | -73,521  | 4,713   | 1650 | JJA     | -0,41       | 31        | 0,058             |
| 2   | 21200850 | PG  | Cisaca          | Bogota DC | Bogota DC    | -74,083  | 4,483   | 2880 | MAM     | -0,53       | 23        | 0,050             |
| 3   | 21200080 | PM  | Arravan-San Fco | Bogota DC | Bogota DC    | -74,033  | 4,583   | 3047 | MAM     | -0,41       | 28        | 0,087             |

(b) Significancia al 95 %

| No. | Código   | Cat | Nombre | Municipio | Departamento | Longitud | Latitud | Elev | Periodo | Correlación | No. Datos | P-value Tendencia |
|-----|----------|-----|--------|-----------|--------------|----------|---------|------|---------|-------------|-----------|-------------------|
| 1   | 21200850 | PG  | Cisaca | Bogota DC | Bogota DC    | -74.083  | 4.483   | 2880 | MAM     | -0.53       | 23        | 0.050             |

La Fig.4.2.14 presenta el mapa de correlación entre el índice *pxcwd* - Máximo de días consecutivos húmedos (definición en Cap. 1), y la tabla 4.15 presenta los datos de correlación obtenidos para una significancia del 90 % (a) y 95 % (b). Se pueden apreciar 6 datos de correlación entre -0.38 y -0.56 para los periodos DEF (3), JJA (2) y SON (1), para un nivel de confianza estadístico al 90 % (al 95 % aparecen 2 datos para el periodo DEF, con buenos valores de correlación: -0.53 y -0.55). Este resultado muestra una aceptable relación lineal inversa para el periodo DEF y una señal un poco más débil para los periodos JJA y SON con respecto a los datos de las variaciones de la temperatura superficial del mar en el Pacífico tropical y el *máximo de días consecutivos húmedos (pxcwd)*. Para el periodo trimestral MAM no se aprecia señal de teleconexión, es decir que ante un fenómeno El Niño o La Niña, los *días consecutivos húmedos* no parecen afectarse por las variaciones en la temperatura superficial del mar en el Pacífico tropical.

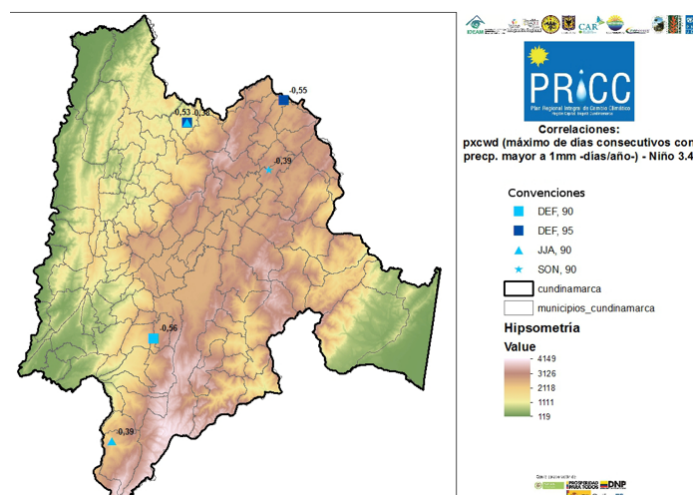


FIGURA 4.2.14: MAPA DE CORRELACIÓN DE ÍNDICE PXCWD - NIÑO 3.4

TABLA 4.15: CORRELACIÓN PARA ÍNDICE PXCWD - NIÑO 3.4

(a) Significancia mínima al 90 %

| No. | Código   | Cat | Nombre             | Municipio | Departamento | Longitud | Latitud | Elev | Periodo | Correlación | No. Datos | P-value Tendencia |
|-----|----------|-----|--------------------|-----------|--------------|----------|---------|------|---------|-------------|-----------|-------------------|
| 1   | 24015120 | CP  | Isla del Santuario | Fuquene   | C/marca      | -73.735  | 5.467   | 2580 | DEF     | -0.55       | 25        | 0.040             |
| 2   | 21200600 | PG  | Guarani El Penon   | Sibate    | C/marca      | -74.300  | 4.433   | 2800 | DEF     | -0.56       | 29        | 0.073             |
| 3   | 23120240 | PM  | Paime              | Paime     | C/marca      | -74.155  | 5.371   | 1038 | DEF     | -0.53       | 29        | 0.009             |
| 4   | 21190090 | PM  | Cabrera            | Cabrera   | C/marca      | -74.484  | 3.987   | 1900 | JJA     | -0.39       | 30        | 0.093             |
| 5   | 23120240 | PM  | Paime              | Paime     | C/marca      | -74.155  | 5.371   | 1038 | JJA     | -0.38       | 31        | 0.045             |
| 6   | 24010300 | PM  | Hatillo El         | Suesca    | C/marca      | -73.800  | 5.167   | 2885 | SON     | -0.39       | 23        | 0.033             |

(b) Significancia mínima al 95 %

| No. | Código   | Cat | Nombre             | Municipio | Departamento | Longitud | Latitud | Elev | Periodo | Correlación | No. Datos | P-value Tendencia |
|-----|----------|-----|--------------------|-----------|--------------|----------|---------|------|---------|-------------|-----------|-------------------|
| 1   | 24015120 | CP  | Isla del Santuario | Fuquene   | C/marca      | -73.735  | 5.467   | 2580 | DEF     | -0.55       | 25        | 0.040             |
| 2   | 23120240 | PM  | Paime              | Paime     | C/marca      | -74.155  | 5.371   | 1038 | DEF     | -0.53       | 29        | 0.009             |

La Fig.4.2.15 presenta el mapa de correlación entre el índice *pn10mm* - *N.º días con precipitación mayor a 10 mm* (definición en Cap. 3), y la tabla 4.16 presenta los datos de correlación obtenidos para una significancia del 90 % (a) y 95 % (b). Se pueden apreciar 9 datos de correlación entre -0.40 y -0.66 para el periodo JJA, para un nivel de confianza estadístico al 90 % (al 95 % aparecen 3 datos con correlaciones entre -0.53 y -0.57), mientras que para el periodo DEF se aprecian 6 datos con valores de correlación entre -0.41 y -0.57 al 90 % de confianza estadística (aparecen 3 datos al 95 % de confianza con valores entre -0.46 y 0.56). Por su parte, el periodo SON tiene una señal un poco más débil, con 3 datos al 90 % de confianza estadística con valores entre -0.39 y -0.46 (aparece 1 dato al 95 % con correlación de -0.46). Este resultado muestra una buena relación lineal inversa para los periodos JJA y DEF y una señal un poco más débil para el periodo SON, con respecto a las variaciones de la temperatura superficial del mar en el Pacífico tropical, es decir que ante un fenómeno El Niño o La Niña, la frecuencia en el *N.º de días con precipitación mayor a 10 mm* se afecta por las variaciones que se presentan en la temperatura superficial del mar en el Pacífico tropical. Se destaca que para el periodo trimestral MAM no se aprecia señal de teleconexión entre las dos variables.

