

**TENDENCIAS ESPACIO-TEMPORALES DE PRECIPITACIÓN EXTREMA EN LA
ZONA DE INFLUENCIA SOCIOECOLÓGICA DE CALI PARA EL PERÍODO 1970-2020**

JUAN PABLO GUZMÁN ESCALANTE

**SANTIAGO DE CALI
UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE HUMANIDADES
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFÍA
PROGRAMA ACADÉMICO DE GEOGRAFÍA
2023**

**TENDENCIAS ESPACIO-TEMPORALES DE PRECIPITACIÓN EXTREMA EN LA
ZONA DE INFLUENCIA SOCIOECOLÓGICA DE CALI PARA EL PERÍODO 1970-2020**

JUAN PABLO GUZMÁN ESCALANTE

Trabajo de grado para optar al título de geógrafo

PhD. Wilmar Loaiza Cerón

**SANTIAGO DE CALI
UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE HUMANIDADES
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFÍA
PROGRAMA ACADÉMICO DE GEOGRAFÍA
2023**

Nota de aceptación

Director

Jurado(a)

Jurado(a)

Valle del Cauca, Santiago de Cali, _____ de 2023

DEDICATORIA

A Dios, que dispone todo para el bien de quienes lo amamos.

AGRADECIMIENTOS

La finalización de este proceso implica el reconocimiento de personas valiosas y experiencias enriquecedoras, por esto, quiero agradecer principalmente a:

A mi mamá, mis hermanas y mis sobrinitos. Principalmente a mi papá, quién a través de su incansable esfuerzo, me enseñó la dignificación a través del sacrificio y la disciplina.

A Aleja, Karem y Mariam, amigas y colegas que me deja la geografía. A Juan, sencillamente, el mejor futuro geógrafo que conozco.

A la profe Teresita, representación de calma y asertividad. Al profe Camilo, quién siempre estuvo dispuesto a colaborarme a pesar de sus muchas ocupaciones. Al profe Álvaro, a quién agradezco mucho su confianza, su acompañamiento y su paciencia.

Especialmente al profe Wilmar, mi director, gran docente, profesional y amigo, pero sobre todo una gran persona. Infinitas gracias por la incansable paciencia que me tuviste y por tus siempre presentes asesorías y explicaciones. Mil y mil gracias.

A Carlitos, su gestión y celeridad fueron indispensables en este proceso, pero perdurará más la amistad construida.

A los profes Javier y José Eduardo, excelentes maestros en mi proceso formativo.

Contenido

INTRODUCCIÓN	9
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	13
1.1 PROBLEMATIZACIÓN.....	13
1.2 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN.....	15
1.3 OBJETIVO GENERAL	15
1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
1.5 JUSTIFICACIÓN	17
2. ANTECEDENTES EN EL ANÁLISIS DE PRECIPITACIÓN EXTREMA	19
2.1 ESCALA GLOBAL	19
2.2 ESCALA REGIONAL.....	21
2.3 NIVEL NACIONAL/MUNICIPAL	24
3. MARCO REFERENCIAL	27
3.1 VARIABILIDAD Y CAMBIO CLIMÁTICO.....	27
3.2 EVENTOS EXTREMOS DE PRECIPITACIÓN	29
3.3 EQUIPO DE EXPERTOS SOBRE DETECCIÓN E ÍNDICES DEL CAMBIO CLIMÁTICO E ÍNDICES (ETCCDI).....	30
4. METODOLOGÍA.....	31
4.1 TIPO DE ESTUDIO.....	31
4.2 ÁREA DE ESTUDIO	31
4.3 ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS	35
4.4 CÁLCULO DE ÍNDICES.....	37
4.5 ESTIMACIÓN DE DATOS FALTANTES	38
4.6 INTERPOLACIÓN	39
4.7 IDENTIFICACIÓN DE TENDENCIAS	42
5. RESULTADOS	44
5.1 ESTIMACIÓN DE DATOS	44
5.2 PATRÓN MULTIANUAL	44
5.3.1 MÉTRICAS DE DESEMPEÑO DE LAS INTERPOLACIONES	44
5.3.2 GRÁFICAS DE VALIDACIÓN CRUZADA DE ERROR ESTANDARIZADO Y VALORES NORMALES.....	47
5.4 COMPORTAMIENTO ESPACIOTEMPORAL DE EVENTOS EXTREMOS ESTACIONALES 1970-2020	50
5.4.1 ÍNDICES DE FRECUENCIA	50
5.4.2 ÍNDICES DE INTENSIDAD.....	52
5.4.3 ÍNDICES DE DURACIÓN	55
5.5 COMPORTAMIENTO ESPACIOTEMPORAL DE LAS TENDENCIAS DE EVENTOS EXTREMOS	56
5.5.1 TENDENCIAS DE ÍNDICES DE FRECUENCIA	57
5.5.2 TENDENCIAS DE ÍNDICES DE INTENSIDAD.....	61
5.5.3 TENDENCIAS DE ÍNDICES DE DURACIÓN	64
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	67
7. REFERENCIAS.....	71
ANEXOS.....	80

Lista de figuras

FIGURA 1. VARIABILIDAD INTERANUAL DE PRECIPITACIÓN.	19
FIGURA 2. MAPA ÁREA DE ESTUDIO: ZONA DE INFLUENCIA SOCIOECOLÓGICA DE CALI.	34
FIGURA 3. MAPA DE DISTRIBUCIÓN DE LAS ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS ANALIZADAS EN LA ZONA DE INFLUENCIA SOCIOECOLÓGICA DE CALI.....	36
FIGURA 4. SEMIVARIOGRAMA DEL PROCESO DE INTERPOLACIÓN COKRIGING TIPO ESFÉRICA.	40
FIGURA 5. VISTA DE ESPACIALIZACIÓN DE VARIABLES MEDIANTE INTERPOLACIÓN COKRIGING TIPO ESFÉRICA. SUAVIZADO DE LA IMAGEN A PARTIR DE LA BUSQUEDA DE VECINOS.	41
FIGURA 6. MÉTRICAS DE EVALUACIÓN DE RESULTADOS DE LA VALIDACIÓN CRUZADA DE LA INTERPOLACIÓN COKRIGING TIPO ESFÉRICA. PRESENTACIÓN DE ERRORES DE PREDICCIÓN.....	42
FIGURA 7. DISTRIBUCIÓN MENSUAL HISTÓRICA PROMEDIO PARA LAS ESTACIONES SEPTENTRIONAL Y MERIDIONAL 1969-1970: ESTACIÓN VIJES Y SUÁREZ.	44
FIGURA 8. GRAFICA DE VALIDACIÓN CRUZADA POR MEDIO DE DIAGRAMA QUANTIL-QUANTIL A PARTIR DEL MÉTODO DE INTERPOLACIÓN COKRIGING DE MODELO ESFÉRICO: FRECUENCIA.	48
FIGURA 9. GRAFICA DE VALIDACIÓN CRUZADA POR MEDIO DE DIAGRAMA QUANTIL-QUANTIL A PARTIR DEL MÉTODO DE INTERPOLACIÓN COKRIGING DE MODELO ESFÉRICO: INTENSIDAD.	49
FIGURA 10. GRAFICA DE VALIDACIÓN CRUZADA POR MEDIO DE DIAGRAMA QUANTIL-QUANTIL A PARTIR DEL MÉTODO DE INTERPOLACIÓN COKRIGING DE MODELO ESFÉRICO: DURACIÓN.	50
FIGURA 11. MAPA DE INTERPOLACIÓN A NIVEL ESTACIONAL: FRECUENCIA.	51
FIGURA 12. MAPA DE INTERPOLACIÓN A NIVEL ESTACIONAL: INTENSIDAD.	53
FIGURA 13. MAPA DE INTERPOLACIÓN A NIVEL ESTACIONAL: DURACIÓN.	56
FIGURA 14. LEYENDA DE LOS MAPAS DE TENDENCIA.	57
FIGURA 15. MAPA DE TENDENCIAS DE EVENTOS EXTREMOS DE FRECUENCIA.....	59
FIGURA 16. MAPA DE TENDENCIAS DE EVENTOS EXTREMOS DE INTENSIDAD	63
FIGURA 17. MAPA DE TENDENCIAS DE EVENTOS EXTREMOS DE DURACIÓN.....	66

Lista de tablas

TABLA 1. DESASTRES EN PORCENTAJE ASOCIADOS A EVENTOS NATURALES EN COLOMBIA PARA EL PERÍODO 1970-2010.....	10
TABLA 2. ESCENARIOS TENDENCIALES DE CAMBIO DE TEMPERATURA Y PRECIPITACIÓN	17
TABLA 3. DESCRIPCIÓN DE ÍNDICES USADOS EN EL ESTUDIO.....	37
TABLA 4. PORCENTAJE DE DATOS FALTANTES POR ESTACIÓN PLUVIOMÉTRICA A NIVEL TRIMESTRAL.	38
TABLA 5. MÉTRICAS DE ERROR AL APLICAR EL MODELO ESFÉRICO DE INTERPOLACIÓN: PERÍODO DJF. 45	
TABLA 6. MÉTRICAS DE ERROR AL APLICAR MODELO ESFÉRICO DE INTERPOLACIÓN: PERÍODO MAM. 45	
TABLA 7. MÉTRICAS DE ERROR AL APLICAR MODELO ESFÉRICO DE INTERPOLACIÓN: PERÍODO JJA.... 46	
TABLA 8. MÉTRICAS DE ERROR AL APLICAR MODELO ESFÉRICO DE INTERPOLACIÓN: PERÍODO SON... ...46	

RESUMEN

La dinámica del clima expresada por medio del comportamiento de las precipitaciones, presenta muchas atribuciones asociadas principalmente a la variabilidad y cambio climático. Los escenarios, consecuencias de estas dinámicas, están afectando no solo los regímenes ya establecidos de épocas de lluvia y de sequía, sino que su comportamiento anómalo y extremo, están generando pérdida de vidas, afectaciones económicas y ambientales que se traducen en desastres para las comunidades. Esta investigación evidenció las tendencias de eventos extremos de precipitación para la zona de influencia Socioecológica de Santiago de Cali, en los municipios del sur del Valle del Cauca y norte del Cauca. Se evidenció una tendencia de disminución muy fuerte de precipitaciones en el área de estudio, especialmente en el último semestre del año, con magnitudes muy altas en Cali. También se evidenció que la cantidad de días con lluvias leves y muy fuertes disminuyó significativamente a lo largo de toda el área de estudio, especialmente en Cali, Jamundí y El Cerrito. Del mismo modo la cantidad de días secos y de días secos consecutivos, presentó tendencias de aumento significativas en toda la región, especialmente en zonas montañosas de Cali, Jamundí, Santander de Quilichao y El Cerrito, para el último semestre del año, siendo el trimestre septiembre- octubre- noviembre, el que presenta las tendencias más importantes. Estas distribuciones espacio-temporales, generan escenarios de déficit del recurso hídrico para casi toda la zona de influencia Socioecológica de Cali, especialmente en los últimos trimestres del año.

Palabras clave: **Cambio Climático, Variabilidad Climática, Precipitación Extrema**

INTRODUCCIÓN

Los diversos eventos extremos asociados al clima, cada vez toman más relevancia por las diversas consecuencias que generan. De acuerdo con el Grupo Intergubernamental de Expertos Sobre el Cambio Climático (IPCC en sus siglas en inglés), los eventos climáticos extremos son eventos que **son raros en un lugar y una época del año en particular**. La rareza de esos eventos extremos puede entenderse como un acontecimiento que no tiene precedentes pero que en la actualidad puede ser bastante probable. Los diferentes tipos de eventos extremos incluyen temperaturas extremas, fuertes precipitaciones e inundaciones pluviales, inundaciones de ríos, sequías y tormentas¹ olas de calor y marejadas.

Los eventos extremos de precipitación, presentan diversas escalas espaciales y temporales que deben ser tenidas en cuenta para su evaluación, así como la incorporación de los patrones de circulación atmosférica a gran escala y la dinámica atmosférica asociada, que resultan siendo determinantes importantes del clima regional, y que son fundamentales para caracterizar la magnitud, frecuencia y duración de estos eventos extremos². A su vez, tal caracterización resulta esencial para determinar las tendencias de aumento o disminución de tales fenómenos³.

En Colombia, los eventos de precipitación se relacionan principalmente con las lluvias y sequías que, dadas sus características, se pueden presentar como **eventos atípicos** en una región en un instante del año⁴. A nivel general, el país ha sufrido diversos tipos de consecuencias a partir de estos eventos extremos, tanto a nivel ambiental como social y económico. Sin embargo, los efectos de los mismos, varían dependiendo de las condiciones socioeconómicas del lugar en el que ocurre, puesto que un fenómeno de igual intensidad, puede generar pérdidas de diferente magnitud de acuerdo a las condiciones particulares de las regiones⁵. Para el caso nacional, de acuerdo con Jaramillo *et al.*⁶, los desastres asociados a eventos naturales climáticos en Colombia, en el período 1970-2010, se resumen

¹ IPCC [Sitio web]. Chapter 11: Weather and Climate Extreme Events in a Changing Climate. Consultado el [12-09-23]. Consultado en: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/chapter/chapter-11/>

² Ibid.

³ CUARTAS, Daniel; CAICEDO, María; ORTEGA, Delia; CARDONA, Faisury; CARVAJAL, Yesid; MÉNDEZ, Fabián. TENDENCIA ESPACIAL Y TEMPORAL DE EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS EN EL VALLE GEOGRÁFICO DEL RÍO CAUCA. En: *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*. 2017, 20, p. 268. ISSN 01234226

⁴ ASOCIACIÓN MEXICANA DE INFRAESTRUCTURA PORTUARIA, MARÍTIMA Y COSTERA [Sitio web]. Definición de evento extremo. Consultado el [16-06-23]. Consultado en: <http://amip.org.mx/htm/RevAMIP/A4NUM15/AMIP41518.pdf>

⁵ JARAMILLO, Fernando; GÓMEZ, Mónica; CALDERÓN, Silvia; ROMERO, Germán; ORDÓÑEZ, Daniel; ÁLVAREZ, Andrés; SÁNCHEZ-ÁRAGÓN, Leonardo; LUDEÑA, Carlos. Impactos económicos del cambio climático en Colombia: costos económicos de los eventos extremos. Informe de grupo técnico CEPAL, DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN COLOMBIA, IDEAM, BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO: WASHINGTON D.C. p. 8.

⁶ IBÍD., p. 14.

(ver **Tabla 1**) de la siguiente manera (Valores expresados en porcentaje ya que los autores recuperan la información de bases de datos como DesInventar, lo cual genera que en aras de tomar los datos más fiables y la no repetición de información se expresen los resultados en porcentaje):

Tabla 1. Desastres en porcentaje asociados a eventos naturales en Colombia para el período 1970-2010

Tipo de evento	Desastres	Muertos y desaparecidos	Muertos, desaparecidos, heridos, afectados y damnificados	Viviendas afectadas y destruidas
Inundaciones	48.7	19.8	65.6	79.1
Deslizamientos	28.2	55.7	9.9	7.5
Tormentas y vientos	18.4	24	15.1	13.3
Sequías	4.7	0.5	9.4	0.1
Total	100	100	100	100

Fuente: JARAMILLO, Fernando 2015.

Este panorama denota no solamente la ocurrencia de diferentes tipos de desastres asociados a los eventos extremos de precipitación, sino también el impacto social y económico que generan tales fenómenos, ya que en las economías en desarrollo los desastres naturales tienden a profundizar los problemas de pobreza y desigualdad, debido a que la población más vulnerable a estos fenómenos [tiende a ser] es la más pobre⁷.

Ante este panorama, resulta fundamental incorporar el contexto de cambio climático que se viene desarrollando en la región y el mundo, ya que esta dinámica planetaria con acentuaciones y expresiones diferenciadas, termina confluyendo en la configuración de eventos extremos de precipitación que se recoge tanto en procesos naturales internos del sistema climático, como en variaciones climáticas inducidas por actividades antropogénicas⁸. A partir de esto, se han realizado estudios que determinan que el comportamiento de la precipitación será heterogéneo a lo largo de las regiones de Colombia en escenarios tendenciales.

De acuerdo con IDEAM⁹, en los escenarios prospectivos 2071-2100 se espera que la precipitación media disminuya entre 10 a 30% en cerca del 27% del territorio nacional, principalmente hacia la

⁷ BANCO MUNDIAL. Análisis de la gestión del riesgo de desastres en Colombia: un aporte para la construcción de políticas públicas. En: JARAMILLO, Fernando; GÓMEZ, Mónica; CALDERÓN, Silvia; ROMERO, Germán; ORDÓÑEZ, Daniel; ÁLVAREZ, Andrés; SÁNCHEZ-ÁRAGON, Leonardo; LUDEÑA, Carlos. Impactos económicos del cambio climático en Colombia: costos económicos de los eventos extremos. Informe de grupo técnico CEPAL, DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN COLOMBIA, IDEAM, BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO: WASHINGTON D.C. p. 6. 2015.