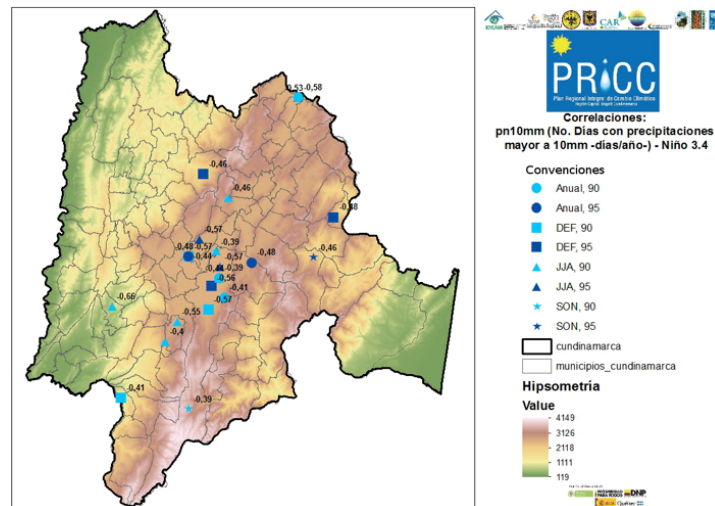


FIGURA 4.2.15: MAPA DE CORRELACIÓN DE ÍNDICE PN10MM - NIÑO 3.4

TABLA 4.16: CORRELACIÓN PARA ÍNDICE PN10MM - NIÑO 3.4

(a) Significancia mínima al 90 %

| No. | Código   | Cat | Nombre             | Municipio | Departamento | Longitud | Latitud | Elev | Periodo | Correlación | No. Datos | P-value Tendencia |
|-----|----------|-----|--------------------|-----------|--------------|----------|---------|------|---------|-------------|-----------|-------------------|
| 1   | 21205980 | CO  | Providencia Gja    | Tenjo     | C/marca      | -74.201  | 4.792   | 2560 | Anual   | -0.57       | 26        | 0.052             |
| 2   | 24015120 | CP  | Isla del Santuario | Fuquene   | C/marca      | -73.735  | 5.467   | 2580 | Anual   | -0.58       | 27        | 0.068             |
| 3   | 21201230 | PM  | Enmanuel D Alzon   | Bogota DC | Bogota DC    | -74.070  | 4.701   | 2520 | Anual   | -0.39       | 30        | 0.012             |
| 4   | 21200320 | PM  | Granizo            | Bogota DC | Bogota DC    | -74.050  | 4.617   | 3125 | Anual   | -0.41       | 30        | 0.017             |
| 5   | 21205650 | CP  | Tabio              | Tabio     | C/marca      | -73.933  | 4.767   | 2620 | Anual   | -0.48       | 27        | 0.011             |
| 6   | 21195060 | CO  | Pandi              | Pandi     | C/marca      | -74.487  | 4.193   | 950  | DEF     | -0.41       | 27        | 0.075             |
| 7   | 21205710 | CO  | Jardin Botanico    | Bogota DC | Bogota DC    | -74.103  | 4.669   | 2552 | DEF     | -0.56       | 18        | 0.005             |
| 8   | 21205980 | CO  | Providencia Gja    | Tenjo     | C/marca      | -74.201  | 4.792   | 2560 | DEF     | -0.48       | 26        | 0.071             |
| 9   | 23065120 | CO  | Cabrera La         | Pacho     | C/marca      | -74.139  | 5.142   | 2000 | DEF     | -0.46       | 26        | 0.033             |
| 10  | 35070490 | PM  | Hato Grande Hda    | Manta     | C/marca      | -73.584  | 4.959   | 2346 | DEF     | -0.48       | 22        | 0.032             |
| 11  | 21200520 | PM  | Sta Lucia          | Bogota DC | Bogota DC    | -74.117  | 4.567   | 2630 | DEF     | -0.57       | 29        | 0.066             |
| 12  | 21205590 | SS  | Apto Guaymaral     | Bogota DC | Bogota DC    | -74.083  | 4.817   | 2560 | JJA     | -0.44       | 24        | 0.004             |
| 13  | 21205660 | CO  | Mercedes Las       | Anapoima  | C/marca      | -74.527  | 4.582   | 810  | JJA     | -0.66       | 27        | 0.072             |
| 14  | 24015120 | CP  | Isla del Santuario | Fuquene   | C/marca      | -73.735  | 5.467   | 2580 | JJA     | -0.53       | 25        | 0.010             |
| 15  | 21200510 | PG  | Sibate Apostolica  | Sibate    | C/marca      | -74.250  | 4.517   | 2618 | JJA     | -0.55       | 25        | 0.086             |
| 16  | 21200600 | PG  | Guarani El Penon   | Sibate    | C/marca      | -74.300  | 4.433   | 2800 | JJA     | -0.40       | 29        | 0.000             |
| 17  | 21201060 | PG  | Pantano Redondo 1  | Zipaquirá | C/marca      | -74.033  | 5.043   | 3160 | JJA     | -0.46       | 28        | 0.069             |
| 18  | 21201210 | PM  | Hato El            | Tenjo     | C/marca      | -74.154  | 4.867   | 2575 | JJA     | -0.57       | 31        | 0.050             |
| 19  | 21201230 | PM  | Enmanuel D Alzon   | Bogota DC | Bogota DC    | -74.070  | 4.701   | 2520 | JJA     | -0.44       | 30        | 0.030             |
| 20  | 21200310 | PM  | Cerro de Suba      | Bogota DC | Bogota DC    | -74.067  | 4.750   | 2691 | JJA     | -0.57       | 30        | 0.047             |
| 21  | 21205590 | SS  | Apto Guaymaral     | Bogota DC | Bogota DC    | -74.083  | 4.817   | 2560 | SON     | -0.39       | 28        | 0.013             |
| 22  | 35060050 | PM  | Junin              | Junin     | C/marca      | -73.669  | 4.792   | 2323 | SON     | -0.46       | 29        | 0.050             |
| 23  | 21195100 | CO  | Sopas Las          | Bogota DC | Bogota DC    | -74.200  | 4.150   | 3200 | SON     | -0.39       | 27        | 0.037             |

(b) Significancia mínima al 95 %

| No. | Código   | Cat | Nombre             | Municipio | Departamento | Longitud | Latitud | Elev | Periodo | Correlación | No. Datos | P-value Tendencia |
|-----|----------|-----|--------------------|-----------|--------------|----------|---------|------|---------|-------------|-----------|-------------------|
| 1   | 21205980 | CO  | Providencia Gja    | Tenjo     | C/marca      | -74.201  | 4.792   | 2560 | Annual  | -0.57       | 26        | 0.052             |
| 2   | 21205650 | CP  | Tablo              | Tablo     | C/marca      | -73.933  | 4.767   | 2620 | Annual  | -0.48       | 27        | 0.011             |
| 3   | 21205710 | CO  | Jardin Botanico    | Bogota DC | Bogota DC    | -74.103  | 4.669   | 2552 | DEF     | -0.56       | 18        | 0.005             |
| 4   | 23065120 | CO  | Cabrera La         | Pacho     | C/marca      | -74.139  | 5.142   | 2000 | DEF     | -0.46       | 26        | 0.033             |
| 5   | 35070490 | PM  | Hato Grande Hda    | Manta     | C/marca      | -73.584  | 4.959   | 2346 | DEF     | -0.48       | 22        | 0.032             |
| 6   | 24015120 | CP  | Isla del Santuario | Fuquene   | C/marca      | -73.735  | 5.467   | 2580 | JJA     | -0.53       | 25        | 0.010             |
| 7   | 21201210 | PM  | Hato El            | Tenjo     | C/marca      | -74.154  | 4.867   | 2575 | JJA     | -0.57       | 31        | 0.050             |
| 8   | 21200310 | PM  | Cerro de Suba      | Bogota DC | Bogota DC    | -74.067  | 4.750   | 2691 | JJA     | -0.57       | 30        | 0.047             |
| 9   | 35060050 | PM  | Junin              | Junin     | C/marca      | -73.669  | 4.792   | 2323 | SON     | -0.46       | 29        | 0.050             |

La Fig.4.2.16 presenta el mapa de correlación entre el índice *pnl90 - Eventos de precipitación extrema en el largo plazo* (definición en Cap. 4), y la tabla 4.17 presenta los datos de correlación obtenidos para una significancia del 90 % (a) y 95 % (b). Se pueden apreciar 8 datos de correlación entre -0.41 y -0.55 para el periodo JJA para el nivel de confianza estadístico al 90 % (al 95 % aparece 1 dato, con correlación de -0.54), mientras que para los periodos DEF y SON se aprecian 2 datos para cada uno, con valores de correlación de -0.45, -0.52 y -0.39, -0.46, respectivamente (al 95 % aparece 1 dato para el periodo DEF con valor de correlación de -0.52). Este resultado muestra una buena relación lineal inversa para el periodo JJA y una señal más débil para los periodos DEF y SON con respecto a las variaciones en la temperatura superficial del mar en el Pacífico tropical, es decir que ante un fenómeno El Niño o La Niña, la frecuencia en los *Eventos de precipitación extrema en el largo plazo* se afecta por dichas variaciones. Se destaca que para el periodo trimestral MAM no se aprecia señal de teleconexión entre las dos variables.

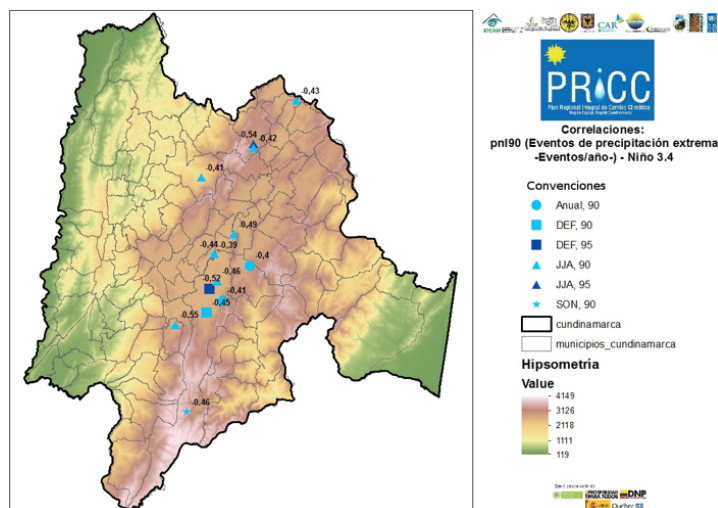


FIGURA 4.2.16: MAPA DE CORRELACIÓN DE ÍNDICE PNL90 - NIÑO 3.4

TABLA 4.17: CORRELACIÓN PARA ÍNDICE PNL90 - NIÑO 3.4

(a) Significancia mínima al 90 %

| No. | Código   | Cat | Nombre             | Municipio        | Departamento | Longitud | Latitud | Elev | Periodo | Correlación | No. Datos | P-value Tendencia |
|-----|----------|-----|--------------------|------------------|--------------|----------|---------|------|---------|-------------|-----------|-------------------|
| 1   | 21200320 | PM  | Granizo            | Bogota DC        | Bogota DC    | -74.050  | 4.617   | 3125 | Anual   | -0.41       | 30        | 0.003             |
| 2   | 21205650 | CP  | Tabio              | Tabio            | C/marca      | -73.933  | 4.767   | 2620 | Anual   | -0.40       | 27        | 0.012             |
| 3   | 21205710 | CO  | Jardín Botánico    | Bogota DC        | Bogota DC    | -74.103  | 4.669   | 2552 | DEF     | -0.52       | 18        | 0.003             |
| 4   | 21200520 | PM  | Sta Lucia          | Bogota DC        | Bogota DC    | -74.117  | 4.567   | 2630 | DEF     | -0.45       | 29        | 0.071             |
| 5   | 21205590 | SS  | Apto Guaymaral     | Bogota DC        | Bogota DC    | -74.083  | 4.817   | 2560 | JJA     | -0.44       | 24        | 0.004             |
| 6   | 23065120 | CO  | Cabrera La         | Pacho            | C/marca      | -74.139  | 5.142   | 2000 | JJA     | -0.41       | 29        | 0.078             |
| 7   | 24015120 | CP  | Isla del Santuario | Fuquene          | C/marca      | -73.735  | 5.467   | 2580 | JJA     | -0.43       | 25        | 0.019             |
| 8   | 21200510 | PG  | Sibate Apostolica  | Sibate           | C/marca      | -74.250  | 4.517   | 2618 | JJA     | -0.55       | 25        | 0.086             |
| 9   | 21201230 | PM  | Enmanuel D Alzon   | Bogota DC        | Bogota DC    | -74.070  | 4.701   | 2520 | JJA     | -0.46       | 30        | 0.068             |
| 10  | 21201590 | PG  | Alco               | Zipaquirá        | C/marca      | -74.000  | 4.900   | 2590 | JJA     | -0.49       | 23        | 0.084             |
| 11  | 24010520 | PM  | Hato 1 El          | Carmen de Carupa | C/marca      | -73.917  | 5.283   | 2985 | JJA     | -0.54       | 21        | 0.048             |
| 12  | 24010530 | PM  | Hato 2 El          | Carmen de Carupa | C/marca      | -73.917  | 5.267   | 2974 | JJA     | -0.42       | 24        | 0.054             |
| 13  | 21205590 | SS  | Apto Guaymaral     | Bogota DC        | Bogota DC    | -74.083  | 4.817   | 2560 | SON     | -0.39       | 28        | 0.005             |
| 14  | 21195100 | CO  | Sopas Las          | Bogota DC        | Bogota DC    | -74.200  | 4.150   | 3200 | SON     | -0.46       | 27        | 0.061             |

(b) Significancia mínima al 95 %

| No. | Código   | Cat | Nombre          | Municipio        | Departamento | Longitud | Latitud | Elev | Periodo | Correlación | No. Datos | P-value Tendencia |
|-----|----------|-----|-----------------|------------------|--------------|----------|---------|------|---------|-------------|-----------|-------------------|
| 1   | 21205710 | CO  | Jardín Botánico | Bogota DC        | Bogota DC    | -74.103  | 4.669   | 2552 | DEF     | -0.52       | 18        | 0.003             |
| 2   | 24010520 | PM  | Hato 1 El       | Carmen de Carupa | C/marca      | -73.917  | 5.283   | 2985 | JJA     | -0.54       | 21        | 0.048             |

# CONCLUSIONES

1. La Región Niño 3.4 presenta mayor respuesta lineal a los índices de extremos climáticos para la región Bogotá-Cundinamarca en comparación con la respuesta de la región Niño 3. Se ha obtenido una mayor cantidad de datos de correlación con significancias estadísticas válidas en la región Niño 3.4.
2. Se aprecia una buena relación lineal entre el *promedio de la temperatura máxima (txav)* y su *percentil 90 (txq90)*, con respecto a las anomalías de la temperatura superficial del mar en el Pacífico tropical (Niño 3.4), en especial para los periodos trimestrales DEF y JJA y en menor medida para los periodos trimestrales MAM y SON. Esto permite inferir que ante un fenómeno El Niño, la magnitud de las temperaturas máximas tiende al aumento y ante un fenómeno La Niña, las temperaturas máximas tienden a disminuir en la región Bogotá-Cundinamarca.
3. Se aprecia una buena relación lineal entre los índices *Percentil 90 de la duración de ondas de calor (txhw90)* y la *fracción de días por encima del percentil 90 de la temperatura máxima* con respecto a las anomalías de la temperatura superficial del mar en el Pacífico tropical (Niño 3.4), en especial para el periodo trimestral DEF. Esto permite inferir que ante un fenómeno El Niño, la frecuencia con que han ocurrido las ondas de calor y los días que superan el percentil 90 de la temperatura máxima tienden al aumento y, por el contrario, ante un fenómeno La Niña, la tendencia es a la disminución en la región Bogotá-Cundinamarca.
4. Se aprecia una débil relación lineal entre el *promedio de la temperatura mínima (tnav)* y su *percentil 10 (tnq10)*, con respecto a las anomalías de la temperatura superficial del mar en el Pacífico tropical (Niño 3.4), para el periodo trimestral MAM. Esto permite inferir que ante un fenómeno La Niña (anomalías negativas), la magnitud de las temperaturas mínimas tiende a disminuir en el trimestre MAM, es decir, un mayor riesgo de heladas en ciertos sectores de la región Bogotá-Cundinamarca.
5. No se aprecia relación lineal alguna entre la frecuencia de ocurrencia de las ondas de frío (índice *tnw10*) y de la fracción de días por debajo del percentil 10 de la temperatura mínima (índice *tnf10*) con respecto a la temperatura superficial del mar en la región Niño 3.4. Es decir, no se aprecia teleconexión en la frecuencia de ocurrencia de eventos de la variable temperatura mínima con respecto a la temperatura superficial del mar en el Pacífico tropical.
6. Se aprecia una buena relación lineal inversa entre el índice *promedio de precipitación total (pav)*, con respecto a las anomalías de la temperatura superficial del mar en el Pacífico tropical (Niño 3.4) para el periodo trimestral JJA y menor medida para el periodo DEF. Esto implica que ante un fenómeno La Niña (anomalías negativas), la magnitud del promedio de la precipitación total tiende a aumentar para el periodo JJA y en menor medida se afecta el periodo DEF, sobre buena parte del departamento de Cundinamarca, y ante un evento El Niño, la magnitud tiende a disminuir. Se aprecia una débil señal de teleconexión para el periodo trimestral SON, mientras que para MAM no se aprecia afección en su promedio de precipitación total con respecto a las variaciones de la temperatura superficial del mar en el Pacífico tropical.
7. Se aprecia una buena relación lineal inversa entre los índices *promedio de precipitación para los*

*días húmedos (pint)* y el percentil 90 de los días húmedos (*pq90 - precipitaciones extremas*), con respecto a las anomalías de la temperatura superficial del mar en el Pacífico tropical (Niño 3.4) para el periodo trimestral JJA, lo que implica que ante un fenómeno La Niña, la magnitud del *promedio de la precipitación para los días húmedos (pint)* y de la *precipitación extrema (pq90)* tiende a aumentar y ante un evento El Niño, la magnitud tiende a disminuir, esto para buena parte del departamento de Cundinamarca y en especial hacia el centro y norte del departamento y para sitios ubicados por encima de los 2500 m.s.n.m. Los periodos trimestrales DEF, MAM y SON presentan una débil señal de relación lineal inversa de la *precipitación extrema (pq90)* con respecto a las variaciones en la temperatura superficial del mar en el Pacífico tropical, mientras que el *promedio de precipitación para días húmedos* no presenta relación lineal inversa para los periodos DEF y MAM ante las variaciones de la temperatura superficial del mar en el Pacífico tropical.

8. No se aprecia señal de teleconexión para los periodos trimestrales MAM y JJA entre los *máximos acumulados de precipitación en 5 días consecutivos (px5d)* y las variaciones de la temperatura superficial del mar en el Pacífico tropical; mientras que para los periodos DEF y SON se aprecia una débil relación lineal inversa. Esto implica que el fenómeno ENOS tiene poca o nula afección en los acumulados de precipitación en 5 días.

9. No se aprecia señal de teleconexión para los periodos trimestrales DEF y MAM entre la *fracción promedio de precipitación extremas (pfl90)* con respecto a las variaciones de la temperatura superficial del mar en el Pacífico tropical, mientras que para los periodos JJA y SON se aprecia una débil relación lineal inversa.

10. Se aprecia una aceptable relación lineal inversa para el *máximo de días consecutivos húmedos (pxcwd)* en el periodo DEF con respecto a las variaciones de la temperatura superficial del mar en el Pacífico tropical, mientras que para los periodos JJA y SON se muestra una señal más débil y para el periodo MAM no se encuentra señal de teleconexión. Por su parte, el *máximo de días consecutivos secos (pxcdd)* presenta una débil señal para los periodos MAM y JJA, mientras que para DEF y SON no se aprecia señal de teleconexión.

11. Se aprecia una buena relación lineal inversa para el periodo JJA en la frecuencia de ocurrencia en el *N.º de días con precipitación mayor a 10mm (pn10mm)* y en los *Eventos de precipitación extrema en el largo plazo (pnl90)* con respecto a las variaciones en la temperatura superficial del mar en el Pacífico tropical. Por su parte, los periodos DEF y SON presentan relaciones lineales inversas más débiles en comparación con el periodo JJA. Esto muestra que ante un fenómeno La Niña, la frecuencia de estos dos eventos (pn10mm y pnl90) tiende a aumentar (en especial para JJA y en menor medida para DEF y SON) y ante un fenómeno El Niño, la frecuencia tiende a disminuir. Se destaca que para el periodo trimestral MAM no se aprecia señal de teleconexión entre estas variables.

# BIBLIOGRAFÍA

[Grajales(a),2013] Grajales F., 2013. Análisis de índices de Extremos Climáticos mediante RClimdex y Stardex. Proyecto PRICC, región Capital Bogotá- Cundinamarca. Enero de 2013.

[Grajales(b),2013] Grajales F., 2013. Algunas señales de cambio climático por medio del monitoreo de Índices de Extremos Climáticos - STARDEX para la región Bogotá - Cundinamarca. Septiembre de 2013.

[Climate Prediction Center] Climate Prediction Center Internet Team. NOAA/National Weather Service NOAA Center for Weather and Climate Prediction Climate Prediction Center. Extraído de: <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/ersst3b.nino.mth.81-10.ascii> en Septiembre 2013.

[Goodess(a),2005] Clare Goodess. *Statistical and Regional Dynamical Downscaling of Extremes for European regions. STARDEX*. Climatic Research Unit, University of East Anglia. 2005.

[Stardex,2004] Malcolm Haylock. Stardex Core indices. 2004.

[CRU,2005] Goodess C.M., Anagnostopoulou C., Bárdossy A., Frei C., Harpham C., Haylock M.R., Hündecha Y., Maheras P., Ribalaygua J., Schmidli J., Schmith T., Tolika K., Tomozeiu R. and Wilby R.L. *An intercomparison of statistical downscaling methods for Europe and European regions – assessing their performance with respect to extreme temperature and precipitation events*. Climatic Research Unit School of Environmental Sciences University of East Anglia. Chapter 2.3. 2012.