⁸ CERÓN, Wilmar. VARIAÇÕES MULTIDECENAIAS DA PRECIPITAÇÃO NA COLÔMBIA E NA BACIA DO PRATA E SUAS RELAÇÕES COM OS JATOS DE BAIXOS NÍVEIS. Tesis doctoral. Brasil, Manaus. 2020. p. 37.

⁹ IDEAM; PNUD; MADS; DNP; CANCELLERÍA. Nuevos escenarios de cambio climático para Colombia 2011-2100 herramientas científicas para la toma de decisiones. Enfoque nacional- departamental: Tercera comunicación nacional de cambio climático. 2015. Informe de grupo científico: Bogotá; 2015. Serie de informes técnicos. p. 15. ISBN 978-958-8902-55-5

costa norte y piedemonte amazónico, mientras que se proyecta un aumento de precipitaciones entre 10 a 30% en cerca del 14% del país, principalmente en el suroccidente y centro de Colombia. Tales cambios en los regímenes de lluvias, generan necesariamente cambios en usos de suelo que podrían afectar la producción agrícola y/o pecuaria, incrementar la probabilidad de propiciar deslizamientos, afectación de acueductos veredales y daño de la infraestructura vial, así como inundaciones en áreas planas de las regiones¹⁰.

En este sentido, el fenómeno de El Niño Oscilación del Sur (ENOS), como principal modo de variabilidad interanual a nivel mundial, en su disrupción en la interacción océano- atmósfera en el Pacífico tropical, se expresa como El Niño, con un aumento de la temperatura superficial del mar y como La Niña, en su disminución¹¹, generando sequías y aumento de lluvias respectivamente. Tal fenómeno impacta el régimen predominantemente bimodal del clima en Colombia, generando diversas implicaciones a nivel económico, social, político y ambiental.

Hace algunos años en Colombia, se presentó una rápida transición entre los eventos de El Niño y La Niña, ya que El Niño 2009-10 y su ligero cambio hacia La Niña de 2010-11 y 2011-12, generó severas oscilaciones climáticas sobre las zonas del país con mayor influencia del ENOS, lo cual propició valores históricos en mínimos y máximos de precipitación, en algunos puntos de medición sobre regiones gravemente afectadas¹². Las diversas amenazas que se desprenden de esta situación, que generan un riesgo de desastre para las poblaciones expuestas, han sido una realidad desde las más antiguas civilizaciones, que históricamente han aprendido a convivir con estos eventos, desarrollando y perfeccionando mecanismos de adaptación y mitigación frente a estos fenómenos. El análisis y entendimiento de estas dinámicas naturales ha contribuido a la prevención y preparación frente a las mismas, por parte de las comunidades que se encuentran en potencial riesgo de sufrir las consecuencias. Como resultado de este fenómeno de transición entre El Niño y La Niña entre 2009 y 2012, resultaron 2'350.207 damnificados y 869.032 afectados, cantidad equivalente al 7% de la población total del país¹³. El Valle del Cauca, fue el décimo departamento más afectado en aquella ola invernal con más de 150.000 afectados, y más de 27.000 viviendas averiadas¹⁴. A nivel nacional se cuantificaron daños por más de 11 mil millones de pesos; de los cuales el Valle del Cauca, aportó casi mil millones, en afectaciones por hábitat, infraestructura, servicios sociales, entre otros¹⁵.

¹⁰ Ibid. p. 15.

¹¹ NOAA [Sitio Web]. Cold and Warm Episodes bySeason. Climate Prediction Center. [Consultado el 08-03-2023] Consultado en: http://www.cpc.noaa.gov:80/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.html

¹² COMISIÓN ECONÓMICA PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE (CEPAL). Valoración de daños y pérdidas. Ola invernal en Colombia, 2010-2011. Bogotá: CEPAL, 2012. ISBN: 978-958-57544-0-9.

¹³ Ibid., p. 32-64.

¹⁴ Ibid., p. 32-64.

¹⁵ Ibid., p. 32-64.

De acuerdo con el Análisis de la gestión del riesgo de desastres en Colombia¹⁶,

Durante los últimos 40 años en Colombia, se han ocasionado pérdidas que alcanzan los US\$7.100 millones. Entre 1970 y 2011 se registraron más de 28.000 eventos desastrosos por fenómenos geológicos e hidrometeorológicos, de los cuales el 60% se reportan desde la década de 1990. Se presenta un incremento en la ocurrencia de eventos desastrosos pasando de 5.657 registros entre 1970 y 1979 a 9.270 registros entre 2000 y 2009, lo cual se relaciona no solo con la disponibilidad y calidad de las fuentes de información, sino principalmente con el aumento de la población y los bienes expuestos.

Las graves afectaciones generadas a partir de estos fenómenos, han ganado espacios de discusión cada vez más frecuentes en agendas gubernamentales; y aunque ocurrieron fenómenos fuertes e importantes de El Niño (1982-83 y 1990-91), para nuestro país, no es hasta el fenómeno de La Niña en 2010-2011, que demandó medidas inmediatas como la creación de Colombia Humanitaria, el Fondo de Adaptación, la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres y una nueva política Nacional para la Gestión de desastres (UNGRD)¹⁷.

En relación con lo anterior, Cerón *et al.*¹⁸, afirman que los cambios en las inundaciones y precipitaciones extremas en todo el mundo se han intensificado en respuesta al calentamiento global, al generarse un aumento de 7% en precipitaciones intensas por cada grado (1°C) de aumento en temperatura. En este contexto, algunos autores como Ávila *et al.*¹⁹ han desarrollado investigaciones como '*Recent Precipitation Trends and Floods in the Colombian Andes*' que han evidenciado tendencias espaciales y temporales por medio del uso de índices climáticos de extremos de precipitaciones para la cuenca alta del río Cauca. Adicionalmente también se presentan investigaciones como la desarrollada por Cuartas *et al.*²⁰, donde en el trabajo '*Tendencia espacial y temporal de eventos climáticos extremos en el valle geográfico del río Cauca*' realizaron la descripción de la tendencia espacial y temporal de eventos extremos climáticos de temperatura y precipitación para todo el valle geográfico del río Cauca. En este contexto, surge la presente investigación que estableció por medio del uso del área de influencia Soci ecológica de Cali (delimitación que integra parámetros urbano-funcionales y biofísicos de Cali como ciudad región y nodo de interconexión del suroccidente colombiano) tendencias espacio- temporales de precipitación en el valle geográfico del río Cauca en la zona del sur del Valle del Cauca y norte del Cauca.

¹⁶ BANCO INTERNACIONAL DE RECONSTRUCCIÓN Y FOMENTO; BANCO MUNDIAL. Análisis de la gestión del riesgo de desastres en Colombia: un aporte para la construcción de políticas públicas. Informe de un grupo científico del BIRF Y BM. Bogotá D.C; 2012. p. 3.

¹⁷ UNIDAD NACIONAL PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES- COLOMBIA UNGRD. Fenómeno El Niño: Análisis comparativo 1997-1998//2014-2016. Informe de grupo técnico de la UNGRD. Bogotá D.C.; 2016. p. 9. ISBN 978-958-56017-0-3.

¹⁸ CERÓN, Wilmar; ANDREOLI, Rita; KAYANO, Mary; CANCHALA, Teresita; OCAMPO, Camilo; AVILA, Alvaro; ANTUNES, Jean. Trend Pattern of Heavy and Intense Rainfall Events in Colombia from 1981-2018: A Trend- EOF Approach. *En: atmosphere*. 2022,13, 156, p. 2. ISSN 20734433.

¹⁹ ÁVILA, Álvaro; CARDONA, Faisury; CARVAJAL, Yesid; JUSTINO, Flavio. Recent Precipitation and Floods in the Colombian Andes. *En: Water*. 2019, Vol 11, 379, p. 1-2. ISSN 20734441

²⁰ CUARTAS, Daniel, et al. 2017. Op., Cit., p. 268.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Problematicación

Colombia, por su ubicación geográfica, es uno de los países más lluviosos de la Tierra²¹, presentando una incidencia de varios fenómenos hidroclimatológicos, hidrometeorológicos y de paisaje, que condicionan fuertemente los regímenes de lluvias. La influencia de los Alisios del Noreste, y Sureste, las corrientes que confluyen en la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), el relieve de los Andes colombianos, los centros permanentes de altas y bajas presiones a partir de la confluencia de dos océanos, la evapotranspiración y la distribución de humedad por parte de la Amazonía, entre otras variables²², generan condiciones muy particulares de la consolidación de clima a nivel interregional en el país.

A partir de tal complejidad climática, se presentan diversos eventos extremos de precipitación que consolidan un potencial riesgo para muchas comunidades y demás elementos expuestos. Al respecto Ávila *et al.*²³, afirman que las amenazas hidrológicas, ocurren principalmente como resultado de fuertes precipitaciones locales durante la fase fría del ENOS. Siendo esas precipitaciones intensas las detonadoras de alteraciones medio ambientales que pueden generar inundaciones, crecidas repentinas y deslizamientos de tierra. Se presentan procesos de variabilidad climática interanual que para el país se asocian principalmente con el fenómeno de El Niño en temporadas de sequías y con el fenómeno de La Niña para lluvias intensas y prolongadas. Este evento se caracteriza por un incremento en la temperatura superficial del mar en el Océano Pacífico tropical que repercute en la precipitación y en otras variables hidroclimatológicas a nivel global, afectando los sistemas naturales y socioeconómicos de los países afectados, propiciando grandes catástrofes que alteran el bienestar y desarrollo de las comunidades²⁴.

Tal situación ha sido evidenciable en la historia reciente a partir de las consecuencias del fenómeno de La Niña 2010-12. De acuerdo con La UNGRD, la estimación de daños por departamentos, muestra impactos importantes en Antioquia, Atlántico, Bolívar, Sucre, Magdalena, Norte de Santander, Santander y Valle del Cauca, acumulando en conjunto casi el 60% de los daños registrados a nivel nacional. Adicionalmente el Valle del Cauca presentó una de las mayores afectaciones en servicios

²¹ QUESADA, Benjamín. & ÁVILA, Álvaro. Urgencia de entender y responder a los impactos hidroclimáticos en Colombia. En: PLOS Clim. 2023, Vol 2(3) p. 1. DOI: 10.1371

²² Corporación Andina de Fomento, Op., Cit., p. 19.

²³ ÁVILA, Álvaro, Op., Cit., p.1-2-

²⁴ VARGAS, Germán; HERNÁNDEZ, Yolanda; PABÓN, José. La Niña Event 2010- 2011: Hydroclimatic Effects and Socioeconomic Impacts in Colombia. En: Sustainable Development Goals Series. 2018. p. 218. ISBN 978-3-319-56469-2

sociales y administración pública, entre los departamentos afectados. Sin embargo, la resiliencia económica más alta estuvo asociada a los departamentos que mayores afectaciones presentaron como lo son, Antioquia, Atlántico, Cundinamarca, Santander y Valle del Cauca²⁵.

En los últimos años, la alteración del régimen predominantemente bimodal de las precipitaciones que históricamente ha tenido el país por medio de marcados períodos de lluvia o de sequía, han generado situaciones complejas de pérdidas de cultivos a raíz de inundaciones o estrés hídrico de los mismos. Tal y como pasó en el Valle del Cauca en el primer semestre del 2022, donde a partir de las continuas precipitaciones, se inundaron más de 10.000 hectáreas cultivadas, lo que produjo una pérdida de más de 2.000 hectáreas de diferentes plantíos, principalmente caña de azúcar, valoradas en más de 28.000 millones de pesos²⁶. Las llanuras inundables de los tributarios del río Cauca, han reclamado sus espacios, ahora cultivados con caña, lo que ha supuesto pérdidas millonarias para una industria que aportó en el 2020, según Asocaña²⁷ el 3,7% del PIB agrícola nacional y el 31,4% del PIB agrícola del Valle del Cauca.

Uno de los escasos trabajos que han documentado el aumento de extremos climáticos en la región es el realizado por Cuartas *et al.*²⁸, investigación realizada a nivel mensual para todo el valle geográfico del río Cauca y refiere principalmente que los eventos extremos de precipitación muestran una tendencia creciente, tanto en número de días lluviosos como en cantidad de precipitación. Adicionalmente refieren que la temperatura máxima diaria tiene una tendencia al aumento. Mencionan, por último, que las áreas con más propensiones a afectaciones son las ubicadas al sur del valle geográfico del río Cauca, que son coincidentes con aumentos en tendencias de precipitación y temperatura. Aunque el estudio llevado a cabo por Cuartas *et al.*, es un importante avance a nivel regional, el panorama específico de esta zona del suroccidente colombiano, sigue presentando grandes carencias en información que refleje el comportamiento de los eventos extremos de precipitación. Adicionalmente siguen siendo muchas zonas y varios municipios que no se encuentran cubiertos por algún estudio, y que por el contrario presentan graves afectaciones por inundaciones, deslizamientos y lluvias, como lo son: Vijes, El Cerrito, Candelaria, Pradera, Florida, Miranda, Padilla, Guachené, Corinto, Caloto, Santander de Quilichao, entre muchos otros del sur del Valle del Cauca y norte del departamento del Cauca.

²⁵ UNIDAD NACIONAL PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES- COLOMBIA UNGRD, Op., Cit., p. 62-63.

²⁶ CÁRDENAS, Lina. Invierno en Valle del Cauca genera pérdida total de 2.000 hectáreas de cultivos de caña. En: RCN radio. Bogotá D.C. 2022, abril, 29. p. 2.

²⁷ ASOCAÑA [Sitio web]. Sector Agroindustrial de la Caña: Aspectos generales. [Consultado el 22-02-23] Consultado en: <https://www.asocana.org/publico/info.aspx?Cid=215#:~:text=La%20agroindustria%20de%20la%20ca%C3%B1a,Cauca%20el%2019%2C7%25>.

²⁸ Op., Cit., CUARTAS, Daniel et al. 2017. p. 270.

A partir de lo previamente expuesto, resulta fundamental continuar desarrollando este tipo de evaluaciones que aboguen por analizar las tendencias espacio temporales de estos eventos extremos climáticos, no solo en Santiago de Cali sino en toda esta zona que presenta una influencia directa. Esta investigación evaluó los patrones espacio-temporales de las tendencias de eventos extremos de precipitación, a escala estacional, en la Zona de Influencia Socioecológica de Cali para el período 1970-2020, por medio de la identificación de las tendencias de aumento y disminución de los índices climáticos utilizados y recomendados por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). Adicionalmente, esta investigación se presenta como un documento que responde a necesidades y requerimientos vigentes de la región en términos climáticos, por lo cual resulta como un insumo de suma utilidad para el entendimiento del comportamiento de la dinámica de precipitación en el sur del valle geográfico del río Cauca, a partir de los registros obtenidos por 25 estaciones pluviométricas en los últimos 50 años.

1.2 Pregunta de investigación

¿Cuáles son los patrones espacio-temporales de eventos extremos de precipitación a escala estacional en la Zona de Influencia Socioecológica de Cali en el periodo 1970-2020 y sus respectivas tendencias?

1.3 Objetivo general

Evaluar las tendencias espacio-temporales de eventos extremos de precipitación a escala estacional en la Zona de Influencia Socioecológica de Cali para el período 1970-2020.

1.4 Objetivos específicos

- Calcular, para la Zona de Influencia Socioecológica de Cali, a escala estacional, índices usados para establecer eventos climáticos extremos, propuestos por el Equipo de Expertos en Detección e Índices del Cambio Climático (ETCCDI)
- Describir el comportamiento espacio-temporal de los índices de precipitación extrema en la Zona de Influencia Socioecológica de Cali a escala estacional por medio de características de intensidad frecuencia y duración de eventos climáticos extremos registrados.

- Identificar las tendencias espacio-temporales de eventos extremos de precipitación a escala estacional en la Zona de Influencia Socioecológica de Cali.

1.5 Justificación

La evolución del clima mundial y regional en el último siglo, a partir de influencias naturales y antropogénicas²⁹, es una realidad ineludible, aunque con afectaciones y matices diferenciadas de acuerdo con muchos factores. De acuerdo con IDEAM *et al.*³⁰ el Valle del Cauca, con una población de más de 4 millones de habitantes y con un aporte de casi el 10% del PIB nacional, proyecta ciertos escenarios tendenciales con aumento de temperatura y precipitación, tal y como se presenta en la **Tabla 2**. Tales registros, no se presentan como aislados, al involucrar eventos extremos como el fenómeno de La Niña entre 2010-12, que dejó en entredicho la respuesta institucional frente a un evento que se presenta como cíclico y que, conjugado con vulnerabilidades y fragilidades inherentes a los elementos expuestos, generó una grave calamidad pública.