[Goodess(b),2005] Goodess Clare, 2005. Diagnostic\_tool.pdf. Extraído de: <http://www.cru.uea.ac.uk/projects/stardex/> en Octubre 2012.

[STARDEX, 2005] STARDEX, downscaling climate extremes. Final Report. *Can these changes in extremes be related to changes in circulation and other aspects of the atmosphere?*. Climatic Research Unit School of Environmental Sciences University of East Anglia. United Kingdom.

[Rodríguez, 2010] Rodríguez Roa A. (2010), *Evaluación de los modelos globales del clima utilizados para la generación de escenarios de cambio climático con el clima presente en Colombia*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM, Subdirección de Meteorología, Bogotá, D. C.

[IPCC 2011] IPCC, (2011). Definition of Terms Used Within the Data Distribution Centre -DDC- Pages. Tomado en noviembre de 2012: [http://www.ipcc-data.org/ddc\\_definitions.html](http://www.ipcc-data.org/ddc_definitions.html).

[Montealegre y Pabón 1999] Montealegre J.E., Pabón J.D., (1999). *La variabilidad climática interanual asociada al ciclo el niño, la niña – oscilación del sur y su efecto en el patrón pluviométrico de Colombia*. Universidad Nacional de Colombia, Marzo 1999.

[Serna 2013] Serna Cuenca N.J.J., *Efecto de los fenómenos El Niño y La Niña sobre la frecuencia de los eventos de precipitación extrema en la Sabana de Bogotá*. Tesis. Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ciencias, Departamento de Geociencias Bogotá D.C, Colombia. 2013.

[Montealegre 2013] Montealegre Bocanegra J.E., *Determinación de las alteraciones de la Precipitación y la Temperatura del aire durante los fenómenos El Niño y La Niña, con base en los datos históricos de las estaciones Meteorológicas en la Región Capital (Bogotá Y Cundinamarca), para actualizar los resultados del modelo del IDEAM*. Proyecto Regional Intergral de Cambio Climático PRICC. 2012.

# ANEXOS:

Tablas de correlación entre índices de extremos climáticos y anomalías de la temperatura superficial del mar en el Pacífico tropical región Niño 3.

Nota: Los índices de extremos climáticos *tnw10* y *tnf10* no reportaron datos de correlación con significancia estadística mínima al 90 % válida.

TABLA 5.1: CORRELACIÓN PARA ÍNDICE PAV - NIÑO 3

(a) Significancia al 90 %

| No. | Código   | Cat | Nombre             | Municipio        | Departamento | Longitud | Latitud | Elev | Periodo | Correlación | No. Datos | P-value Tendecia |
|-----|----------|-----|--------------------|------------------|--------------|----------|---------|------|---------|-------------|-----------|------------------|
| 1   | 21205590 | SS  | Apto Guaymaral     | Bogota DC        | Bogota DC    | -74,083  | 4,817   | 2560 | SON     | -0.41       | 28        | 0,007            |
| 2   | 21205710 | CO  | Jardin Botanico    | Bogota DC        | Bogota DC    | -74,103  | 4,669   | 2552 | DEF     | -0.54       | 18        | 0,011            |
| 3   | 21205710 | CO  | Jardin Botanico    | Bogota DC        | Bogota DC    | -74,103  | 4,669   | 2552 | JJA     | -0.52       | 21        | 0,080            |
| 4   | 21205770 | CO  | Base Aerea Madrid  | Madrid           | C/marca      | -74,273  | 4,729   | 2550 | JJA     | -0.42       | 27        | 0,091            |
| 5   | 21205980 | CO  | Providencia Gja    | Tenjo            | C/marca      | -74,201  | 4,792   | 2560 | JJA     | -0.54       | 28        | 0,075            |
| 6   | 23065070 | CO  | Esc Vocacional     | Pacho            | C/marca      | -74,200  | 5,167   | 1940 | Anual   | -0.42       | 28        | 0,048            |
| 7   | 23065110 | CO  | Yacopi             | Yacopi           | C/marca      | -74,355  | 5,484   | 1347 | DEF     | -0.48       | 26        | 0,061            |
| 8   | 23065120 | CO  | Cabrera La         | Pacho            | C/marca      | -74,139  | 5,142   | 2000 | DEF     | -0.52       | 26        | 0,090            |
| 9   | 24015120 | CP  | Isla del Santuario | Fuquene          | C/marca      | -73,735  | 5,467   | 2580 | JJA     | -0.49       | 25        | 0,025            |
| 10  | 24015120 | CP  | Isla del Santuario | Fuquene          | C/marca      | -73,735  | 5,467   | 2580 | SON     | -0.41       | 28        | 0,089            |
| 11  | 24015120 | CP  | Isla del Santuario | Fuquene          | C/marca      | -73,735  | 5,467   | 2580 | Anual   | -0.55       | 27        | 0,032            |
| 12  | 21200510 | PG  | Sibate Apostolica  | Sibate           | C/marca      | -74,250  | 4,517   | 2618 | JJA     | -0.55       | 25        | 0,032            |
| 13  | 21200600 | PG  | Guarani El Penon   | Sibate           | C/marca      | -74,300  | 4,433   | 2800 | JJA     | -0.50       | 29        | 0,013            |
| 14  | 21200770 | PM  | Torca              | Bogota DC        | Bogota DC    | -74,033  | 4,783   | 2579 | DEF     | -0.49       | 21        | 0,016            |
| 15  | 21200960 | PG  | Consuelo El        | Sesquile         | C/marca      | -73,783  | 4,983   | 2960 | SON     | -0.39       | 20        | 0,069            |
| 16  | 21201210 | PM  | Hato El            | Tenjo            | C/marca      | -74,154  | 4,867   | 2575 | JJA     | -0.54       | 31        | 0,013            |
| 17  | 21201220 | PM  | Sta Cruz de Siecha | Guasca           | C/marca      | -73,871  | 4,784   | 3100 | JJA     | -0.39       | 28        | 0,089            |
| 18  | 21201330 | PG  | Local El           | Sesquile         | C/marca      | -73,700  | 4,983   | 2950 | SON     | -0.38       | 23        | 0,009            |
| 19  | 21201580 | PM  | Pasquilla          | Bogota DC        | Bogota DC    | -74,155  | 4,447   | 3000 | DEF     | -0.49       | 27        | 0,058            |
| 20  | 23120240 | PM  | Paima              | Paima            | C/marca      | -74,155  | 5,371   | 1038 | DEF     | -0.42       | 29        | 0,012            |
| 21  | 24010520 | PM  | Hato 1 El          | Carmen de Carupa | C/marca      | -73,917  | 5,283   | 2985 | JJA     | -0.41       | 21        | 0,019            |
| 22  | 35070490 | PM  | Hato Grande Hda    | Manta            | C/marca      | -73,584  | 4,959   | 2346 | DEF     | -0.63       | 22        | 0,019            |
| 23  | 21190310 | PM  | Pinar El           | Fusagasuga       | C/marca      | -74,330  | 4,388   | 1900 | JJA     | -0.62       | 29        | 0,099            |
| 24  | 21200310 | PM  | Cerro de Suba      | Bogota DC        | Bogota DC    | -74,067  | 4,750   | 2691 | JJA     | -0.61       | 30        | 0,061            |

(b) Significancia mínima al 95 %

| No. | Código   | Cat | Nombre             | Municipio | Departamento | Longitud | Latitud | Elev | Periodo | Correlación | No. Datos | P-value Tendecia |
|-----|----------|-----|--------------------|-----------|--------------|----------|---------|------|---------|-------------|-----------|------------------|
| 1   | 21205710 | CO  | Jardin Botanico    | Bogota DC | Bogota DC    | -74,103  | 4,669   | 2552 | DEF     | -0.54       | 18        | 0,011            |
| 2   | 24015120 | CP  | Isla del Santuario | Fuquene   | C/marca      | -73,735  | 5,467   | 2580 | JJA     | -0.49       | 25        | 0,025            |
| 3   | 24015120 | CP  | Isla del Santuario | Fuquene   | C/marca      | -73,735  | 5,467   | 2580 | Anual   | -0.55       | 27        | 0,032            |
| 4   | 21200510 | PG  | Sibate Apostolica  | Sibate    | C/marca      | -74,250  | 4,517   | 2618 | JJA     | -0.55       | 25        | 0,032            |
| 5   | 21200600 | PG  | Guarani El Penon   | Sibate    | C/marca      | -74,300  | 4,433   | 2800 | JJA     | -0.50       | 29        | 0,013            |
| 6   | 21200770 | PM  | Torca              | Bogota DC | Bogota DC    | -74,033  | 4,783   | 2579 | DEF     | -0.49       | 21        | 0,016            |
| 7   | 21201210 | PM  | Hato El            | Tenjo     | Cundinamarca | -74,154  | 4,867   | 2575 | JJA     | -0.54       | 31        | 0,013            |
| 8   | 35070490 | PM  | Hato Grande Hda    | Manta     | Cundinamarca | -73,584  | 4,959   | 2346 | DEF     | -0.63       | 22        | 0,019            |

TABLA 5.2: CORRELACIÓN PARA ÍNDICE PFL90 - NIÑO 3

(a) Significancia al 90 %

| No. | Código   | Cat | Nombre    | Municipio | Departamento | Longitud | Latitud | Elev | Periodo | Correlación | No. Datos | P-value Tendencia |
|-----|----------|-----|-----------|-----------|--------------|----------|---------|------|---------|-------------|-----------|-------------------|
| 1   | 21201360 | PM  | Sta Ines  | Tenjo     | C/marca      | -74,133  | 4,817   | 2550 | JJA     | -0.43       | 24        | 0.078             |
| 2   | 35060170 | PM  | Tasajeras | Gacheta   | C/marca      | -73,600  | 4,886   | 2502 | MAM     | -0.48       | 30        | 0.054             |
| 3   | 21195100 | CO  | Sopas Las | Bogota DC | Bogota DC    | -74,200  | 4,150   | 3200 | SON     | -0.38       | 27        | 0.100             |

(b) Significancia al 95 %

| No. | Código   | Cat | Nombre    | Municipio | Departamento | Longitud | Latitud | Elev | Periodo | Correlación | No. Datos | P-value Tendencia |
|-----|----------|-----|-----------|-----------|--------------|----------|---------|------|---------|-------------|-----------|-------------------|
| 1   | 35060170 | PM  | Tasajeras | Gacheta   | C/marca      | -73,600  | 4,886   | 2502 | MAM     | -0.48       | 30        | 0.054             |

TABLA 5.3: CORRELACIÓN PARA ÍNDICE PINT - NIÑO 3

(a) Significancia al 90 %

| No. | Código   | Cat | Nombre            | Municipio        | Departamento | Longitud | Latitud | Elev | Periodo | Correlación | No. Datos | P-value Tendencia |
|-----|----------|-----|-------------------|------------------|--------------|----------|---------|------|---------|-------------|-----------|-------------------|
| 1   | 21205400 | CP  | Checua-Nemocon    | Nemocon          | C/marca      | -73,867  | 5,117   | 2580 | JJA     | -0.38       | 20        | 0.052             |
| 2   | 21205590 | SS  | Apto Guaymaral    | Bogota DC        | Bogota DC    | -74,083  | 4,817   | 2560 | JJA     | -0.43       | 24        | 0.033             |
| 3   | 21205620 | CP  | Guatavita         | Guatavita        | C/marca      | -73,367  | 4,883   | 2625 | Anual   | -0.40       | 23        | 0.054             |
| 4   | 21205980 | CO  | Providencia Gja   | Tenjo            | C/marca      | -74,201  | 4,792   | 2560 | JJA     | -0.49       | 28        | 0.069             |
| 5   | 24015150 | CO  | Carrizal          | Cucunuba         | C/marca      | -73,767  | 5,200   | 2860 | Anual   | -0.40       | 23        | 0.032             |
| 6   | 21200510 | PG  | Sibate Apostolica | Sibate           | C/marca      | -74,250  | 4,517   | 2618 | JJA     | -0.44       | 25        | 0.005             |
| 7   | 21201360 | PM  | Sta Ines          | Tenjo            | C/marca      | -74,133  | 4,817   | 2550 | JJA     | -0.38       | 24        | 0.083             |
| 8   | 24010370 | PM  | Socota            | Carmen de Carupa | C/marca      | -73,917  | 5,400   | 3080 | JJA     | -0.56       | 22        | 0.030             |
| 9   | 24010370 | PM  | Socota            | Carmen de Carupa | C/marca      | -73,917  | 5,400   | 3080 | Anual   | -0.47       | 23        | 0.028             |
| 10  | 21195100 | CO  | Sopas Las         | Bogota DC        | Bogota DC    | -74,200  | 4,150   | 3200 | SON     | -0.41       | 27        | 0.021             |

(b) Significancia al 95 %

| No. | Código   | Cat | Nombre            | Municipio        | Departamento | Longitud | Latitud | Elev | Periodo | Correlación | No. Datos | P-value Tendencia |
|-----|----------|-----|-------------------|------------------|--------------|----------|---------|------|---------|-------------|-----------|-------------------|
| 1   | 21200510 | PG  | Sibate Apostolica | Sibate           | C/marca      | -74,250  | 4,517   | 2618 | JJA     | -0.44       | 25        | 0.005             |
| 2   | 24010370 | PM  | Socota            | Carmen de Carupa | C/marca      | -73,917  | 5,400   | 3080 | JJA     | -0.56       | 22        | 0.030             |
| 3   | 24010370 | PM  | Socota            | Carmen de Carupa | C/marca      | -73,917  | 5,400   | 3080 | Anual   | -0.47       | 23        | 0.028             |

TABLA 5.4: CORRELACIÓN PARA ÍNDICE PN10MM - NIÑO 3

(a) Significancia al 90 %

| No. | Código   | Cat | Nombre             | Municipio | Departamento | Longitud | Latitud | Elev | Periodo | Correlación | No. Datos | P-value Tendencia |
|-----|----------|-----|--------------------|-----------|--------------|----------|---------|------|---------|-------------|-----------|-------------------|
| 1   | 21195060 | CO  | Pandi              | Pandi     | C/marca      | -74.487  | 4.193   | 950  | DEF     | -0.39       | 27        | 0.075             |
| 2   | 21205590 | SS  | Apto Guaymaral     | Bogota DC | Bogota DC    | -74.083  | 4.817   | 2560 | SON     | -0.40       | 28        | 0.013             |
| 3   | 21205660 | CO  | Mercedes Las       | Anapoima  | C/marca      | -74.527  | 4.582   | 810  | JJA     | -0.67       | 27        | 0.072             |
| 4   | 21205710 | CO  | Jardin Botanico    | Bogota DC | Bogota DC    | -74.103  | 4.669   | 2552 | DEF     | -0.45       | 18        | 0.005             |
| 5   | 21205980 | CO  | Providencia Gja    | Tenjo     | C/marca      | -74.201  | 4.792   | 2560 | DEF     | -0.47       | 26        | 0.071             |
| 6   | 21205980 | CO  | Providencia Gja    | Tenjo     | C/marca      | -74.201  | 4.792   | 2560 | Anual   | -0.56       | 26        | 0.052             |
| 7   | 23065120 | CO  | Cabrera La         | Pacho     | C/marca      | -74.139  | 5.142   | 2000 | DEF     | -0.43       | 26        | 0.033             |
| 8   | 24015120 | CP  | Isla del Santuario | Fuquene   | C/marca      | -73.735  | 5.467   | 2580 | JJA     | -0.44       | 25        | 0.010             |
| 9   | 24015120 | CP  | Isla del Santuario | Fuquene   | C/marca      | -73.735  | 5.467   | 2580 | Anual   | -0.50       | 27        | 0.068             |
| 10  | 21200510 | PG  | Sibate Apostolica  | Sibate    | C/marca      | -74.250  | 4.517   | 2618 | JJA     | -0.44       | 25        | 0.086             |
| 11  | 21200600 | PG  | Guarani El Penon   | Sibate    | C/marca      | -74.300  | 4.433   | 2800 | Anual   | -0.38       | 29        | 0.020             |
| 12  | 21200770 | PM  | Torca              | Bogota DC | Bogota DC    | -74.033  | 4.783   | 2579 | DEF     | -0.42       | 21        | 0.006             |
| 13  | 21200800 | PG  | San Jose           | Guasca    | C/marca      | -73.900  | 4.983   | 2700 | SON     | -0.42       | 25        | 0.015             |
| 14  | 21200800 | PG  | San Jose           | Guasca    | C/marca      | -73.900  | 4.983   | 2700 | Anual   | -0.39       | 25        | 0.006             |
| 15  | 21201060 | PG  | Pantano Redondo f  | Zipaquirá | C/marca      | -74.033  | 5.043   | 3160 | JJA     | -0.44       | 28        | 0.069             |
| 16  | 21201210 | PM  | Hato El            | Tenjo     | C/marca      | -74.154  | 4.867   | 2575 | JJA     | -0.47       | 31        | 0.050             |
| 17  | 35070490 | PM  | Hato Grande Hda    | Manta     | C/marca      | -73.584  | 4.959   | 2346 | DEF     | -0.49       | 22        | 0.032             |
| 18  | 21200310 | PM  | Cerro de Suba      | Bogota DC | Bogota DC    | -74.067  | 4.750   | 2691 | JJA     | -0.47       | 30        | 0.047             |
| 19  | 21200520 | PM  | Sta Lucia          | Bogota DC | Bogota DC    | -74.117  | 4.567   | 2630 | DEF     | -0.54       | 29        | 0.066             |
| 20  | 35060050 | PM  | Junin              | Junin     | C/marca      | -73.669  | 4.792   | 2323 | SON     | -0.43       | 29        | 0.050             |
| 21  | 21205650 | CP  | Tabio              | Tabio     | C/marca      | -73.933  | 4.767   | 2620 | Anual   | -0.39       | 27        | 0.011             |

(b) Significancia al 95 %

| No. | Código   | Cat | Nombre          | Municipio | Departamento | Longitud | Latitud | Elev | Periodo | Correlación | No. Datos | P-value Tendencia |
|-----|----------|-----|-----------------|-----------|--------------|----------|---------|------|---------|-------------|-----------|-------------------|
| 1   | 21205710 | CO  | Jardin Botanico | Bogota DC | Bogota DC    | -74.103  | 4.669   | 2552 | DEF     | -0.45       | 18        | 0.005             |
| 2   | 21205980 | CO  | Providencia Gja | Tenjo     | C/marca      | -74.201  | 4.792   | 2560 | Anual   | -0.56       | 26        | 0.052             |
| 3   | 21201210 | PM  | Hato El         | Tenjo     | C/marca      | -74.154  | 4.867   | 2575 | JJA     | -0.47       | 31        | 0.050             |
| 4   | 35070490 | PM  | Hato Grande Hda | Manta     | C/marca      | -73.584  | 4.959   | 2346 | DEF     | -0.49       | 22        | 0.032             |
| 5   | 21200310 | PM  | Cerro de Suba   | Bogota DC | Bogota DC    | -74.067  | 4.750   | 2691 | JJA     | -0.47       | 30        | 0.047             |