Tabla 2. Escenarios tendenciales de cambio de temperatura y precipitación

Escenarios tendenciales					
2011-2040		2041-2070		2071-2100	
Cambio de temperatura	Cambio de precipitación	Cambio de temperatura	Cambio de precipitación	Cambio de temperatura	Cambio de precipitación
0.9°C	6.59	1.6°C	6.08	2.4°C	6.14

Fuente: IDEAM, 2015.

Estos cambios, producidos por la dinámica exógena de la Tierra, en las precipitaciones extremas, han atraído la atención de los investigadores y del público en general sobre los cambios de las precipitaciones en los últimos 50-100 años³¹. La pertinencia de la presente investigación radica, en la importancia y necesidad de conocer a nivel local, el comportamiento de esos parámetros que se proyectan a nivel general, pero que precisan y requieren el análisis a detalle involucrando los contextos propios de la zona a trabajar, para enmarcar resultados más objetivos, focalizados y confiables.

El conocimiento de estos eventos sirve para consolidar los procesos de preparación, adaptación y mitigación, frente a la diversidad de fenómenos hidrometeorológicos que ocurren en la región, puesto que, para el caso del Valle del Cauca, se registra una cantidad considerable de eventos de precipitación

²⁹ SILVA, Maria; DIAS, Juliana; CARVALHO, Leila; FREITAS, Edmilson & SILVA, Pedro. Changes in extreme daily rainfall for São Paulo, Brazil. En: *Climatic Change*. 2013. p. 2. ISSN 01650009.

³⁰ Op. Cit. IDEAM; PNUD; MADS; DNP; CANCELLERÍA. P. 53.

³¹ SONG, Yanling; ACHBERGER, Christine; LINDERHOLM, Hans. c. Rain-season trends in precipitation and their effect in different climate regions of China during 1961-2008 En: *Environmental Research Letters*. 2011. p. 1. ISSN 17489326

que han afectado al departamento. De esta manera, de acuerdo con la base de datos DesInventar³², se presenta un resumen de los eventos de lluvias extremas registrados en algunos municipios del departamento del Valle del Cauca con diferentes afectaciones.

A continuación, se presenta un resumen de los datos aportados: (a) desde 1970, se registraron 49 eventos de lluvias que generaron consecuencias de diversos tipos en el departamento (tales como inundaciones, daños a estructuras, pérdida de cultivos y deslizamientos); (b) 24 de esos eventos fueron en Cali, 7 en Tuluá, 6 en Buga, 4 en Palmira, y el resto en otros municipios; y (c) dichos eventos generaron 4 muertes y más de 600.000 personas afectadas directa e indirectamente.

Este estudio se consolida como un avance a nivel municipal y regional, del comportamiento de la precipitación extrema en una zona del suroccidente colombiano, donde a partir de él, se podrá conocer la distribución espacio-temporal de las lluvias extremas que se presentan para la zona seleccionada. La necesidad de involucrar estos estudios, en los proyectos de planeación y de intervención en los territorios, resulta fundamental y casi que imprescindible, para evitar primordialmente la pérdida de vidas, por la materialización del riesgo de desastres a partir de la gestación de eventos extremos de precipitación y la minimización de afectaciones de infraestructura y equipamientos expuestos. De igual manera también resultan fundamentales para la preservación de diversos ecosistemas y la conservación de diversas especies de flora y fauna que se puedan ver afectadas por estos fenómenos.

A pesar de que la gestión antrópica no puede evitar el desarrollo de estas dinámicas naturales, si se pueden desarrollar diversos mecanismos, que, a partir del conocimiento del fenómeno natural, brinden insumos útiles para la toma de decisiones. Adicionalmente resulta fundamental hacer más robustos estas investigaciones en el marco de la gestión del riesgo de desastres, ya que resultan como elemento fundamental en el proceso de reducción del riesgo, por medio de la disminución de los impactos sobre los territorios.

³² DESINVENTAR. [Sitio Web]. Eventos de lluvia para el valle del Cauca-Colombia. [Consultado el 21-02-23]. Consultado en: <https://www.desinventar.net/DesInventar/results.jsp>

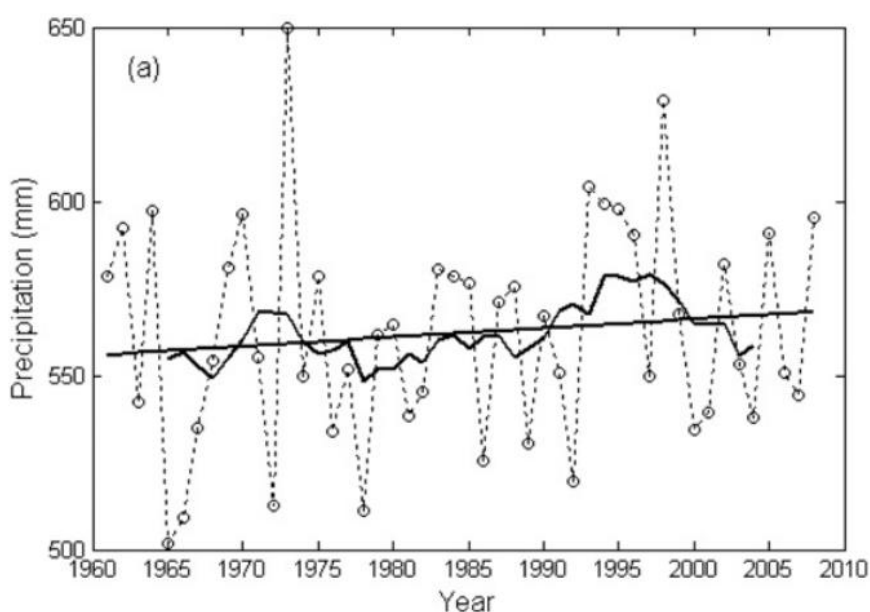
2. ANTECEDENTES EN EL ANÁLISIS DE PRECIPITACIÓN EXTREMA

Han sido varias las investigaciones que han indagado sobre la evaluación de eventos extremos de precipitación y sus tendencias en varias regiones del mundo. La necesidad del acotamiento de los análisis ha sido imprescindible y se registran varias publicaciones que empiezan a ahondar desde diferentes escalas el estudio de los extremos de precipitación en ciudades, regiones y países. Para el presente estudio se decidió tomar las investigaciones realizadas en los últimos años, para que se enmarque dentro de la coyuntura de cambio y variabilidad climática. De esta manera se procede a establecer tres escalas: global, regional, y nacional/municipal.

2.1 Escala global

Song *et al.*³³, en 2011, realizaron un análisis de las tendencias de precipitación en la República de China para el periodo lluvioso (mayo-septiembre) a partir del registro de 524 estaciones de alta precisión en diferentes regiones climáticas del país, durante el periodo de 1961 hasta 2008. El trabajo involucró **índices de intensidad y frecuencia**, a los que se aplicaron pruebas de tendencia mediante la prueba no paramétrica de Mann- Kendall. Dentro de los principales resultados a partir del análisis de las tendencias se evidenció un aumento de las precipitaciones en el período de estudio, con una importante variabilidad interanual (**Ver Figura 1**).

Figura 1. Variabilidad interanual de precipitación.



Fuente: Song *et al.*, 2011

³³ SONG, Yanling; ACHBERGER, Christine; LINDERHOLM, Hans. c. Op., Cit., p. 1-3.

Adicionalmente se observó aumentos significativos en la tendencia de las precipitaciones en la estación más lluviosa, con oscilaciones entre 18.9 y 355.9 mm, en el 22% de las estaciones. Sin embargo, hacia el noreste de China se evidenciaron tendencias negativas de precipitación a nivel estacional para 118 de las 177 estaciones localizadas en esta zona. A nivel general se concluyó que hay un cambio hacia un clima de estación lluviosa ligeramente más húmedo en el oeste. Se determinó un aumento en la precipitación incluyendo variabilidades interanuales, que van a tener como principal diferenciador las regiones ubicadas sobre los climas monzónicos. Adicionalmente, los autores destacan un aumento en las precipitaciones a nivel nacional implicando que regiones con clima monzónico templado ubicadas hacia el este se convirtiesen en más secas.

A su vez, Mukherjee *et al.*³⁴, en 2018, menciona que, la India se ha enfrentado históricamente a diversos eventos de precipitaciones extremas que han generado un gran daño a la infraestructura y han afectado las vidas de millones de personas, tal y como lo fueron las inundaciones de Bangalore en el sur del país en julio de 2016, además de las inundaciones en Mumbai para 2005 que costaron 1094 vidas. Para la investigación realizaron análisis desde las variables de frecuencia e intensidad de las lluvias, que demostraron que en efecto hay cambios en los regímenes de precipitación y cambios en la dinámica de temperatura, en especial para la parte sur del país. Este análisis a partir de registros históricos, brindó también periodos de retorno y proyecciones que confirmó que, a partir de varias simulaciones en el modelo climático, el aumento de los eventos de precipitación extrema, están vinculados directamente con el calentamiento climático, por medio de un mayor contenido de humedad atmosférica.

Valiéndose de la tendencia no paramétrica de Mann-Kendall y la pendiente de Sen, Mukherjee *et al.*³⁵, evidenciaron que, la precipitación máxima anual para el período de 1979 a 2015 aumentó para gran parte del país, exceptuando regiones como la llanura del Ganges, el noreste, Jammu y Cachemira. Tal oscilación se da entre -20 y +20%. Concluyeron que, para la disminución en la llanura del Ganges, puede tener incidencia la reducción de precipitaciones en la temporada del monzón, a partir del aumento de aerosoles atmosféricos y el calentamiento del océano. Aunque la mayoría de eventos de precipitación extrema ocurren durante la temporada del monzón, se evidenció una relación negativa con la temperatura superficial del aire, lo que conllevó a concluir que aquel parámetro no es un buen predictor de extremos de precipitación en la India.

³⁴ MUKHERJEE, Sourav; AADHAR, Saran; DAITHI, Piedra; MISHRA, Vimal. Increase in extreme precipitation events under anthropogenic warming in India. En: *Weather and Climate Extremes*. 2018, vol 20, p. 45-47. ISSN 2212-0947

³⁵ *Ibíd.*, p. 45-47

Para el año 2019, Ashcroft *et al.*³⁶, realizaron un estudio de eventos históricos de precipitaciones extremas en las ciudades de Melbourne, Sídney y Adelaide en Australia. Tal análisis se enmarcó en el cálculo de cuatro índices: A) RD: recuentos de días de lluvia; B) Rtot: totales de lluvia mensuales; C) Rx1day: totales de precipitación diaria más alta; D) SDII: índice de intensidad diaria simple, para los últimos 178 años en el período 1839-2017. Esta investigación se centró en la relación del patrón de precipitación en estas ciudades y el ENOS, además de otros parámetros naturales que condicionan el comportamiento climático en la zona. La investigación se presenta como fundamental en la gestión del agua y la evaluación del riesgo para la vida y la infraestructura, en ese sentido los eventos de precipitación extrema pueden ser potencialmente peligrosos en ciudades con tasa alta de densidad de población. Para el caso australiano, el 45% de la población se concentra en tres ciudades: Sídney, Melbourne y Adelaide. Este análisis histórico con un fuerte componente de impactos económicos evidenció que el costo de uno de los eventos recientes más severos, ocurrido en el 2016, supuso pérdidas para la economía nacional de al menos unos USD 420 millones.

Dentro de los principales resultados se encontró que, en Sídney, se muestra menos de un ciclo estacional con un pico de febrero a mayo. La influencia costera en esta ciudad y la influencia de lluvias extremas durante los meses más fríos, generan menos variación estacional de lluvias extremas en comparación con Melbourne. Para Adelaide, se encuentra el punto máximo de lluvias entre mayo y junio, adicionalmente, la gran cantidad de eventos de precipitación extrema en esa época, puede deberse a micro y macro factores como lo son: la reducción de cantidad de sistemas frontales sobre la ciudad en el invierno austral en comparación con el otoño, o un cambio marítimo en los entornos de tormenta eléctricas circundantes a medida que el océano se vuelve más cálido que la tierra.

2.2 Escala regional

Para el caso regional en Latinoamérica, han sido varios los avances llevados a cabo en Brasil. Un ejemplo, es el trabajo desarrollado por Marengo *et al.*³⁷, quienes desarrollan un análisis de las precipitaciones extremas para el área metropolitana de Sao Paulo en Brasil. Ellos parten de una evaluación de impactos a partir de inundaciones, crecidas repentinas y sequías que afectan zonas urbanas y rurales. Adicionalmente, mencionan que existen áreas con una propensión más alta a sufrir afectaciones por encontrarse en condiciones altas de vulnerabilidad, realizando mención de las

³⁶ ASHCROFT, Linden; KAROLY, David; DESALIÑADO, Andrew. Historical extreme rainfall events in southeastern Australia. *En: Weather and Climate Extremes*. 2019. Vol 25. p. 1-4. ISSN 2212-0947

³⁷ MARENGO, Jose; AMBRIZZI, Tercio; ALVEZ, Lincoln; BARRETO, Naurinete; SIMOES, Michelle; RAMOS, Andrea. Changing Trends in Rainfall Extremes in the Metropolitan Area of Sao Paulo: Causes and Impacts. *En: Frontiers in Climate*. 2020, Vol 3, p. 1-5. ISSN 26249553.

implicaciones de vivir en megaciudades, donde a partir de la alta densidad poblacional, se incrementan los riesgos por desastre de origen natural en el contexto de cambio climático.

Este análisis evaluó los siguientes índices: A) PRCPTOT: precipitación total anual acumulada; B) CDD: días secos consecutivos; C) Rx5D: máximo anual de precipitaciones durante 5 días consecutivos; D) R95p: total de precipitación mayor al percentil 95 de la distribución de precipitación diaria; E) Wet Days: días húmedos. A partir de esto se evidenció el aumento de número de días secos consecutivos de 30 en 200 a 50 entre 200, para 2019. Adicionalmente, el aumento de precipitación total se ve acompañado de episodios de precipitaciones más intensas que se están produciendo en largos periodos secos para las estaciones de Mirante de Santana e IAG-USP, ubicadas en el centro del área metropolitana de Sao Paulo. A nivel general se concluye que todos los índices climáticos presentan tendencia creciente a lo largo de todo el periodo de estudio, sin embargo, no se evidenciaron tendencias significativas para el período 2000-2019. Aunque no se presenta una variación importante de CDD, y RX5day, si se evidencia una fuerte variabilidad interanual. Los cambios más significativos se enmarcan dentro del periodo de verano, generando que el cambio climático tenga participación en estos cambios, concentrando en unos pocos días, las precipitaciones más intensas.

Adicional del tratamiento técnico y estadístico indispensable para llevar a cabo este tipo de investigaciones, Marengo *et al.*³⁸, realizaron el análisis desde la perspectiva de desastres, los que generan grandes pérdidas humanas y materiales. El análisis histórico se hizo no solo desde la información pluviométrica diaria, sino también desde los eventos de precipitación más grandes acontecidos, y las consecuencias en pérdidas de vidas y económicos a lo largo de varios periodos de lluvias importantes, que constituyen una perspectiva integral del análisis que se intenta dar a conocer. A partir de esto, dan, luego de los escenarios tendenciales, recomendaciones a las autoridades locales, de la importancia que presenta tal análisis y algunos de los puntos que deben presentar más importancia y rigurosidad en las agendas gubernamentales.

De igual manera Marengo *et al.*³⁹, a partir de una caracterización zonal del clima en Sao Paulo, y por medio de una rigurosidad en la indagación de eventos previos para la región y en Brasil, mencionan que algunos eventos de lluvias extremas se consolidan en eventos de deslizamientos de tierra, inundación y erosión acelerada evidenciada por grandes calamidades para el área metropolitana de Sao Paulo. Concluyendo de esta manera que el aumento de la intensidad y frecuencia de las precipitaciones intensas, especialmente en sureste, ha provocado inundaciones y deslizamientos del

³⁸ MARENGO, Jose; ALVEZ, Lincoln; AMBRIZZI, Tercio; YOUNG, Andrea; BARRETO, Naurinete; RAMOS, Andrea. Trends in extreme rainfall and hydrogeometeorological disasters in the Metropolitan Area of Sao Paulo: a review. *En: Annals of the New York Acadant of Science*. 2020, vol 1, p. 1-16. ISSN 17496632.

³⁹ *Ibíd.*, p. 1-16.