TABLA 7.5: CORRELACIÓN PARA ÍNDICE PNL90 - NIÑO 3

(a) Significancia al 90 %

| No. | Código   | Cat | Nombre            | Municipio        | Departamento | Longitud | Latitud | Elev | Periodo | Correlación | No. Datos | P-value Tendencia |
|-----|----------|-----|-------------------|------------------|--------------|----------|---------|------|---------|-------------|-----------|-------------------|
| 1   | 21205710 | CO  | Jardin Botanico   | Bogota DC        | Bogota DC    | -74.103  | 4.669   | 2552 | DEF     | -0.47       | 18        | 0.003             |
| 2   | 21200510 | PG  | Sibate Apostolica | Sibate           | C/marca      | -74.250  | 4.517   | 2618 | JJA     | -0.44       | 25        | 0.086             |
| 3   | 21200800 | PG  | San Jose          | Guasca           | C/marca      | -73.900  | 4.983   | 2700 | SON     | -0.40       | 25        | 0.035             |
| 4   | 21201590 | PG  | Alco              | Zipaquirá        | C/marca      | -74.000  | 4.900   | 2590 | JJA     | -0.43       | 23        | 0.084             |
| 5   | 24010520 | PM  | Hato 1 El         | Carmen de Carupa | C/marca      | -73.917  | 5.283   | 2985 | JJA     | -0.51       | 21        | 0.048             |
| 6   | 24010530 | PM  | Hato 2 El         | Carmen de Carupa | C/marca      | -73.917  | 5.267   | 2974 | JJA     | -0.40       | 24        | 0.054             |
| 7   | 35060160 | PM  | Potreritos        | Guatavita        | C/marca      | -73.769  | 4.829   | 2802 | SON     | -0.40       | 29        | 0.023             |
| 8   | 21200520 | PM  | Sta Lucia         | Bogota DC        | Bogota DC    | -74.117  | 4.567   | 2630 | DEF     | -0.38       | 29        | 0.071             |
| 9   | 21195100 | CO  | Sopas Las         | Bogota DC        | Bogota DC    | -74.200  | 4.150   | 3200 | SON     | -0.44       | 27        | 0.061             |

(b) Significancia al 95 %

| No. | Código   | Cat | Nombre          | Municipio        | Departamento | Longitud | Latitud | Elev | Periodo | Correlación | No. Datos | P-value Tendencia |
|-----|----------|-----|-----------------|------------------|--------------|----------|---------|------|---------|-------------|-----------|-------------------|
| 1   | 21205710 | CO  | Jardin Botanico | Bogota DC        | Bogota DC    | -74,103  | 4,669   | 2552 | DEF     | -0,47       | 18        | 0,003             |
| 2   | 24010520 | PM  | Hato 1 El       | Carmen de Carupa | C/marca      | -73,917  | 5,283   | 2985 | JJA     | -0,51       | 21        | 0,048             |

TABLA 5.6: CORRELACIÓN PARA ÍNDICE PQ90 - NIÑO 3

(a) Significancia al 90 %

| No. | Código   | Cat | Nombre             | Municipio | Departamento | Longitud | Latitud | Elev | Periodo | Correlación | No. Datos | P-value Tendencia |
|-----|----------|-----|--------------------|-----------|--------------|----------|---------|------|---------|-------------|-----------|-------------------|
| 1   | 21195070 | CO  | Pasca              | Pasca     | C/marca      | -74,312  | 4,310   | 2256 | JJA     | -0,39       | 27        | 0,030             |
| 2   | 21205790 | SP  | Apto El Dorado     | Bogota DC | Bogota DC    | -74,151  | 4,706   | 2547 | JJA     | -0,39       | 30        | 0,061             |
| 3   | 24015120 | CP  | Isla del Santuario | Fuquene   | C/marca      | -73,735  | 5,467   | 2580 | JJA     | -0,40       | 25        | 0,040             |
| 4   | 24015150 | CO  | Carrizal           | Cucunuba  | C/marca      | -73,767  | 5,200   | 2860 | DEF     | -0,46       | 18        | 0,075             |
| 5   | 21200510 | PG  | Sibate Apostolica  | Sibate    | C/marca      | -74,250  | 4,517   | 2618 | JJA     | -0,45       | 24        | 0,033             |
| 6   | 21200800 | PG  | San Jose           | Guasca    | C/marca      | -73,900  | 4,983   | 2700 | DEF     | -0,48       | 21        | 0,046             |
| 7   | 35060130 | PM  | Minas Las          | Gachala   | C/marca      | -73,482  | 4,675   | 2003 | MAM     | -0,45       | 30        | 0,076             |
| 8   | 35060160 | PM  | Potreros           | Guatavita | C/marca      | -73,769  | 4,829   | 2802 | SON     | -0,45       | 29        | 0,080             |

(b) Significancia al 95 %

| No. | Código   | Cat | Nombre            | Municipio | Departamento | Longitud | Latitud | Elev | Periodo | Correlación | No. Datos | P-value Tendencia |
|-----|----------|-----|-------------------|-----------|--------------|----------|---------|------|---------|-------------|-----------|-------------------|
| 1   | 21200510 | PG  | Sibate Apostolica | Sibate    | C/marca      | -74,250  | 4,517   | 2618 | JJA     | -0,45       | 24        | 0,033             |
| 2   | 21200800 | PG  | San Jose          | Guasca    | C/marca      | -73,900  | 4,983   | 2700 | DEF     | -0,48       | 21        | 0,046             |

TABLA 5.7: CORRELACIÓN PARA ÍNDICE PX5D - NIÑO 3

(a) Significancia al 90 %

| No. | Código   | Cat | Nombre          | Municipio | Departamento | Longitud | Latitud | Elev | Periodo | Correlación | No. Datos | P-value Tendencia |
|-----|----------|-----|-----------------|-----------|--------------|----------|---------|------|---------|-------------|-----------|-------------------|
| 1   | 21201590 | PG  | Alco            | Zipaquira | C/marca      | -74,000  | 4,900   | 2590 | DEF     | -0,39       | 21        | 0,061             |
| 2   | 23120240 | PM  | Paime           | Paime     | C/marca      | -74,155  | 5,371   | 1038 | SON     | -0,40       | 28        | 0,069             |
| 3   | 35070490 | PM  | Hato Grande Hda | Manta     | C/marca      | -73,584  | 4,959   | 2346 | DEF     | -0,49       | 22        | 0,052             |

(b) Significancia al 95 %

| No. | Código   | Cat | Nombre          | Municipio | Departamento | Longitud | Latitud | Elev | Periodo | Correlación | No. Datos | P-value Tendencia |
|-----|----------|-----|-----------------|-----------|--------------|----------|---------|------|---------|-------------|-----------|-------------------|
| 1   | 35070490 | PM  | Hato Grande Hda | Manta     | C/marca      | -73,584  | 4,959   | 2346 | DEF     | -0,49       | 22        | 0,052             |

TABLA 5.8: CORRELACIÓN PARA ÍNDICE PXCDD - NIÑO 3

(a) Significancia al 90 %

| No. | Código   | Cat | Nombre          | Municipio | Departamento | Longitud | Latitud | Elev | Periodo | Correlación | No. Datos | P-value Tendencia |
|-----|----------|-----|-----------------|-----------|--------------|----------|---------|------|---------|-------------|-----------|-------------------|
| 1   | 21200850 | PG  | Cisaca          | Bogota DC | Bogota DC    | -74,083  | 4,483   | 2880 | MAM     | -0,44       | 23        | 0,050             |
| 2   | 21200080 | PM  | Arrayan-San Fco | Bogota DC | Bogota DC    | -74,033  | 4,583   | 3047 | MAM     | -0,41       | 28        | 0,087             |

TABLA 5.9: CORRELACIÓN PARA ÍNDICE PXCWD - NIÑO 3

(a) Significancia al 90 %

| No. | Código   | Cat | Nombre             | Municipio | Departamento | Longitud | Latitud | Elev | Periodo | Correlación | No. Datos | P-value Tendencia |
|-----|----------|-----|--------------------|-----------|--------------|----------|---------|------|---------|-------------|-----------|-------------------|
| 1   | 24015120 | CP  | Isla del Santuario | Fuquene   | C/marca      | -73,735  | 5,467   | 2580 | DEF     | -0,50       | 25        | 0,040             |
| 2   | 21190090 | PM  | Cabrera            | Cabrera   | C/marca      | -74,484  | 3,987   | 1900 | JJA     | -0,38       | 30        | 0,093             |
| 3   | 21200600 | PG  | Guarani El Penon   | Sibate    | C/marca      | -74,300  | 4,433   | 2800 | DEF     | -0,51       | 29        | 0,073             |
| 4   | 23120240 | PM  | Paime              | Paime     | C/marca      | -74,155  | 5,371   | 1038 | DEF     | -0,46       | 29        | 0,009             |
| 5   | 23120240 | PM  | Paime              | Paime     | C/marca      | -74,155  | 5,371   | 1038 | JJA     | -0,47       | 31        | 0,045             |

(b) Significancia al 90 %

| No. | Código   | Cat | Nombre             | Municipio | Departamento | Longitud | Latitud | Elev | Periodo | Correlación | No. Datos | P-value Tendencia |
|-----|----------|-----|--------------------|-----------|--------------|----------|---------|------|---------|-------------|-----------|-------------------|
| 1   | 24015120 | CP  | Isla del Santuario | Fuquene   | C/marca      | -73,735  | 5,467   | 2580 | DEF     | -0,50       | 25        | 0,040             |
| 2   | 23120240 | PM  | Paime              | Paime     | C/marca      | -74,155  | 5,371   | 1038 | DEF     | -0,46       | 29        | 0,009             |
| 3   | 23120240 | PM  | Paime              | Paime     | C/marca      | -74,155  | 5,371   | 1038 | JJA     | -0,47       | 31        | 0,045             |

TABLA 5.10: CORRELACIÓN PARA ÍNDICE TNAV - NIÑO 3

(a) Significancia al 90 %

| No. | Código   | Cat | Nombre            | Municipio | Departamento | Longitud | Latitud | Elev | Periodo | Correlación | No. Datos | P-value Tendencia |
|-----|----------|-----|-------------------|-----------|--------------|----------|---------|------|---------|-------------|-----------|-------------------|
| 1   | 21195070 | CO  | Pasca             | Pasca     | C/marca      | -74,312  | 4,310   | 2256 | DEF     | 0,38        | 24        | 0,003             |
| 2   | 21205580 | CO  | Venado Oro Vivero | Bogota DC | Bogota DC    | -74,062  | 4,598   | 2725 | MAM     | 0,55        | 19        | 0,087             |
| 3   | 21205790 | SP  | Apto El Dorado    | Bogota DC | Bogota DC    | -74,151  | 4,706   | 2547 | MAM     | 0,38        | 29        | 0,012             |
| 4   | 21205980 | CO  | Providencia Gja   | Tenjo     | C/marca      | -74,201  | 4,792   | 2560 | MAM     | 0,40        | 31        | 0,001             |
| 5   | 21195030 | CP  | Granja Ticabuy    | Tibacuy   | C/marca      | -74,417  | 4,350   | 1550 | DEF     | 0,50        | 30        | 0,003             |
| 6   | 21195030 | CP  | Granja Ticabuy    | Tibacuy   | C/marca      | -74,417  | 4,350   | 1550 | MAM     | 0,44        | 31        | 0,000             |

(b) Significancia al 90 %

| No. | Código   | Cat | Nombre         | Municipio | Departamento | Longitud | Latitud | Elev | Periodo | Correlación | No. Datos | P-value Tendencia |
|-----|----------|-----|----------------|-----------|--------------|----------|---------|------|---------|-------------|-----------|-------------------|
| 1   | 21195030 | CP  | Granja Ticabuy | Tibacuy   | C/marca      | -74,417  | 4,350   | 1550 | DEF     | 0,50        | 30        | 0,003             |
| 2   | 21195030 | CP  | Granja Ticabuy | Tibacuy   | C/marca      | -74,417  | 4,350   | 1550 | MAM     | 0,44        | 31        | 0,000             |

TABLA 5.11: CORRELACIÓN PARA ÍNDICE TNQ10 - NIÑO 3

(a) Significancia al 90 %

| No. | Código   | Cat | Nombre            | Municipio | Departamento | Longitud | Latitud | Elev | Periodo | Correlación | No. Datos | P-value Tendencia |
|-----|----------|-----|-------------------|-----------|--------------|----------|---------|------|---------|-------------|-----------|-------------------|
| 1   | 21205580 | CO  | Venado Oro Vivero | Bogota DC | Bogota DC    | -74,062  | 4,598   | 2725 | MAM     | 0,39        | 19        | 0,011             |
| 2   | 21195030 | CP  | Granja Ticabuy    | Tibacuy   | C/marca      | -74,417  | 4,350   | 1550 | MAM     | 0,39        | 31        | 0,000             |

TABLA 5.12: CORRELACIÓN PARA ÍNDICE TXAV - NIÑO 3

(a) Significancia al 90 %

| No. | Código   | Cat | Nombre             | Municipio | Departamento | Longitud | Latitud | Elev | Periodo | Correlación | No. Datos | P-value Tendencia |
|-----|----------|-----|--------------------|-----------|--------------|----------|---------|------|---------|-------------|-----------|-------------------|
| 1   | 21195070 | CO  | Pasca              | Pasca     | C/marca      | -74,312  | 4,310   | 2256 | DEF     | 0,55        | 21        | 0,003             |
| 2   | 21205420 | AM  | Tibaitata          | Mosquera  | C/marca      | -74,209  | 4,691   | 2543 | DEF     | 0,57        | 28        | 0,007             |
| 3   | 21205420 | AM  | Tibaitata          | Mosquera  | C/marca      | -74,209  | 4,691   | 2543 | MAM     | 0,41        | 29        | 0,003             |
| 4   | 21205420 | AM  | Tibaitata          | Mosquera  | C/marca      | -74,209  | 4,691   | 2543 | JJA     | 0,39        | 29        | 0,000             |
| 5   | 21205700 | CO  | Guasca             | Guasca    | C/marca      | -73,868  | 4,880   | 2750 | DEF     | 0,47        | 21        | 0,019             |
| 6   | 21205710 | CO  | Jardin Botanico    | Bogota DC | Bogota DC    | -74,103  | 4,669   | 2552 | JJA     | 0,49        | 20        | 0,060             |
| 7   | 21205980 | CO  | Providencia Gja    | Tenjo     | C/marca      | -74,201  | 4,792   | 2560 | JJA     | 0,51        | 23        | 0,000             |
| 8   | 21205980 | CO  | Providencia Gja    | Tenjo     | C/marca      | -74,201  | 4,792   | 2560 | SON     | 0,55        | 24        | 0,029             |
| 9   | 21205980 | CO  | Providencia Gja    | Tenjo     | C/marca      | -74,201  | 4,792   | 2560 | Anual   | 0,45        | 24        | 0,001             |
| 10  | 23065110 | CO  | Yacopi             | Yacopi    | C/marca      | -74,355  | 5,484   | 1347 | DEF     | 0,63        | 25        | 0,013             |
| 11  | 23065110 | CO  | Yacopi             | Yacopi    | C/marca      | -74,355  | 5,484   | 1347 | JJA     | 0,63        | 23        | 0,025             |
| 12  | 23065110 | CO  | Yacopi             | Yacopi    | C/marca      | -74,355  | 5,484   | 1347 | Anual   | 0,53        | 21        | 0,013             |
| 13  | 24015120 | CP  | Isla del Santuario | Fuquene   | C/marca      | -73,735  | 5,467   | 2580 | DEF     | 0,62        | 26        | 0,008             |
| 14  | 21195030 | CP  | Granja Ticabuy     | Tibacuy   | C/marca      | -74,417  | 4,350   | 1550 | SON     | 0,43        | 31        | 0,006             |
| 15  | 21195030 | CP  | Granja Ticabuy     | Tibacuy   | C/marca      | -74,417  | 4,350   | 1550 | Anual   | 0,40        | 31        | 0,040             |

(b) Significancia al 90 %

| No. | Código   | Cat | Nombre             | Municipio | Departamento | Longitud | Latitud | Elev | Periodo | Correlación | No. Datos | P-value Tendencia |
|-----|----------|-----|--------------------|-----------|--------------|----------|---------|------|---------|-------------|-----------|-------------------|
| 1   | 21195070 | CO  | Pasca              | Pasca     | C/marca      | -74,312  | 4,310   | 2256 | DEF     | 0,55        | 21        | 0,003             |
| 2   | 21205420 | AM  | Tibaitata          | Mosquera  | C/marca      | -74,209  | 4,691   | 2543 | DEF     | 0,57        | 28        | 0,007             |
| 3   | 21205700 | CO  | Guasca             | Guasca    | C/marca      | -73,868  | 4,880   | 2750 | DEF     | 0,47        | 21        | 0,019             |
| 4   | 21205980 | CO  | Providencia Gja    | Tenjo     | C/marca      | -74,201  | 4,792   | 2560 | JJA     | 0,51        | 23        | 0,000             |
| 5   | 21205980 | CO  | Providencia Gja    | Tenjo     | C/marca      | -74,201  | 4,792   | 2560 | SON     | 0,55        | 24        | 0,029             |
| 6   | 21205980 | CO  | Providencia Gja    | Tenjo     | C/marca      | -74,201  | 4,792   | 2560 | Anual   | 0,45        | 24        | 0,001             |
| 7   | 23065110 | CO  | Yacopi             | Yacopi    | C/marca      | -74,355  | 5,484   | 1347 | DEF     | 0,63        | 25        | 0,013             |
| 8   | 23065110 | CO  | Yacopi             | Yacopi    | C/marca      | -74,355  | 5,484   | 1347 | JJA     | 0,63        | 23        | 0,025             |
| 9   | 23065110 | CO  | Yacopi             | Yacopi    | C/marca      | -74,355  | 5,484   | 1347 | Anual   | 0,53        | 21        | 0,013             |
| 10  | 24015120 | CP  | Isla del Santuario | Fuquene   | C/marca      | -73,735  | 5,467   | 2580 | DEF     | 0,62        | 26        | 0,008             |

TABLA 5.13: CORRELACIÓN PARA ÍNDICE TXF90 - NIÑO 3

(a) Significancia al 90 %

| No. | Código   | Cat | Nombre             | Municipio   | Departamento | Longitud | Latitud | Elev | Periodo | Correlación | No. Datos | P-value Tendencia |
|-----|----------|-----|--------------------|-------------|--------------|----------|---------|------|---------|-------------|-----------|-------------------|
| 1   | 21205420 | AM  | Tibaitata          | Mosquera    | C/marca      | -74,209  | 4,691   | 2543 | DEF     | 0,45        | 28        | 0,007             |
| 2   | 21205570 | CP  | Primavera La       | Subachoque  | C/marca      | -74,217  | 4,850   | 2590 | DEF     | 0,43        | 18        | 0,012             |
| 3   | 21205980 | CO  | Providencia Gja    | Tenjo       | C/marca      | -74,201  | 4,792   | 2560 | JJA     | 0,41        | 23        | 0,001             |
| 4   | 21205980 | CO  | Providencia Gja    | Tenjo       | C/marca      | -74,201  | 4,792   | 2560 | SON     | 0,59        | 24        | 0,038             |
| 5   | 23065110 | CO  | Yacopi             | Yacopi      | C/marca      | -74,355  | 5,484   | 1347 | JJA     | 0,39        | 23        | 0,027             |
| 6   | 23065110 | CO  | Yacopi             | Yacopi      | C/marca      | -74,355  | 5,484   | 1347 | Anual   | 0,40        | 21        | 0,013             |
| 7   | 24015120 | CP  | Isla del Santuario | Fuquene     | C/marca      | -73,735  | 5,467   | 2580 | DEF     | 0,64        | 26        | 0,089             |
| 8   | 35055010 | CO  | Japon El           | Paratebueno | C/marca      | -73,301  | 4,377   | 280  | JJA     | 0,41        | 27        | 0,060             |