área metropolitana de Sao Paulo. Adicionalmente, se proyecta un aumento de frecuencia e intensidad mayor en la zona norte del área de estudio. Por último, la variabilidad climática que se ha desarrollado en la zona, trae consigo concentración de lluvias intensas que está suponiendo un alto riesgo sobre todo para la población más vulnerable que se encuentra expuesta frente a zonas de inundación y deslizamientos.

También en Suramérica, Cerón *et al.*⁴⁰, realizaron un análisis con base en el incremento reciente de eventos extremos de precipitación en la cuenca de La Plata. La representatividad de este estudio, radica en primer lugar en la extensión de la misma, la cual es la quinta cuenca hidrográfica más grande del mundo, adicional, más de 100 millones de personas se asientan en varios países alrededor de la misma que integra fronteras entre varios países de la región. En relación con esto, esta cuenca participa en la producción de más del 70% del producto interno bruto [en conjunto] de Brasil, Argentina, Paraguay, Bolivia y Uruguay. El incremento ya evidenciado de las tendencias de precipitación en el sur de la cuenca presentado en estudios previos, fueron contrastados con registros intensos de precipitación en varias subcuencas como la del río Paraná, y en especial del suroeste brasileiro, generando patrones de déficit de precipitaciones al norte de la cuenca, lo que supuso graves eventos de sequías para ciertas regiones.

A partir de esto, se realizaron un análisis con datos tomados de *Climate Hazards, Group Infrared Precipitation* (CHIRPS) a nivel estacional, involucrando la temperatura superficial del mar a nivel mensual, los vientos zonales, meridionales y la humedad específica. Con estos insumos, realizaron una homogenización de las regiones de precipitación, por medio de análisis jerárquico de conglomerados en conjunto con el análisis de componentes principales. Algunos de los principales resultados son: el aumento de la variabilidad interanual de norte a sur, valores de precipitaciones estacionales total en días húmedos producidas principalmente en verano.

Adicionalmente los valores más bajos de Rx5day (precipitación máxima durante cinco días consecutivos) y R10mm (número de días de fuertes precipitaciones) se presentan en invierno; los valores de CDD (días secos consecutivos) son más bajos en verano y más altos en invierno; el patrón de precipitación total de verano presenta los mayores valores en la región norte de la cuenca y los más bajos al sur; y durante los periodos de marzo-abril-mayo y septiembre-octubre-noviembre, muchos de los índices presentan una distribución más uniforme de precipitaciones sobre la cuenca en general. En conclusión, se presentaron mayores variaciones a nivel estacional para diciembre-enero-febrero y junio-julio-agosto. Un aumento del R10mm (conteo de días con precipitaciones superiores

⁴⁰ CERÓN, Wilmar; KAYANO, Mary; ANDREOLI, Rita; AVILA, Alvaro; AYES, Irma; FREITAS, Edmilson; MARTINS, Jorge; SOUZA, Rodrigo. Recent intensification of extreme precipitation events in the La Plata Basin in Southern South America (1981-2018). En: Atmospheric Research. 2020, 249, p. 6-15. ISSN 01698095.

a 10 mm) y reducción de CDD (días secos consecutivos) de 1999, se relacionó con el calentamiento del Atlántico Subtropical Suroccidental, evidenciado por medio del transporte diferencial interanual de humedad de bajo nivel sobre Sudamérica. Lo cual, concluye finalmente que el calentamiento de esta zona hace parte de un cambio a largo plazo en la variabilidad de las anomalías de la temperatura superficial del mar, presentando repercusiones en la variabilidad de las precipitaciones extremas calculadas a lo largo de las diversas regiones de la cuenca de La Plata.

2.3 Nivel nacional/municipal

En Bogotá, para el año 2019, Aragón & Lerma⁴¹ realizaron un análisis de precipitación extrema A partir del registro histórico para el período 1981-2010, y con pocos estudios previos de la zona, calcularon 10 índices de frecuencia e intensidad, donde, por medio de modelos VAR, que consistió en usar información de las estaciones meteorológicas de temperatura máxima y mínima para llenar datos de precipitación, y valiéndose de los polígonos de Thiessen para agrupación de las estaciones, realizaron un análisis descriptivo univariado para la exploración de datos de precipitación diaria multianual.

Los índices utilizados fueron: RX1day (cantidad máxima de precipitación en un día) , RX5day (cantidad máxima de precipitación en cinco días) , R5 (número de días sobre 5 mm de precipitación), R10 (número de días de precipitación intensa), R20 (número de días con precipitación muy intensa), CDD (días secos consecutivos), CWD (días húmedos consecutivos), R95P (días muy húmedos), R99P (días extremadamente húmedos) y PRCPTOT (precipitación total anual en los días húmedos), utilizando cuatro tipos de interpolaciones: *kriging* lineal, vecino natural, *spline* e Inverso de la distancia ponderada IDW.

Algunos de los principales resultados son, tendencia positiva de días extremadamente húmedos para casi todas las estaciones con valores de hasta 5.5 mm/año, tendencia positiva en índice de días secos consecutivos para 10 estaciones, con crecimiento de hasta 8.1 días/década, y una tendencia negativa para las 13 estaciones restantes. Concluyen, principalmente, que hubo un aumento de lluvias en las zonas de periferia suroriental de la ciudad, las cuales son zonas de alta pendiente, propiciando el potencial desarrollo de calamidades por medio de procesos de remoción en masa. Adicional, por medio de interpolación IDW, establecieron que existen dos grandes zonas de mayor precipitación, ubicadas hacia el oriente y centro de la ciudad.

⁴¹ ARAGÓN, Juan; LERMA, Brayan. Análisis espacio temporal (1981-2010) de la precipitación en la ciudad de Bogotá: avances en la generación de índices extremos. En: *Revista facultad de ingeniería*. 2019, Vol, 28 (51), p. 51-68. ISSN 2357- 5328.

Ávila *et al.*⁴², en 2019, realizaron un valioso aporte para el análisis de tendencias de precipitación e inundaciones en la cuenca alta del río Cauca. Este análisis inició mencionando aquellas complejidades geográficas que condicionan el ciclo hidrológico de la región en conjunto con aspectos de variabilidad climática en las diferentes temporalidades del régimen bimodal del clima y algunas de las incidencias que presenta en el desarrollo de la economía local. A partir de la mención de algunas consecuencias en costos humanos y económicos de algunos eventos ocurridos, como el fenómeno de La Niña del 2010-11, mencionan la necesidad de establecer un enfoque multidisciplinar para comprender el impacto de la variabilidad y el cambio climático.

Por medio de la ejecución de índices climáticos de: PRCPTOT (precipitación total anual en días húmedos), RX1day (cantidad máxima de precipitación de un día), RX5day (cantidad máxima de precipitación en cinco días), r95p (días muy húmedos), nw (número de días húmedos), R30mm (número de días de precipitaciones muy intensas), CWD (días lluviosos consecutivos) y CDD (días secos consecutivos), concluyeron que la precipitación total anual tuvo tendencias positivas hacia el norte de la cuenca y negativas hacia el centro de la misma. A nivel estacional, presentó tendencias negativas, siendo a nivel general, una disminución de PRCPTOT en las últimas cuatro décadas, particularmente en la región central, sugiriendo que las precipitaciones disminuyen particularmente en las estaciones lluviosas de marzo-abril-mayo y septiembre-octubre-noviembre y en las estaciones secas de junio-julio-agosto.

La ejecución de esta investigación validó ciertos estudios previos donde se detectaron tendencias positivas significativas en las precipitaciones sobre los Andes ecuatoriales para diciembre-enero-febrero y marzo-abril-mayo, además de una tendencia negativa para junio-julio-agosto desde 1963 hasta 1993. Siendo la principal conclusión que la tendencia generalizada es de aumento de precipitación para diciembre-enero-febrero y disminución de la misma en junio-julio-agosto y septiembre-octubre-noviembre.

En el año 2020, Cerón⁴³, realizó una investigación que caracterizó la variabilidad espacio- temporal de la precipitación y las características océano- atmosféricas que se presentan en el Chocó biogeográfico colombiano y en la cuenca de La Plata en límites entre Argentina, Brasil, Uruguay, Bolivia y Paraguay. Las técnicas utilizadas para determinar el mejor tipo de interpolación se realizaron por medio del método de validación cruzada, implicando métricas de validación como el RMSE (error cuadrático medio), RMSSE (raíz del error cuadrático medio) y el ASE (error estándar

⁴² ÁVILA, Álvaro *et al.* Op., Cit., p. 2-6.

⁴³ Op. Cit. CERÓN, Wilmar, 2020. p. 12, 217-219.

medio) que determinaron que el mejor modelo de interpolación, de acuerdo a la superficie, era el método Cokriging con el modelo esférico gaussiano.

Por medio de datos de *Climate Hazards Group Infrared Precipitation with Station data* (CHIRPS) Cerón, realizó una validación de datos de precipitación que caracterizan las áreas de estudio que investigó, para poder determinar la intensificación de eventos extremos de precipitación desde 1981 hasta 2018.

Dentro de los principales resultados para el área del Chocó Biogeográfico colombiano, encontró que, de acuerdo con las interpolaciones y validaciones llevadas a cabo, existen tres núcleos principales de precipitaciones intensas que se producen en el flanco occidental de la dorsal occidental sobre la parte media de la región en dirección oeste-este. Estos núcleos se distribuyen así: 1) subregión del pacífico norte, donde las menores precipitaciones ocurren en el primer semestre del año y las mayores entre julio y noviembre. 2) Cuenca del Patía, presentando los mayores valores de precipitaciones de la región, con valores superiores a 900 mm durante los periodos marzo- abril- mayo y septiembre-octubre- noviembre. 3) Subregión pacífico sur, presentando los mayores valores de precipitación durante el primer semestre del año y el menor para el trimestre junio- julio- agosto⁴⁴.

En lo referente para la cuenca de La Plata, el mencionado autor encontró que existe un gradiente oeste- este con un mínimo de 458 mm en la parte más alta de la cuenca en Bolivia. Los valores más altos se presentan con 2.000 mm en la triple frontera entre Brasil, Paraguay y Argentina. De igual manera, se presentan abundantes precipitaciones al norte de la cuenca alcanzando los 1.600 mm⁴⁵.

Dentro de las principales conclusiones, para el Chocó Biogeográfico colombiano se encuentran anomalías de la temperatura superficial en el pacífico tropical y también anomalías en el Mar Caribe y Atlántico tropical, que, por medio del análisis de índices, pudo evidenciar que la humedad es transportada hacia el centro y oeste de Colombia, aumentando las precipitaciones. En lo referente a la cuenca de La Plata, encontró que las recientes intensificaciones de precipitaciones en esta cuenca, se han acentuado hacia el sur de la misma, en una dinámica asociada principalmente al aumento del número de días de precipitación intensa durante el período septiembre-octubre-noviembre. Sin embargo, las tendencias negativas, de la cuenca norte, se asociaron con el aumento de días secos consecutivos y a la disminución de precipitación máxima consecutiva de cinco días (RX5day) principalmente durante el período junio-julio-agosto.

⁴⁴ Op. Cit. CERÓN, Wilmar. 2020. p. 67-69.

⁴⁵ Op. Cit. CERÓN, Wilmar. 2020. p. 72-74.

3. MARCO REFERENCIAL

3.1 Variabilidad y cambio climático

La variabilidad climática, de acuerdo con Cerón⁴⁶, es una variación en el estado medio del clima, expresado a través de variaciones estadísticas climáticas tales como desviaciones típicas, aparición de fenómenos extremos entre otros, en escalas temporales y espaciales definidas. Asimismo, la variabilidad climática es caracterizada como la aparición de fenómenos meteorológicos individuales que suponen fluctuaciones de condiciones atmosféricas predominantes. Esta variabilidad puede ser el resultado de procesos naturales internos del sistema climático o de variaciones externas propiciadas por agentes antropogénicos, influyendo en los patrones de precipitación y temperatura, entre otras variables atmosféricas y oceánicas.

Dentro de las principales escalas temporales, en las que se enmarca la variabilidad climática, Montealegre & Pabón⁴⁷ refieren las siguientes: a) **estacional**, que corresponde a las fluctuaciones climáticas mensuales que para las zonas tropicales son entendidas como periodos secos y lluviosos, mientras que en las latitudes medias se refiere a estaciones de invierno, primavera, verano y otoño; b) **interanual**, que son los cambios de un año a otro, como lo pueden ser aquellas sucesiones de varios periodos secos seguidos de una estación de eventos de lluvias fuertes y prolongados; y c) **interdecadal**, que hace referencia a los cambios en los periodos de 10 años o superiores, como lo es la Oscilación Decadal del Pacífico.

De acuerdo con el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM)⁴⁸, la variabilidad climática se enmarca bajo la **temporalidad corta** (meses hasta una década) de análisis de las condiciones de la atmósfera que refiere una variabilidad innata; sin embargo, cuando se refiere a cambio climático, es necesario estudiar el comportamiento de esas variables climáticas por temporalidades más extensas (de 30 años o más), para poder establecer comparaciones con otros intervalos de tiempo y posteriormente indicar si ha habido un cambio climático y determinar sus expresiones. En este sentido IDEAM⁴⁹ afirma que “un cambio gradual en la temperatura y la precipitación en el país, generado por el cambio climático, podría ocasionar que los efectos de

⁴⁶ Op. Cit. CERÓN, Wilmar. 2020, p. 37.

⁴⁷ MONTEALEGRE, J. & PABÓN, J. La Variabilidad Climática Interanual Asociada Al Ciclo El Niño-La Niña-Oscilación Del Sur Y Su Efecto En El Patrón Pluviométrico De Colombia. Citado por CERÓN, Wilmar. VARIACÕES MULTIDECENAIAS DA PRECIPITAÇÃO NA COLÔMBIA E NA BACIA DO PRATA E SUAS RELAÇÕES COM OS JATOS DE BAIXOS NÍVEIS. Tesis doctoral. Brasil, Manaus. 2020. p. 37.

⁴⁸ INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. [Sitio web]. Conceptos básicos de cambio climático. [Consulta: 17 de febrero]. Disponible en: <http://www.cambioclimatico.gov.co/otras-iniciativas>

⁴⁹ IDEAM; PNUD; MADS; DNP; CANCELLERÍA. Op., Cit., p. 16.

fenómenos de variabilidad climática como El Niño o La Niña, tengan mayor impacto en los territorios y sectores.”

Por otro lado, de acuerdo con Andrea Lampis⁵⁰, la investigación sobre el cambio climático ha estado dominada por las ciencias naturales, a partir de la modelación de escenarios, donde el enfoque principal se centra en el impacto del cambio global ambiental; adicionalmente, estos avances se van gestando en un marco político, donde los campos de meteorología y física van liderando. Lampis, afirma que el alcance espacial de las amenazas relacionadas con el cambio climático, como la alteración de la temperatura, es global y heterogéneo; su grado de incertidumbre varía entre mediano y alto, y la causa no solo es natural (lo que reduciría el cambio climático a un problema de variabilidad climática) sino también antropogénico, lo que, conjuntamente con la escala temporal del fenómeno y su característica de transformación paulatina de las condiciones climáticas del planeta, lo convierte en un asunto de cambio ambiental global, que va mucho más allá del aspecto climático *per se*⁵¹.

De esta manera, se va consolidando una perspectiva ambiental e inherente del comportamiento cíclico del tema atmosférico, hacia una influencia permeada por el actuar del ser humano, que determina las relaciones y responsabilidades asumibles dentro de lo que se alcanza a catalogar en el marco de variabilidad climática y cambio climático, sin desconocer las injerencias que una pueda tener sobre la otra de manera unidireccional y/o bidireccional.

Hunt & Elliott⁵², proponen una visión más técnica de la relación entre cambio climático, variabilidad climática y otros elementos como cambios de temperaturas, efecto invernadero y actividades antrópicas. La problematización inicial parte en establecer la relación entre variabilidad climática y cambio climático y sus potenciales relaciones. La incorporación de series anuales, mensuales o diarias, resultan fundamentales para el análisis de estos dos conceptos. Tal perspectiva supone la identificación de una línea generalmente oculta entre cambio climático y variabilidad climática, suponiendo también la potencial inexistencia de esa separación, por medio de una combinación entre variabilidad y cambio climático, que solo puede ser determinada, por medio de los análisis focales en una escala de tiempo, contrarrestados y validados con otros estudios afines dentro del mismo contexto.

⁵⁰ LAMPIS, Andrea. Vulnerabilidad y adaptación al cambio climático: debates acerca del concepto de vulnerabilidad y su medición. En: *Cuadernos de geografía*. 2013, Vol.22, 2, p. 18. ISSN 0121-215X.

⁵¹ Ibid., p. 28.

⁵² HUNT, B.G & ELLIOTT, T.I. Interaction of Climatic Variability with Climatic Change. En: *Atmosphere*. 2004, Vol. 42, 3. p. 146-147. ISSN 14809214.