(b) Significancia al 90 %

| No. | Código   | Cat | Nombre          | Municipio | Departamento | Longitud | Latitud | Elev | Periodo | Correlación | No. Datos | P-value Tendencia |
|-----|----------|-----|-----------------|-----------|--------------|----------|---------|------|---------|-------------|-----------|-------------------|
| 1   | 21205420 | AM  | Tibaitata       | Mosquera  | C/marca      | -74,209  | 4,691   | 2543 | DEF     | 0,45        | 28        | 0,007             |
| 2   | 21205980 | CO  | Providencia Gja | Tenjo     | C/marca      | -74,201  | 4,792   | 2560 | SON     | 0,59        | 24        | 0,038             |

TABLA 5.14: CORRELACIÓN PARA ÍNDICE TXHW90 - NIÑO 3

(a) Significancia al 90 %

| No. | Código   | Cat | Nombre             | Municipio | Departamento | Longitud | Latitud | Elev | Periodo | Correlación | No. Datos | P-value Tendencia |
|-----|----------|-----|--------------------|-----------|--------------|----------|---------|------|---------|-------------|-----------|-------------------|
| 1   | 21195060 | CO  | Pandi              | Pandi     | C/marca      | -74,487  | 4,193   | 950  | JJA     | 0,42        | 27        | 0,076             |
| 2   | 21195060 | CO  | Pandi              | Pandi     | C/marca      | -74,487  | 4,193   | 950  | SON     | 0,55        | 29        | 0,103             |
| 3   | 21195070 | CO  | Pasca              | Pasca     | C/marca      | -74,312  | 4,310   | 2256 | DEF     | 0,48        | 21        | 0,033             |
| 4   | 23065110 | CO  | Yacopi             | Yacopi    | C/marca      | -74,355  | 5,484   | 1347 | DEF     | 0,41        | 25        | 0,085             |
| 5   | 23065110 | CO  | Yacopi             | Yacopi    | C/marca      | -74,355  | 5,484   | 1347 | JJA     | 0,41        | 23        | 0,002             |
| 6   | 23065110 | CO  | Yacopi             | Yacopi    | C/marca      | -74,355  | 5,484   | 1347 | Anual   | 0,48        | 21        | 0,018             |
| 7   | 24015120 | CP  | Isla del Santuario | Fuquene   | C/marca      | -73,735  | 5,467   | 2580 | DEF     | 0,59        | 26        | 0,028             |
| 8   | 21195030 | CP  | Granja Ticabuy     | Tibacuy   | C/marca      | -74,417  | 4,350   | 1550 | JJA     | 0,38        | 31        | 0,024             |
| 9   | 21195030 | CP  | Granja Ticabuy     | Tibacuy   | C/marca      | -74,417  | 4,350   | 1550 | Anual   | 0,50        | 31        | 0,019             |

(b) Significancia al 90 %

| No. | Código   | Cat | Nombre             | Municipio | Departamento | Longitud | Latitud | Elev | Periodo | Correlación | No. Datos | P-value Tendencia |
|-----|----------|-----|--------------------|-----------|--------------|----------|---------|------|---------|-------------|-----------|-------------------|
| 1   | 21195070 | CO  | Pasca              | Pasca     | C/marca      | -74,312  | 4,310   | 2256 | DEF     | 0,48        | 21        | 0,033             |
| 2   | 23065110 | CO  | Yacopi             | Yacopi    | C/marca      | -74,355  | 5,484   | 1347 | Anual   | 0,48        | 21        | 0,018             |
| 3   | 24015120 | CP  | Isla del Santuario | Fuquene   | C/marca      | -73,735  | 5,467   | 2580 | DEF     | 0,59        | 26        | 0,028             |
| 4   | 21195030 | CP  | Granja Ticabuy     | Tibacuy   | C/marca      | -74,417  | 4,350   | 1550 | Anual   | 0,50        | 31        | 0,019             |

TABLA 5.15: CORRELACIÓN PARA ÍNDICE TXQ90 - NIÑO 3

(a) Significancia al 90 %

| No. | Código   | Cat | Nombre             | Municipio | Departamento | Longitud | Latitud | Elev | Periodo | Correlación | No. Datos | P-value Tendencia |
|-----|----------|-----|--------------------|-----------|--------------|----------|---------|------|---------|-------------|-----------|-------------------|
| 1   | 21195060 | CO  | Pandi              | Pandi     | C/marca      | -74,487  | 4,193   | 950  | SON     | 0,44        | 29        | 0,038             |
| 2   | 21195070 | CO  | Pasca              | Pasca     | C/marca      | -74,312  | 4,310   | 2256 | DEF     | 0,58        | 21        | 0,010             |
| 3   | 21205420 | AM  | Tibaitata          | Mosquera  | C/marca      | -74,209  | 4,691   | 2543 | DEF     | 0,60        | 28        | 0,011             |
| 4   | 21205700 | CO  | Guasca             | Guasca    | C/marca      | -73,868  | 4,880   | 2750 | DEF     | 0,70        | 21        | 0,069             |
| 5   | 21205980 | CO  | Providencia Gja    | Tenjo     | C/marca      | -74,201  | 4,792   | 2560 | MAM     | 0,40        | 23        | 0,038             |
| 6   | 21205980 | CO  | Providencia Gja    | Tenjo     | C/marca      | -74,201  | 4,792   | 2560 | JJA     | 0,56        | 23        | 0,001             |
| 7   | 21205980 | CO  | Providencia Gja    | Tenjo     | C/marca      | -74,201  | 4,792   | 2560 | SON     | 0,50        | 24        | 0,071             |
| 8   | 23065070 | CO  | Esc Vocacional     | Pacho     | C/marca      | -74,200  | 5,167   | 1940 | Anual   | 0,41        | 21        | 0,044             |
| 9   | 23065110 | CO  | Yacopi             | Yacopi    | C/marca      | -74,355  | 5,484   | 1347 | DEF     | 0,70        | 25        | 0,039             |
| 10  | 23065110 | CO  | Yacopi             | Yacopi    | C/marca      | -74,355  | 5,484   | 1347 | JJA     | 0,73        | 23        | 0,071             |
| 11  | 23065110 | CO  | Yacopi             | Yacopi    | C/marca      | -74,355  | 5,484   | 1347 | Anual   | 0,63        | 21        | 0,032             |
| 12  | 23065120 | CO  | Cabrera La         | Pacho     | C/marca      | -74,139  | 5,142   | 2000 | SON     | 0,50        | 21        | 0,093             |
| 13  | 24015120 | CP  | Isla del Santuario | Fuquene   | C/marca      | -73,735  | 5,467   | 2580 | DEF     | 0,69        | 26        | 0,060             |
| 14  | 35065010 | CO  | Gacheta            | Gacheta   | C/marca      | -73,646  | 4,830   | 1752 | DEF     | 0,53        | 25        | 0,028             |
| 15  | 21195030 | CP  | Granja Ticabuy     | Tibacuy   | C/marca      | -74,417  | 4,350   | 1550 | JJA     | 0,58        | 31        | 0,045             |
| 16  | 21195030 | CP  | Granja Ticabuy     | Tibacuy   | C/marca      | -74,417  | 4,350   | 1550 | SON     | 0,48        | 31        | 0,019             |
| 17  | 21195030 | CP  | Granja Ticabuy     | Tibacuy   | C/marca      | -74,417  | 4,350   | 1550 | Anual   | 0,39        | 31        | 0,018             |

(b) Significancia al 90 %

| No. | Código   | Cat | Nombre          | Municipio | Departamento | Longitud | Latitud | Elev | Periodo | Correlación | No. Datos | P-value Tendencia |
|-----|----------|-----|-----------------|-----------|--------------|----------|---------|------|---------|-------------|-----------|-------------------|
| 1   | 21195060 | CO  | Pandi           | Pandi     | C/marca      | -74,487  | 4,193   | 950  | SON     | 0,44        | 29        | 0,038             |
| 2   | 21195070 | CO  | Pasca           | Pasca     | C/marca      | -74,312  | 4,310   | 2256 | DEF     | 0,58        | 21        | 0,010             |
| 3   | 21205420 | AM  | Tibaitata       | Mosquera  | C/marca      | -74,209  | 4,691   | 2543 | DEF     | 0,60        | 28        | 0,011             |
| 4   | 21205980 | CO  | Providencia Gja | Tenjo     | C/marca      | -74,201  | 4,792   | 2560 | JJA     | 0,56        | 23        | 0,001             |
| 5   | 23065110 | CO  | Yacopi          | Yacopi    | C/marca      | -74,355  | 5,484   | 1347 | DEF     | 0,70        | 25        | 0,039             |
| 6   | 23065110 | CO  | Yacopi          | Yacopi    | C/marca      | -74,355  | 5,484   | 1347 | Anual   | 0,63        | 21        | 0,032             |
| 7   | 35065010 | CO  | Gacheta         | Gacheta   | C/marca      | -73,646  | 4,830   | 1752 | DEF     | 0,53        | 25        | 0,028             |
| 8   | 21195030 | CP  | Granja Ticabuy  | Tibacuy   | C/marca      | -74,417  | 4,350   | 1550 | JJA     | 0,58        | 31        | 0,045             |
| 9   | 21195030 | CP  | Granja Ticabuy  | Tibacuy   | C/marca      | -74,417  | 4,350   | 1550 | SON     | 0,48        | 31        | 0,019             |

[www.priccregioncapital.org](http://www.priccregioncapital.org)