3.2 Eventos extremos de precipitación

Los eventos extremos son fenómenos climáticos de **gran intensidad**, poca frecuencia, que presentan efectos ambientales y sociales adversos, ya sea a nivel regional o local⁵³. Desde una perspectiva de variabilidad climática, son producto de la interacción del sistema climático en la: atmósfera, hidrósfera, criósfera, litósfera y biósfera⁵⁴. A partir de esto se derivan los dos principales tipos que están asociados a sequías y tormentas [precipitaciones extremas]⁵⁵.

Los eventos extremos de precipitación son entendidos como la cantidad máxima de precipitación en diversas escalas temporales, que se desarrollan y son superiores a los niveles promedio de la entidad que registra⁵⁶. También son entendidos como aquellos episodios lluviosos de gran intensidad capaces de desencadenar procesos geomorfológicos de notable magnitud e importantes consecuencias en pérdidas económicas y humanas⁵⁷.

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), asume que los eventos extremos de precipitación se caracterizan por los fuertes impactos que causan sobre los ecosistemas, la población y la economía. Se manifiestan, por un lado, por la ocurrencia de periodos extensos con déficit de precipitación y, por otro, por precipitaciones intensas que ocurren en una escala corta de tiempo o durante periodos extensos de lluvia⁵⁸.

La caracterización de estos eventos de precipitación tendrá una variación de acuerdo al autor que se refiera, el incremento o disminución del dato pluviométrico en una temporalidad determinada, o de los índices de frecuencia, intensidad y duración, entre otros. Sin embargo, uno de los elementos que más agudiza este evento, es la integración con la vulnerabilidad de los elementos expuestos.

Los impactos de estos eventos, han sido los más fuertes históricamente en Colombia, puesto que su gravedad está asociada a la vulnerabilidad de las regiones, debido a las falencias en la planificación territorial, en los sistemas de salud, en el tratamiento y distribución de agua, entre otros. A esto también se suma el incremento de las tasas de deforestación, erosión del suelo y de los procesos inadecuados de ocupación del territorio que

⁵³ TABASCO [Sitio web]. Eventos extremos. [Consultado el 21-06-23] Consultado en: <https://tabasco.gob.mx/eventos-extremos#:~:text=Aunque%20no%20hay%20definici%C3%B3n%20precisa,ya%20sea%20regional%20o%20localmente>.

⁵⁴ COMISIÓN COLOMBIANA DEL OCÉANO [Sitio web]. Eventos extremos. [Consultado el 21-06-23] Consultado en: <https://cco.gov.co/eventos-extremos.html>

⁵⁵ SEELMANN, David. EVALUACIÓN DEL IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EVENTOS EXTREMOS. ANÁLISIS DE RIESGO DE SEQUÍAS E INUNDACIONES USANDO MÉTODOS SIMPLES. Tesis de pregrado. Santiago de Chile: Universidad de Chile, 2017, p. 1.

⁵⁶ EXPERT TEAM ON CLIMATE CHANGE DETECTION AND INDICES [sitio web]. Climate Change Indices. [Consultado el 21-06-23] Consultado en: http://etccdi.pacificclimate.org/indices_def.shtml

⁵⁷ ÁVILA, Karla. ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE EVENTOS EXTREMOS DE PRECIPITACIÓN EN LA ZONA CENTRO Y SUR DE CHILE CONTINENTAL. Tesis de maestría. Barcelona: Universitat de Barcelona, 2012, p. 4.

⁵⁸ IPCC. Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change, citado por RODRÍGUEZ, Melissa. Caracterización de eventos extremos de precipitación diaria en Colombia: Observaciones, simulaciones y proyecciones. Medellín. 2018. p. 7.

propician mayor susceptibilidad a inundaciones y deslizamientos, los cuales constituyen las principales causas de pérdida de vidas y viviendas en Colombia entre 1970 y 2011.⁵⁹

En lo referente al caso local, de acuerdo con López Zapata⁶⁰,

Los principales valles de los tres brazos de los Andes colombianos, corresponden a las áreas con mayor frecuencia de eventos de precipitación extrema, y donde también existe la mayor frecuencia en la intensificación de estos eventos, (específicamente en las cuencas que tributan a él). Este comportamiento ha sido consistente en las temporadas de máxima precipitación en la región (marzo- abril- mayo y septiembre- octubre- noviembre).

Tal comportamiento diferenciado tendrá una injerencia directa con el contexto propio de cada área de estudio en particular. El establecimiento de una medida de las características de intensidad, frecuencia y duración históricas que se consolidan para un área puntual, son la mejor unidad de referencia para determinar si el comportamiento de un evento de precipitación excede o limita el promedio usual.

3.3 Equipo de expertos sobre detección e índices del cambio climático e índices (ETCCDI)

El *Expert Team on Climate Change Detection and Indices* (ETCCDI) o Equipo de Expertos sobre Detección e Índices de Cambio Climático, es la autoridad institucional para medir y caracterizar objetivamente la variabilidad y el cambio climático, proporcionando coordinación internacional y gestionando la organización de colaboración de temas relacionados con cambio climático, por medio del fomento de comparación de datos y observaciones de modelados⁶¹.

A partir de esto, el ETCCDI⁶², ha dispuesto una serie de índices que propendan por el seguimiento, detección y atribución de cambios en los extremos climáticos. Se presentan índices de: a) **frecuencia**, que hace alusión principalmente al recuento dentro de un período de tiempo delimitado, la cantidad de días que cumplen con un parámetro establecido; a) **intensidad**, que hace alusión principalmente al recuento dentro de un período delimitado, la cantidad de precipitación que cumple con un parámetro establecido; y c) **duración**, que hace alusión principalmente a la permanencia de un parámetro establecido (índices en Tabla 3).

⁵⁹ Banco Mundial. Análisis de la gestión del riesgo de desastres en Colombia: un aporte para la construcción de políticas públicas. Bogotá – Colombia, citado por RODRIGUEZ, Melissa. Caracterización de eventos extremos de precipitación diaria en Colombia: Observaciones, simulaciones y proyecciones. Medellín. 2018. p. 8.

⁶⁰ LÓPEZ, Silvana. Análisis de la variabilidad espacio-temporal de los eventos de precipitación extrema y su relación con las descargas eléctricas en la región andina colombiana. Tesis de maestría. Medellín: Universidad Nacional de Colombia, 2021, p. 100.

⁶¹ EXPERT TEAM ON CLIMATE CHANGE DETECTION AND INDICES [sitio web]. Overview. [Consulta: 17 de febrero]. Disponible en: <http://etccdi.pacificclimate.org/>

⁶² EXPERT TEAM ON CLIMATE CHANGE DETECTION AND INDICES [sitio web]. Overview. [Consulta: 17 de febrero]. Disponible en: <http://etccdi.pacificclimate.org/index.shtml>

4. METODOLOGÍA

4.1 Tipo de estudio

El tipo de estudio que se realizó es eminentemente descriptivo puesto que, valiéndose de la evaluación de las tendencias de las precipitaciones, se analizó el comportamiento espacio-temporal de las mismas, en las diferentes estaciones identificadas dentro del área de estudio a nivel trimestral. Adicionalmente, el estudio se centró en la descripción de aquel comportamiento evaluado por medio de su medición y posterior valoración.

4.2 Área de estudio

Colombia es un país susceptible a catástrofes y [a sufrir] desastres, los cuales, en un 90% están asociados a fenómenos hidrometeorológicos⁶³, a partir de su ubicación geográfica en la zona de migración de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), su cercanía a los océanos, a la Amazonía y por sus condiciones propias de relieve. En el departamento del Valle del Cauca, localizado en el suroccidente colombiano, se presenta un marcado ciclo de precipitación bimodal relacionado con la ZCIT, además de la presencia de la corriente superficial del Chocó, que, en conjunto con la aceleración de Coriolis, los vientos alisios, entre algunos otros fenómenos naturales, condicionan las características climáticas de la región⁶⁴.

En el suroccidente colombiano, el rango altitudinal que comprende el área de estudio seleccionada va desde los 950 hasta los 4.070 m.s.n.m., generando un área de convergencia entre la región Pacífico y Andina, que posibilita el cruce de vientos marinos desde el Océano Pacífico hacia el interior del Valle geográfico del río Cauca⁶⁵. Para el pacífico colombiano, se presentan patrones bimodales de lluvia que propician precipitaciones durante todo el año, generando una mayor abundancia y frecuencia de precipitación en el Norte y Centro durante agosto a noviembre y para la zona Sur, entre enero y junio⁶⁶.

⁶³ CARVAJAL, Yesid; JIMÉNEZ, Henry; MATERÓN, Hernán. Incidencia del fenómeno ENSO en la hidroclimatología del Valle del Río Cauca- Colombia. En: *Bulletin de Institut Français d'Études Andines*. 1998, Vol., 27, Núm. 3, p. 744. ISSN 0303-7495

⁶⁴ SERNA, Lina; ARIAS, Paola; VIEIRA, Sara. Las corrientes superficiales de chorro del Chocó y el Caribe durante los eventos de El Niño y El Niño Modoki. En: *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*. 2018, Vol. 42, n. 165, p. 411. ISSN 0370-3908.

⁶⁵ CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA. Plan integral de adaptación y mitigación al cambio climático para Santiago de Cali. Informe de la CVC con apoyo del Centro Internacional de Agricultura tropical CIAT Y el Departamento Administrativo de Gestión Medioambiental DAGMA. Santiago de Cali, 2016.

⁶⁶ ÁVILA, Álvaro; CARDONA, Faisury; CARVAJAL, Yesid; JUSTINO, Flavio. Op. Cit. 2019. p. 1-3.

Adicionalmente, el Valle del Cauca es atravesado por la cordillera de los Andes en su ramificación de la cordillera Occidental y Central, la cual configura el paisaje para que en el departamento se establezca una planicie aluvial, por medio del paso del río Cauca, segunda fuente hídrica más importante del país, y tributarios. Este departamento, ubicado sobre el valle geográfico del río Cauca en el suroccidente colombiano, presenta interacción directa con el océano Pacífico. En la región se presentan patrones bimodales de precipitaciones que generan lluvias durante todo el año, propiciando una mayor abundancia y frecuencia de precipitación en el norte y centro durante agosto a noviembre y entre enero y junio para la zona sur⁶⁷.

El relieve plano y de poca inclinación, es aprovechado por cerca de 13 ingenios azucareros en más de 200.000 ha sembradas⁶⁸, que utilizan los suelos carentes de gran inclinación, para establecer el cultivo de caña de azúcar, maximizando sus niveles de producción. Tales cultivos, progresivamente se han ido expandiendo hasta ocupar casi la totalidad de la planicie aluvial del valle geográfico del río Cauca, convirtiéndose en un monocultivo para la región. Aparte del agotamiento de nutrientes inherente al establecimiento de monocultivos, la configuración biótica de esta planta por medio del piso térmico en el que se desarrolla y su poco tiempo entre la germinación y maduración, requiere el uso de abundante agua, oscilando en cifras entre 1200 y 1500mm de agua al año⁶⁹, según la variedad del cultivo.

El paisaje es modelado en gran medida por el río Cauca, principal tributario del río Magdalena, el más grande del país. A través de su recorrido de más de 1200 km, este cruza siete departamentos, empezando en el Cauca y seguidamente atravesando el Valle del Cauca, además de pasar por ciudades capitales como Popayán, Cali, Pereira entre otras⁷⁰. De acuerdo con MinAmbiente⁷¹, el río Cauca se ha reconocido como actor movilizador del suroccidente colombiano, siendo su cuenca proveedora de servicios ambientales [y ecosistémicos] que han posibilitado el desarrollo social y económico de numerosas regiones del país. Adicionalmente, en la cuenca alta, se han identificado un total de 23

⁶⁷ ÁVILA, Álvaro; CARDONA, Faisury; CARVAJAL, Yesid; JUSTINO, Flavio. Op. Cit. 2019. p. 1-2.

⁶⁸ CEPAL. El conglomerado del azúcar del Valle del Cauca, Colombia. En: *Naciones Unidas*. 2002, Vol.134, p. 9. ISSN 1680.-8754

⁶⁹ AGENCIA UNIVERSITARIA DE PERIODISMO CIENTÍFICO [Sitio Web]. No hay agua para tanta caña. [Consultado el 10-03-2023] Consultado en: <http://aupec.univalle.edu.co/informes/junio97/boletin40/aguacana.html>

⁷⁰ DUQUE, Gonzalo [Sitio Web]. El Río Cauca en el desarrollo de la región [Consultado el 29-03-2023]. 2019, p. 1-2. Consultado en: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/77027/elriocaucaeneldesarrollodelaregion.pdf?sequence=1&isAllo wed=y>

⁷¹ MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Plan de acción de la plataforma colaborativa para la recuperación de la cuenca alta del río Cauca. Plan de acción de grupo técnico del MinAmbiente, Propacífico, GobValle, GobCauca, CVC, CRC y Dagma. 2021. Versión 1 del documento.

subzonas hidrográficas de las cuales depende el suministro de por lo menos 55 cabeceras municipales y distritales [entre Valle del Cauca y Cauca]⁷².

Esta relación entre los diversos municipios con el afluente y sus diversos tributarios, han dinamizado la relación antrópica con el paisaje biofísico. Además de ser una característica ambiental de muchos municipios, la importancia de este afluente y el asentamiento de varios municipios cercanos entre sí bajo condiciones similares, han posibilitado una serie de relaciones bidireccionales entre varias entidades territoriales de este tipo, propiciando la consolidación de áreas metropolitanas algunas sostenidas únicamente bajo las funcionalidades que representa, como el caso del área metropolitana de Santiago de Cali, que sin un amparo legal y normativo formal, evidencia variadas expresiones inherentes a un área metropolitana, y otras, que si presentan una reglamentación legislativa que condiciona su operatividad, como el Área Metropolitana de Centro Occidente, conformada por los municipios de La Virginia, Pereira y Dosquebradas.

La funcionalidad de las áreas metropolitanas expresadas por medio de las dinámicas de desplazamiento entre el centro poblado principal y las conurbaciones, además de la existencia de un núcleo que dinamiza los centros poblados adyacentes, son fundamentalmente formadas por un conjunto de dos o más municipios integrados alrededor del municipio núcleo, vinculados entre sí por dinámicas e interrelaciones territoriales, ambientales, económicas, sociales, demográficas, culturales y tecnológicas⁷³. Esta figura normativa, se ha convertido en una de las principales figuras políticas y administrativas para delimitar zonas, en las que se yuxtaponen análisis de diversas tipificaciones. Sin embargo, muchos fenómenos naturales y antrópicos no se pueden enmarcar bajo estas delimitaciones, por lo que la comprensión de sus elementos se ven gravemente condicionados.

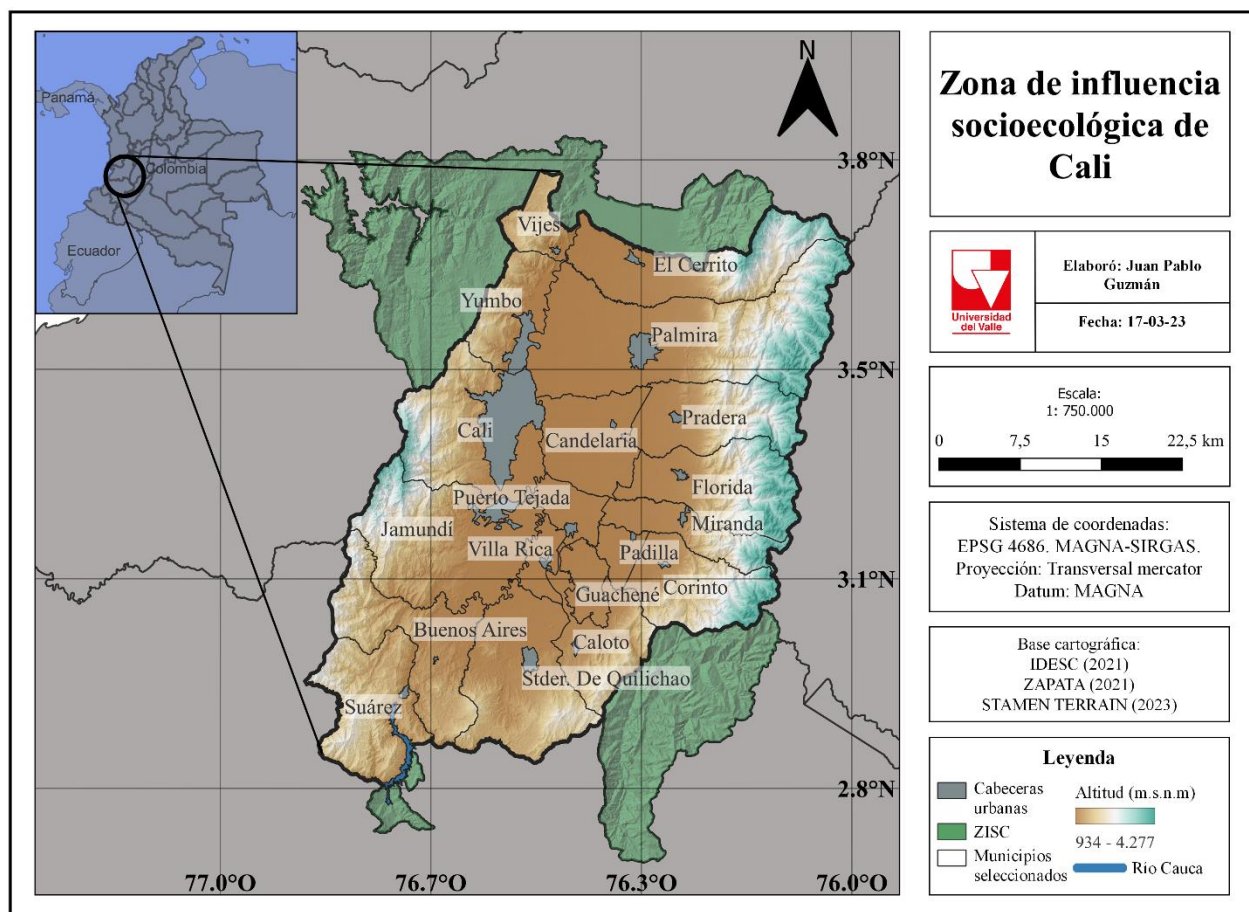
Normativamente, queda en evidencia la falta de sincretismo político que determine la consolidación legal que implica el establecimiento de un área metropolitana. En adición, la funcionalidad evidenciable, como elemento fundamental, resulta insuficiente para el establecimiento de un área metropolitana, al dejar muchos elementos por fuera de esta integración. Como consecuencia de esa apropiación del espacio, se genera la mercantilización del espacio geográfico para el máximo aprovechamiento urbano por parte del ser humano, sin embargo, omite y en muchas ocasiones afecta el equilibrio ecosistémico, que se ve gravemente interrumpido por la expansión progresiva de los centros poblados.

⁷² MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE [Sitio Web]. La cuenca y sus características básicas [Consultado el 29-03-2023]. p. 2. Consultado en: <https://www.minambiente.gov.co/gestion-integral-del-recurso-hidrico/plataformas-colaborativas/plataforma-colaborativa-2-cuenca-alta-del-rio-cauca/>

⁷³ COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPÚBLICA. Ley 1615. (29, abril, 2013). Por la cual se deroga la Ley orgánica 128 de 1994 y se expide el régimen para las áreas metropolitanas. En: función pública. Bogotá. 2013. p. 1.

En este sentido, surge la Zona de influencia Socioecológica de Cali (**Ver figura 2**), propuesta por Emmanuel Zapata en su tesis doctoral⁷⁴, la cual resulta fundamental, para entender cómo el contexto ambiental, hace presencia protagónica en la conformación de un área metropolitana. La consolidación integral de esta zona, conformada por 8577 km² de extensión, involucrando a 4'111.803 habitantes, distribuidos en dieciséis municipios del Valle del Cauca y catorce del departamento del Cauca, incorpora de manera integral la participación de funcionalidades urbanísticas y metropolitanas en conjunto con las diferentes unidades físicas y biofísicas que también confluyen en el área.

Figura 2. Mapa área de estudio: Zona de Influencia Socioecológica de Cali.



Fuente: *Elaboración propia a partir de IDESC 2021, ZAPATA 2021, STAMEN 2023*

Tal estructura Socioecológica, más allá de delimitar ecosistemas interrelacionados, propone un análisis de estructura ecológica, que permite establecer la capacidad total de la prestación de servicios ecosistémicos. Dentro de los principales resultados allí obtenidos, se presenta una fuerte capacidad

⁷⁴ ZAPATA, Emmanuel. La estructura ecológica del área de influencia metropolitana de Cali: su organización espacial y provisión de servicios ecosistémicos. Tesis doctoral. Cali. Universidad del Valle. Departamento de Biología, 2021. p. 143-146.

de prestación de servicios, a coberturas asociadas a: bosque denso, herbazales, bosque ripario, bosque fragmentado etc. Sin embargo, los resultados presentados por Zapata, evidencian que, aunque dentro de la cobertura total del área, se presentan 1.943 km² cultivados de caña de azúcar, se sobrepasan las capacidades de producción del área, que, solamente representan un 5.2% de este monocultivo. Resultado que evidencia la nocividad del monocultivo por el agotamiento de nutrientes y consumo de agua. En adición, el 40,4% de esta área es utilizada precisamente por la caña de azúcar, mientras que solo el 5.3% es utilizado por cultivos transitorios, permanentes, pastos arbolados y plantaciones forestales.

De acuerdo con Zapata⁷⁵,

La perspectiva de sistemas socioecológicos materializada a partir de los criterios urbano-funcionales y biofísicos, ayudó a definir los límites de un sistema que responde a una realidad antropocéntrica pero que se presenta por medio de esta área como orgánico, sujeto a procesos ecológicos y no solo a delimitaciones espaciales arbitrarias basadas en intereses particulares. En ese sentido, la propuesta de dar igual valor a los criterios urbano-funcionales y biofísicos- trascendiendo la mera caracterización biofísica de los estudios metropolitanos existentes- permitió visualizar un área metropolitana que no solo responde a las necesidades de la población humana y no humana que la ocupan, sino que también reconoce que los impactos de las acciones humanas van más allá de los seis municipios que históricamente han sido considerados en esta división político administrativa (Cali, Candelaria, Jamundí, Palmira, Yumbo y Puerto Tejada).

Considerando esta delimitación integral, frente a un fenómeno exógeno de la dinámica biofísica del planeta, como lo son las precipitaciones extremas, pero considerando las repercusiones y consecuencias que necesariamente tienen injerencia en las comunidades y equipamientos expuestos, se procede a tomar esta área como unidad referencial para la presente investigación. Realizando una selección al interior de la misma, acotando a los municipios de Vijes, Cerrito, Palmira, Yumbo, Cali, Candelaria, Pradera, Florida y Jamundí en el Valle del Cauca, y Puerto Tejada, Villa Rica, Padilla, Miranda, Guachené, Corinto, Caloto, Santander de Quilichao, Suárez y Buenos Aires. Tal selección se realizó en aras de evitar perder representatividad de los datos de precipitación, puesto que en varias zonas del área Socioecológica no se encuentran estaciones o datos suficientes para realizar un análisis representativo del área.

4.3 Estaciones pluviométricas

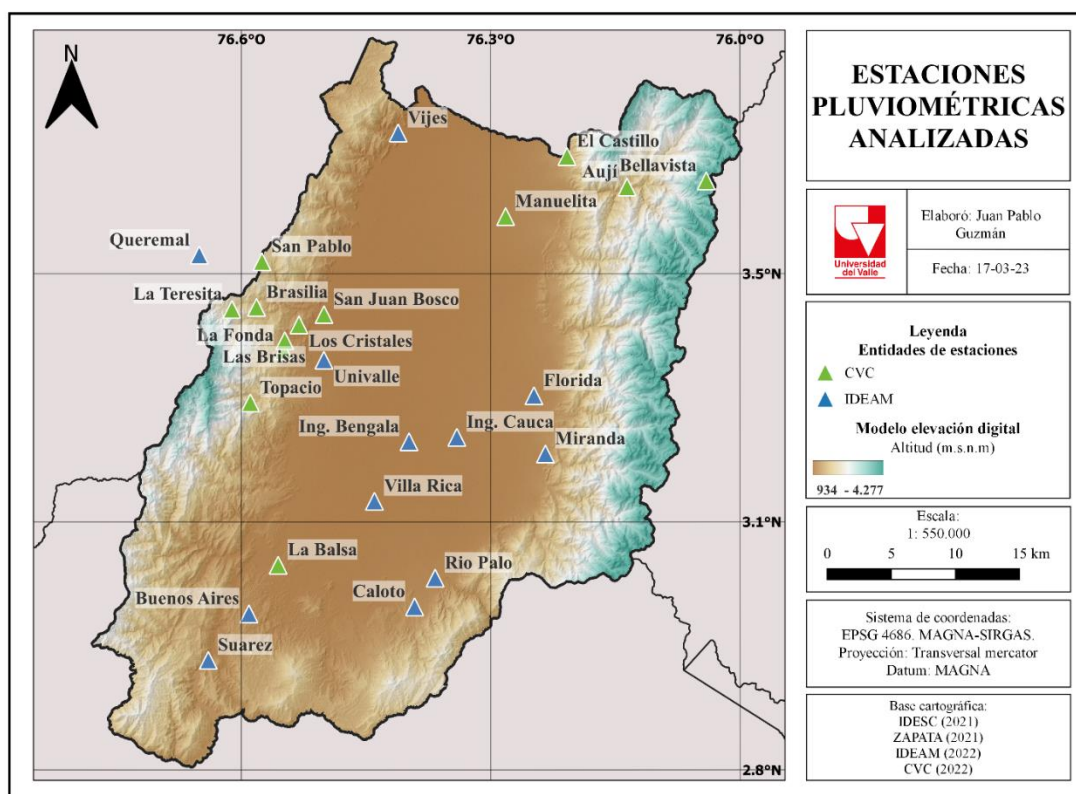
A partir de un primer acercamiento en los geoportales del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) y de la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC), se seleccionaron aquellas estaciones que proveen datos diarios de precipitación enmarcadas dentro del área de estudio, obteniendo cerca de treinta y cinco (35) estaciones entre las dos instituciones. Adicionalmente se estableció una periodicidad de al menos 50 años como requisito, para obtener

⁷⁵ Ibid., p. 143.

datos que en conjunto fuesen lo suficientemente robustos para hablar de parámetro climático, tal y como lo propone la Sociedad Americana de Meteorología al afirmar que, el clima se define como las condiciones medias del tiempo [atmosférico] durante períodos de 30 años o más, siendo el tiempo atmosférico los diferentes fenómenos hidroclimáticos como lluvias, vientos, torbellinos, tornados, temperatura etc., evidenciables día a día⁷⁶.

Con esta primera búsqueda realizada, se procedió a realizar la respectiva descarga de los datos diarios de información pluviométrica de las estaciones que se detallan en la **Figura 3**. En la institución del IDEAM se realizó la descarga en el geoportal DHIME (<http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/> consultado el: 15-01-2023) mientras que en la CVC se realizó la descarga en el Módulo de Consulta del Portal Hidroclimático (<https://portal-hidroclimatologico.cvc.gov.co/modulo-consulta> consultado el: 15-01-23)

Figura 3. Mapa de distribución de las estaciones pluviométricas analizadas en la Zona de Influencia Socioecológica de Cali.



Fuente: *Elaboración propia a partir de IDESC 2021, ZAPATA 2021, IDEAM 2022, CVC 2022.*

Con la información tabulada, se procedió a realizar el cálculo de datos faltantes, que, por motivos de falta de mantenimiento de estaciones o daños en las mismas, entre otros, no registra datos de

⁷⁶ AMERICAN METEOROLOGICAL SOCIETY. Glossary of Meteorology [Sitio Web]. En: <https://glossary.ametsoc.org/wiki/Weather> . Citado por: TORRES, Victor. Tiempo, Clima y los fenómenos atmosféricos: desde torbellinos hasta cambio climático. Ciudad de México. En: Revista Digital universitaria. 2019. p. 3. DOI 10.22201

precipitación. Dicho cálculo se realizó sobre la base del 15% del total, lo cual permitió tener un total final de 12 estaciones adscritas al IDEAM y 13 a la CVC, para un total de 25 estaciones pluviométricas a lo largo del área de estudio con datos robustos para el período 1970-2020. Con base en la información resultante, esta se homogenizó, con dos cifras decimales, y los datos faltantes se denominaron homogénea “NaN”.

4.4 Cálculo de índices

Por medio del paquete ‘ClimInd versión* 0.1-3’⁷⁷, se calcularon los diferentes índices de frecuencia, intensidad y duración. En la **Tabla 3**, se presenta la descripción de cada uno de los doce índices evaluados. Esta selección se enmarca dentro de lo propuesto por el ETCCDI⁷⁸, para el cálculo de índices climáticos. A partir de esto, se utilizaron cinco índices para valorar la intensidad; cinco para frecuencia; y dos para duración (ver tabla 3)⁷⁹.

Tabla 3. Descripción de índices usados en el estudio.

Identificador	Nombre índice	Descripción (RR: precipitación diaria)	Unidad	Tipo
CDD	Días secos consecutivos	La duración máxima de días secos consecutivos (RR<1 mm)	días	Duración
CWD	Días lluviosos consecutivos	La duración máxima de los días húmedos consecutivos (RR≥1)	días	Duración
d95p	Días muy húmedos	Días con lluvia > 95p	días	Intensidad
DD	Días secos	Número de días con menos de 1 mm	días	Frecuencia
R1 mm	Días húmedos 1mm	Recuento anual de días húmedos (Lluvias muy leves)	días	Frecuencia
R3 mm	Días húmedos 3mm	Conteo anual de días cuando RR≥ 3 mm (Lluvias leves)	días	Frecuencia
PRCPTOT	Precipitación total en días húmedos	Cantidad de lluvia en días con RR≥1 mm	milímetro	Intensidad
R10 mm	Días húmedos 10 mm	Conteo anual de días cuando RR≥ 10 mm (Lluvias fuertes)	días	Frecuencia
R20 mm	Días húmedos 20 mm	Conteo anual de días cuando RR≥ 20 mm (Lluvias muy fuertes)	días	Frecuencia
RX1day	La mayor cantidad de lluvia diaria	La precipitación máxima consecutiva de 1 día	milímetro	Intensidad
RX5day	La precipitación máxima consecutiva de 5 días	La precipitación máxima consecutiva de 5 días	milímetro	Intensidad
SDII	Índice simple de intensidad de lluvia	Suma de lluvia en días húmedos (días con >1 mm de lluvia), y dividiendo eso por el número de días húmedos en el período	mm-día ⁻¹	Intensidad

Fuente: *Ocampo et al., 2021*

A través de una herramienta técnica de programación en el software RStudio versión 4.2.0. se ejecutó el ‘*package*’ respecto a las series de datos de precipitación en las estaciones seleccionadas y tabuladas en el punto 4.3. de la presente investigación. Los resultados obtenidos se presentan en diversas escalas temporales como lo son: anual, estacional y mensual. Con esta información se procedió a tomar únicamente los datos a nivel estacional: DJF (diciembre-enero-febrero), MAM (marzo-abril-mayo), JJA (junio-julio-agosto), SON (septiembre-octubre-noviembre). Esta temporalidad fue la

*Este lenguaje de programación se encuentra disponible bajo permiso del autor.

⁷⁷ REIG, Fergus; VICENTE, Sergio; DOMINGUEZ, Fernando; BEDIA; Joaquin. Climate indices: package ClimInd [Package RStudio]. 2021

⁷⁸ Disponible en: <http://etccdi.pacificclimate.org/>

⁷⁹ OCAMPO, Camilo; LOAIZA, Wilmar; ÁVILA, Alvaro; MORALES, Wilfredo; KAYANO, Mary & TORRES, Roger. Missing data estimation in extreme rainfall indices for the Metropolitan area of Cali - Colombia: An approach based on artificial neural networks. *En: Data in brief*. Diciembre 2021, Vol. 39, p. 5. ISSN: 23523409.

seleccionada para el desarrollo de la investigación al tener en cuenta la bimodalidad de las lluvias en el área de estudio, que supone 2 trimestres de precipitaciones (MAM y SON) y 2 trimestres de sequías (JJA y DJF).

4.5 Estimación de datos faltantes

Con la respectiva tabulación de los datos obtenidos en 4.4 *CÁLCULO DE ÍNDICES*, se encontraron una serie de datos faltantes en algunos lapsos de tiempo, lo cual generó un resultado interrumpido de datos. Ese porcentaje de datos faltantes se discriminó tanto por estación como por trimestre, y los resultados aparecen a continuación en la **Tabla 4**,

Tabla 4. Porcentaje de datos faltantes por estación pluviométrica a nivel trimestral.

Porcentaje de datos faltantes (%)				
Estación	Índices			
	DJF	MAM	JJA	SON
Buenos Aires	26.9	33.9	25	25
Caloto	26.9	15.3	13.4	11.5
Rio Palo	9.6	11.5	11.5	13.4
Ing. Bengala	40.4	30.7	11.5	32.6
Suárez	7.7	3.8	13.4	11.5
Villa Rica	13.5	11.5	11.5	7.6
Ing. Cauca	32.9	26.9	28.8	42.3
Miranda	13.5	13.5	13.4	15.3
Vijes	17.3	3.8	7.6	13.4
Queremal	26.9	19.2	25	34.6
Florida	3.8	1.9	1.9	9.6
Univalle	38.6	28.8	38.4	51.9
Brasilia	9.6	5.8	15.3	7.6
Bellavista	13.5	5.8	3.8	9.6
Aují	13.5	9.6	7.6	11.5
El Castillo	7.7	7.7	5.7	11.5
San Juan Bosco	42.3	34.6	28.8	42.3
San Pablo	13.5	5.8	11.5	9.6
Topacio	7.7	13.5	17.3	7.6
La Balsa	7.7	3.8	1.9	7.6
La Fonda	11.5	0	3.8	7.6
Las Brisas	17.3	3.8	11.5	11.5
La Teresita	23.1	19.2	23.0	21.1
Los Cristales	7.7	7.7	11.5	9.6
Ing. Manuelita	9.6	9.6	5.7	3.8

Fuente: *Elaboración propia*

Con base en lo anteriormente expuesto, se procedió, por medio de la técnica de enfoque de red neuronal artificial autoasociativa o sus siglas en inglés (*The auto-associative artificial neural network*

approach NLCPA), a realizar la estimación de datos faltantes, usando 15.000 iteraciones, procurando la no existencia de datos negativos y cifras enteras. Este cálculo fue realizado por medio del Software MATLAB R2022b, a partir del lenguaje de programación utilizado por Canchala *et al.** en: *Estimation of missing data of monthly rainfall in southwestern Colombia using artificial neural networks*⁸⁰.

Adicionalmente, se tomó la estimación ya realizada por Ocampo *et al.* en: *Missing data estimation in extreme rainfall indices for the Metropolitan area of Cali - Colombia: An approach based on artificial neural networks*⁸¹, en la cual se encuentra la estimación ya realizada para las estaciones Vijes, Florida, Univalle, Brasilia, San Juan Bosco, Topacio, La Balsa, La Fonda, Las Brisas, La Teresita, Los Cristales y Manuelita, para el periodo 1969-2019. La estimación para las estaciones restantes fue realizada siguiendo la misma metodología empleada por Ocampo *et al.* La información se tabuló por estacionalidad, para cada una de las 25 estaciones pluviométricas.

4.6 Interpolación

Los diferentes métodos de interpolación tales como IDW (*Inverse Distance Weighted*), TIN (*Triangulated Irregular Network*), Kriging, Cokriging, entre otros, son usualmente utilizados, para representaciones espaciales, y para visualizar variables cartográficas deseadas. Varios autores han analizado estas técnicas, que suponen errores y márgenes de error en su aplicación y han determinado algunos métodos con menor porcentaje de error, de acuerdo a ciertas características puntuales del entorno estudiado.

A partir de esto, Cerón *et al.*⁸², afirma que el método de interpolación de Cokriging, permite considerar la influencia de variables externas o co-variadas [generalmente] como la altura, al analizar la correlación cruzada entre los errores de las distintas variables. Esto, en el contexto de las áreas de estudio que presentan, no solo valles con ausencia de pendientes y alturas homogéneas, sino la integración de montañas, lomeríos y demás configuraciones del paisaje, que lo vuelve más heterogéneo y que a su vez, tiene implicaciones en la configuración microclimática del lugar.

* Este lenguaje de programación se encuentra disponible bajo permiso del autor.

⁸⁰ CANCHALA, Teresita; CARVAJAL, Yesid; MORALES, Wilfredo; LOAIZA, WILMAR; CAICEDO, Eduardo. Estimation of missing data of monthly rainfall in southwetern Colombia using neural networks. En: Data in brief. 2019. Vol. 26, p. 4. ISSN 2352-3409

⁸¹ OCAMPO et al., Op., Cit., p. 10.

⁸² CERÓN, Wilmar; ANDREOLI, Rita; KAYANO, Mary; CANCHALA, Teresita; CARVAJAL, Yesid; SOUZA, Rodrigo. Comparison of spatial interpolation methods for anual and seasonal rainfall in two hotspots of biodiversity in South America. En: Anais Da Academia Brasileira de Ciencias. 2021, Vol. 93 (1), p. 6. ISSN 1678-2690.

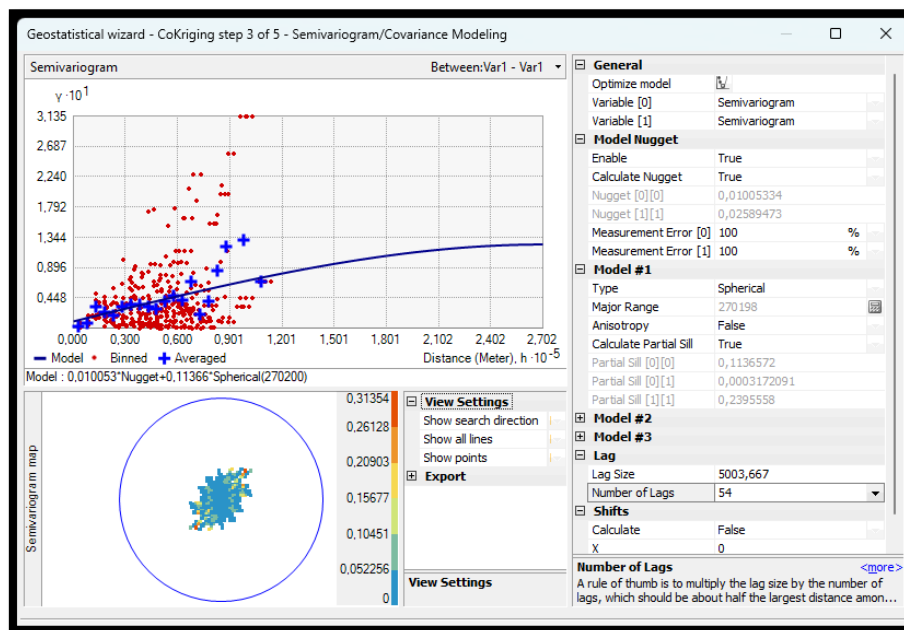
Por medio de la dependencia espacial que presenta el comportamiento de los datos representados en un semivariograma, y realizando comparaciones entre la precisión de interpolación entre los métodos de TIN, IDW, Kriging y Cokriging, involucrando las métricas de validación asociadas al *Root Mean Squared Scaled Error (RMSSE)*, *Root Mean Squared Error (RMSE)* y el *Average Standard Error (ASE)*, se determinó que el modelo esférico Cokriging con el modelo gaussiano, fue el mejor para interpolar precipitaciones, para la región del Chocó biogeográfico colombiano, proporcionando un RMSE más bajo que en los otros tipos de interpolación⁸³. Con base en lo anteriormente expuesto, en este trabajo se procedió a interpolar, por medio del método Cokriging de modelo esférico, en el aplicativo de ArcMap del software ArcGIS 10.8, las estaciones pluviométricas a escala trimestral, de acuerdo al orden del índice. Siendo, 5 a nivel de frecuencia, 5 a nivel de intensidad y 2 a nivel de duración.

El primer paso consistió en cargar al software la tabla de datos con los valores de todos los índices por trimestre y estaciones, con su respectiva georeferenciación en la capa del área de influencia Socioecológica de Cali. Luego, por medio de la herramienta *Geostatistical Analyst*, se procedió a buscar la opción *Geostatistical Wizard* y se seleccionó en método geoestadístico (*Geostatistical methods*), la opción de Kriging/Cokriging. Para ingresar la información espacial, se seleccionó, en el primer *Dataset*, el archivo que contiene la información de las estaciones. Seguidamente en *Data Field*, se seleccionó el campo que contiene el dato de índice por estación a nivel trimestral. En *Dataset 2* se seleccionó el mismo archivo y *Data Field* se selecciona el campo que relaciona el valor de altitud de las estaciones, ya que este método de interpolación relaciona la variable a interpolar en función de la altura que presente la entidad que la registra.

En el segundo paso se seleccionó *Cokriging Type: Ordinary*. En *Dataset #1* y *#2*, se escogió *Transformation Type: Log*. En el tercer paso, resulta el semivariograma en función del tipo de modelo que se configure, que para este caso es tipo: *Spherical*. Se configura la talla y número de *Lags* para la salida gráfica de la imagen raster (ver **figura 4**). En el cuarto paso, se muestra una vista preliminar de la interpolación que evidencia el comportamiento de la variable en función de los Vecinos. Se permite hacer un suavizado de la imagen y demás características de salida de la imagen ráster (ver **figura 5**).

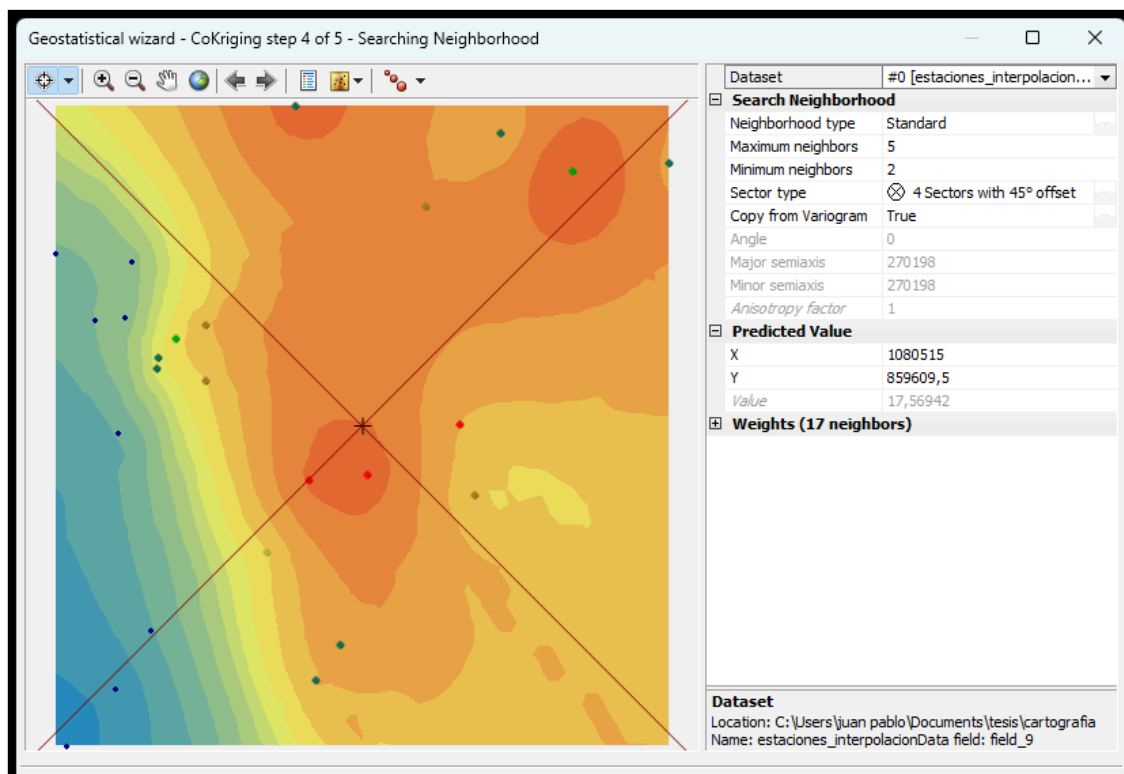
Figura 4. Semivariograma del proceso de interpolación Cokriging tipo esférica.

⁸³ Ibid. p. 17.



Fuente: *Elaboración propia*

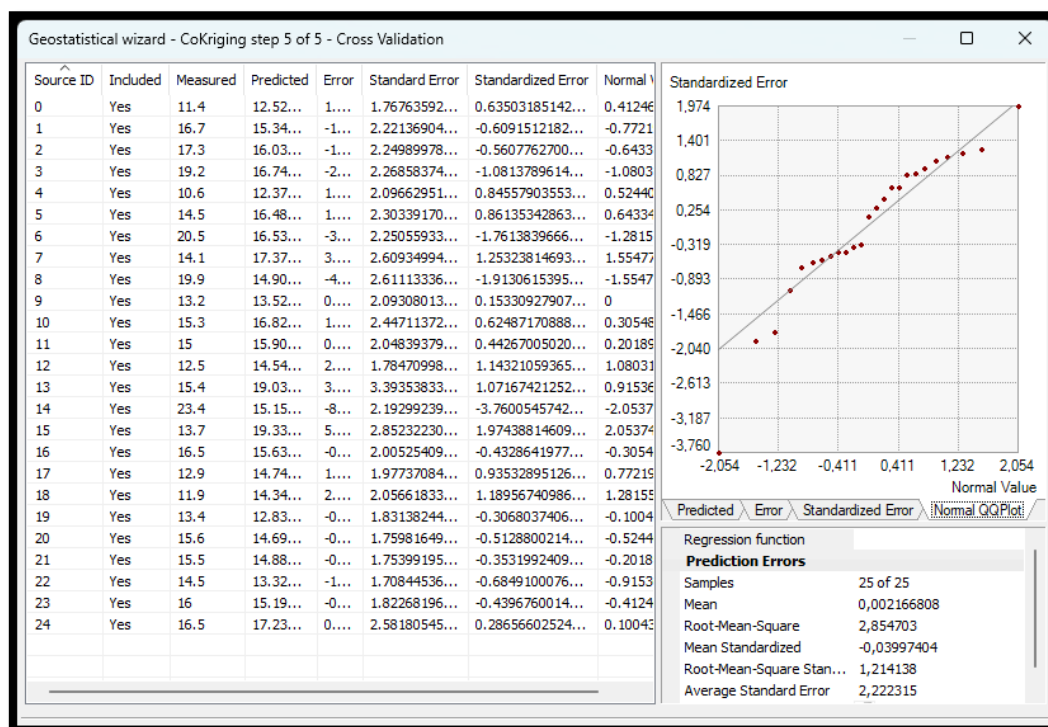
Figura 5. Vista de espacialización de variables mediante interpolación Cokriging tipo esférica. Suavizado de la imagen a partir de la búsqueda de vecinos.



Fuente: *Elaboración propia.*

En el quinto paso, se hizo una validación cruzada de los datos (ver **figura 6**), donde se presentan diversas gráficas de predicción, error, error estandarizado, y una gráfica Q-Q, que es un método gráfico estadístico para evidenciar las diferencias de distribución de unos datos en específico. Adicionalmente, de aquí se extraen los valores de la predicción de errores (RMS, RMSS y ASE).

Figura 6. Métricas de evaluación de resultados de la validación cruzada de la interpolación Cokriging tipo esférica. Presentación de errores de predicción.



Fuente: *Elaboración propia*

Por último el raster se convierte a modelo vectorial, y fue superpuesto a un mapa DEM con resolución espacial de 30 metros; se hicieron algunas modificación de salida gráfica, y se asignan las diferentes categorías o intervalos que serán las convenciones de cada índice y se obtuvo el mapa final de cada índice a nivel trimestral, por estación pluviométrica. La tabulación completa de la interpolación de los índices se encuentra en 5.3 *COMPORTAMIENTO ESPACIOTEMPORAL DE EVENTOS EXTREMOS ESTACIONALES 1970-2020*).

4.7 Identificación de tendencias

El cálculo de la tendencia para cada índice se realizó por medio del test de Mann Kendall, el cual es una prueba estadística no paramétrica que evalúa las tendencias temporales de cada serie⁸⁴, independiente del tipo de distribución que presenten las series de datos. Para este estudio se utilizó un nivel de significancia de 0.05, generando una hipótesis nula que rechaza las tendencias con significancia <0.05 ⁸⁵. De acuerdo con Silva Alves y Silva Nóbrega⁸⁶, el test de Mann-Kendall, es un método que permite detectar y localizar el punto aproximado de inicio de una tendencia, adicional ha sido sugerido para evaluar tendencias en series de datos ambientales⁸⁷. La aplicación del test, consiste principalmente en la comparación de los valores que componen una misma serie temporal, en orden secuencial, proponiendo una hipótesis nula (H_0) y aplicando un nivel de significancia⁸⁸, que descarta o confirma la existencia de una tendencia sea de aumento o disminución.

La obtención de la magnitud de esa tendencia significativa obtenida por medio del test de Mann-Kendall, se hizo mediante el estimador no paramétrico de la pendiente de Sen o estimador de Theil-Sen. Este estimador puede manejar discontinuidades abruptas debido a una sucesión temporal no homogénea y resulta ser bastante consistente, siendo a su vez utilizado ampliamente en el análisis de tendencias de precipitaciones⁸⁹. Tanto el test de Mann-Kendall como el estimador de Theil-Sen fueron calculados para el presente estudio por medio de lenguaje de programación en el software MatLab R2022b, a partir de los scripts de la función Mann-kendall Test Original y Theil-Sen-Regress*⁹⁰. Procedimentalmente: 1) se calculó la tendencia creciente, decreciente o constante del índice asociado a la estación correspondiente, y luego: 2) se determinó la magnitud de esa tendencia por medio del estimador de Theil-Sen. Por último, 3) se cuantificó el impacto de esa magnitud a nivel decadal, entendiendo la representatividad que toma el hablar decadalmente en términos de clima.

⁸⁴ Mann, H.B. Nonparametric Tests Against Trend. *Econometrica*. 1945, Vol 13. P. 245-259. Citado por CERÓN, Wilmar *et al.* Trend Pattern of Heavy and Intense Rainfall Events in Colombia from 1981–2018: A Trend-EOF Approach. 2022. P. 8.

⁸⁵ CERÓN, Wilmar *et al.* Trend Pattern of Heavy and Intense Rainfall Events in Colombia from 1981–2018: A Trend-EOF Approach. Op., Cit., p. 8.

⁸⁶ SILVA ALVEZ, Keyla. & SILVA NÓBREGA, Ranyére. Tendencia pluviométrica y concentración estacional de precipitación en la cuenca hidrográfica del río Moxotó– Pernamcuco – Brasil. En: *Revista geográfica de América Central*. 2017, Vol.1, 58. p. 297-298. ISSN: 2215-2563.

⁸⁷ YU, J-y *et al.* Decadal changes of El Niño persistence barrier in SST and ocean heat content indices: 1958-2001. Citado por SILVA ALVEZ & SILVA NÓBREGA. Tendencia pluviométrica y concentración estacional de precipitación en la cuenca hidrográfica del río Moxotó– Pernamcuco – Brasil. p. 298.

⁸⁸ SILVA ALVEZ & SILVA NÓBREGA. Op., cit., p. 298.

⁸⁹ Jonah, K.; Wen, W.; Shahid, S.; Ali, M.A.; Bilal, M.; Habtemicheal, B.A.; Iyakaremye, V.; Qiu, Z.; Almazroui, M.; Wang, Y.; *et al.* Spatiotemporal variability of rainfall trends and influencing factors in Rwanda. *J. Atmos. Sol.-Terr. Phys.* 2021, 219, 105631. Citado por CERÓN, Wilmar *et al.* Trend Pattern of Heavy and Intense Rainfall Events in Colombia from 1981–2018: A Trend-EOF Approach. 2022. P. 8.

*El lenguaje de programación de este apartado se encuentra en Anexo 1.

⁹⁰ FATICHI, Simon. Mann-kendall Test Original &Theil-Sen-Regress [Función MatLab]. 2009

5. RESULTADOS

5.1 Estimación de datos

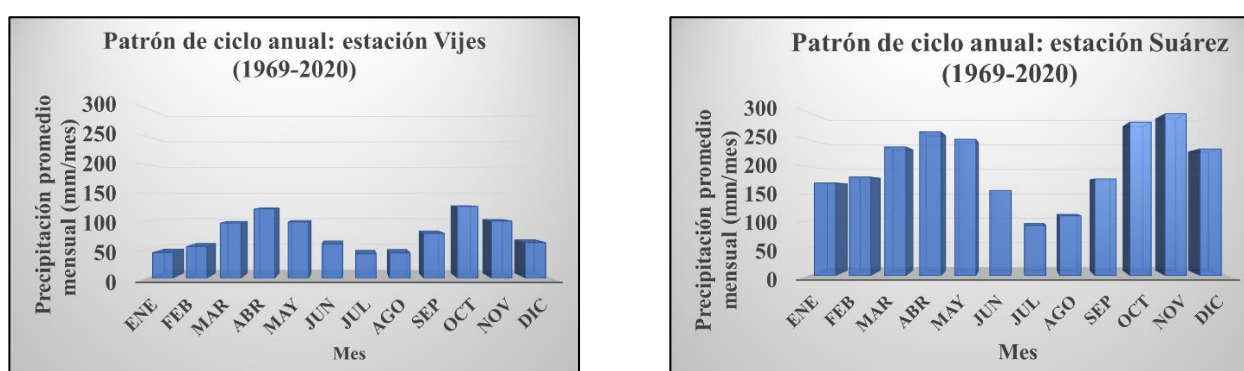
De acuerdo a la extensión de los datos y en aras de la operativización futura de los mismos, esta tabla se comparte como documento en adjunto.

5.2 Patrón multianual

Dada la extensión del área de estudio, y con el ánimo de presentar la variabilidad en el patrón de precipitaciones medias multianuales en el norte y sur del área de estudio, se realizaron histogramas de precipitación para dos estaciones representativas^{*91}, Vijes en el norte y Suárez en el sur (ver **Figura 7**). La primera ubicada en planicie aluvial del río Cauca, a su paso por los municipios de Vijes y Yumbo, y la segunda, ubicada en zona montañosa de la cordillera Occidental.

El comportamiento promedio mensual de precipitación evidencia grandes diferenciaciones entre el norte del área de estudio caracterizado por ser una planicie aluvial, respecto al sur que se encuentra condicionado por el relieve quebrado sobre las montañas de la cordillera Occidental. Las cantidades de mm/mes presentan diferencias muy amplias, puesto que la medida más baja en Suárez (julio: 91 mm.) es casi la medida más alta en Vijes (abril y octubre: 121 y 126 mm.). Es de resaltar que la altura de la estación de Vijes es de 975 m.s.n.m. frente a 1.095 m.s.n.m. que se tiene en Suárez.

Figura 7. Distribución mensual histórica promedio para las estaciones septentrional y meridional 1969-1970: estación Vijes y Suárez.



Fuente: *Elaboración propia*

5.3.1 Métricas de desempeño de las interpolaciones

^{*}El completado de datos de las estaciones Vijes y Suárez se encuentra en Anexo 2: Completado de datos a nivel anual para las estaciones Vijes y Suárez

Se implementaron métricas de desempeño para evaluar la viabilidad de las interpolaciones realizadas. Un buen método de interpolación debería producir un RMS bajo con respecto a la media y un RMSS más cercano a 1⁹². Además, se calculó el error estándar medio (ASE,) para evaluar la variabilidad de las predicciones. Si el ASE se aproxima al RMS, la variabilidad de la predicción se evalúa correctamente. Además, si el ASE es mayor (menor) que el RMSE, la variabilidad de las predicciones se está sobreestimando (subestimando)⁹³. Se presentan a continuación los valores asignados al cálculo de las tres métricas de errores, en la tendencia, que son considerados para evidenciar el comportamiento de los mismos, discriminados, por índice climático, y a su vez por temporalidad estacional (Tabla 5,6,7 y 8).

Tabla 5. Métricas de error al aplicar el modelo esférico de interpolación: período DJF.

Período	Índice	Modelo esférico			ASE-RMS	Estimación
		Criterio estadístico				
		RMS	RMSS	ASE		
DJF	CDD	2.8	1.2	2.3	-0.6	subestimado
	CWD	1.2	1.0	1.2	-0.1	subestimado
	d95p	0.4	1.3	0.3	-0.1	subestimado
	DD	5.2	0.9	5.5	0.3	sobreestimando
	R1mm	5.2	1.0	5.2	0.0	
	R3mm	4.3	1.2	3.7	-0.5	subestimado
	PRCPTOT	101.6	1.0	113.4	11.8	sobreestimando
	R10mm	3.5	1.0	3.4	-0.2	subestimado
	R20mm	2.1	0.9	2.3	0.2	sobreestimando
	RX1day	9.2	0.9	10.8	1.5	sobreestimando
	RX5day	20.1	1.0	21.7	1.6	sobreestimando
	SDII	2.4	0.8	3.2	0.8	sobreestimando

Fuente: *Elaboración propia*

Tabla 6. Métricas de error al aplicar modelo esférico de interpolación: período MAM.

⁹² CHANG K. 2006. Introduction to Geographic Information Systems. Citado por CERÓN, Wilmar; ANDREOLI, Rita; KAYANO, Mary; CANCHALA, Teresita; CARVAJAL, Yesid; SOUZA, Rodrigo. Comparison of spatial interpolation methods for anual and seasonal rainfall in two hotspots of biodiversity in South America. En: Anais Da Academia Brasileira de Ciencias. 2021, Vol. 93 (1), p. 6. ISSN 1678-2690.

⁹³ KALIVAS DP, KOLLIAS VJ APOSTOLIDIS EH. 2013. Evaluation of three spatial interpolation methods to estimate forest volume in the municipal forest of the Greek island Skyros. Citado por CERÓN, Wilmar; ANDREOLI, Rita; KAYANO, Mary; CANCHALA, Teresita; CARVAJAL, Yesid; SOUZA, Rodrigo. Comparison of spatial interpolation methods for anual and seasonal rainfall in two hotspots of biodiversity in South America. En: Anais Da Academia Brasileira de Ciencias. 2021, Vol. 93 (1), p. 6. ISSN 1678-2690.

Período	Índice	Modelo esférico			ASE-RMS	Estimación
		Criterio estadístico				
		RMS	RMSS	ASE		
MAM	CDD	1.5	1.0	1.5	0.0	
	CWD	1.5	1.0	1.5	0.0	
	d95p	0.2	1.0	0.2	0.0	
	DD	5.3	0.9	6.0	0.7	sobreestimando
	R1mm	5.0	1.0	4.8	-0.1	subestimado
	R3mm	4.4	1.0	4.3	-0.1	subestimado
	PRCPTOT	121.4	1.0	121.4	0.1	sobreestimando
	R10mm	4.3	0.9	4.5	0.2	sobreestimando
	R20mm	2.6	0.9	2.8	0.2	sobreestimando
	RX1day	9.1	0.9	11.0	1.9	sobreestimando
	RX5day	19.0	0.9	21.9	2.8	sobreestimando
	SDII	2.3	0.9	2.8	0.6	sobreestimando

Fuente: *Elaboración propia*

Tabla 7. Métricas de error al aplicar modelo esférico de interpolación: período JJA.

Período	Índice	Modelo esférico			ASE-RMS	Estimación
		Criterio estadístico				
		RMS	RMSS	ASE		
JJA	CDD	3.5	0.9	3.8	0.3	sobreestimado
	CWD	0.9	1.0	0.8	-0.1	subestimado
	d95p	0.4	1.1	0.3	0.0	
	DD	4.3	0.8	5.2	0.9	sobreestimado
	R1mm	3.8	0.8	4.5	0.7	sobreestimado
	R3mm	2.6	0.9	2.9	0.3	sobreestimado
	PRCPTOT	45.9	0.9	55.8	9.9	sobreestimado
	R10mm	2.7	0.8	3.2	0.6	sobreestimado
	R20mm	1.1	0.9	1.3	0.2	sobreestimado
	RX1day	6.1	1.2	6.2	0.1	sobreestimado
	RX5day	11.4	1.1	11.0	-0.3	subestimado
	SDII	13.0	1.0	14.6	1.5	sobreestimado

Fuente: *Elaboración propia*

Tabla 8. Métricas de error al aplicar modelo esférico de interpolación: período SON.

Período	Índice	Modelo esférico			ASE-RMS	Estimación
		Criterio estadístico				
		RMS	RMSS	ASE		
SON	CDD	1.7	1.0	1.8	0.1	sobreestimado
	CWD	2.2	1.1	2.1	-0.1	subestimado
	d95p	0.5	1.4	0.3	-0.1	subestimado
	DD	5.8	0.9	6.7	0.9	sobreestimado
	R1mm	6.1	0.9	6.5	0.4	sobreestimado
	R3mm	4.7	0.9	5.3	0.6	sobreestimado
	PRCPTOT	136.2	1.1	139.3	3.2	sobreestimado
	R10mm	4.4	1.0	4.3	-0.2	subestimado
	R20mm	3.2	0.9	3.4	0.2	sobreestimado
	RX1day	10.7	1.0	11.6	0.9	sobreestimado
	RX5day	20.4	1.0	22.9	2.5	sobreestimado
	SDII	2.4	0.9	3.0	0.6	sobreestimado

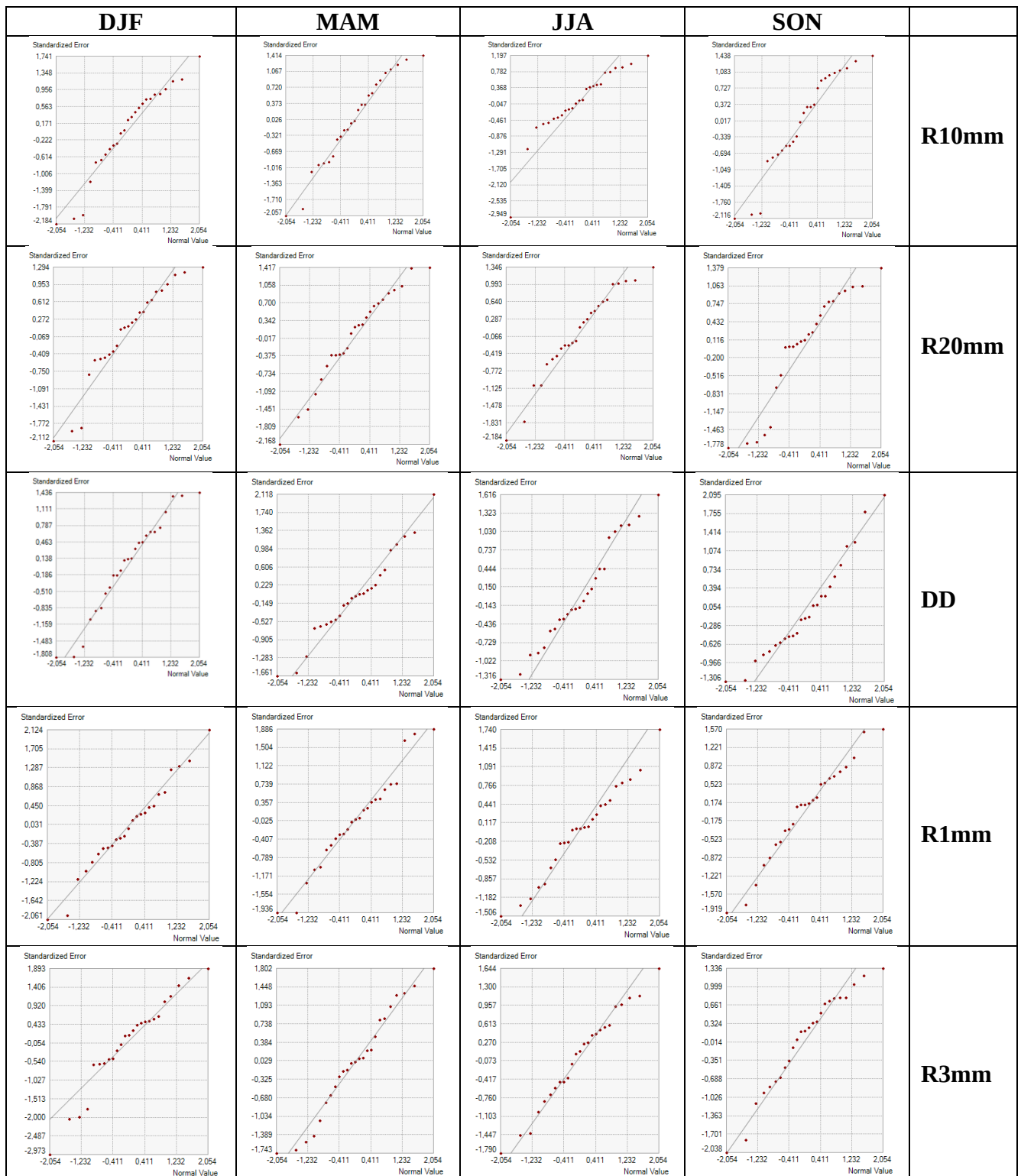
Fuente: *Elaboración propia*

5.3.2 Gráficas de validación cruzada de error estandarizado y valores normales

Los resultados obtenidos se confirman en los gráficos Quantil-Quantil [Cuantil Cuantil en español], los cuales indican que los valores predichos a partir del tipo de interpolación de Cokriging de modelo esférico, representan con mayor precisión la distribución de los datos observados, al evidenciar que los puntos del diagrama forman una línea recta de 45° con una desviación mínima para la gran mayoría de datos, que presentan valores bajos de dispersión⁹⁴. Se presenta a continuación, las gráficas de validación cruzada que se dividen por frecuencia, intensidad y duración a nivel estacional, para cada índice calculado. Estas gráficas evidencian que la dispersión es homogénea y no se presentan datos aislados considerables y sin tendencias importantes. Lo cual fundamenta estadísticamente el proceso adecuado que se llevó a cabo (Ver **figura 8, 9 y 10**).

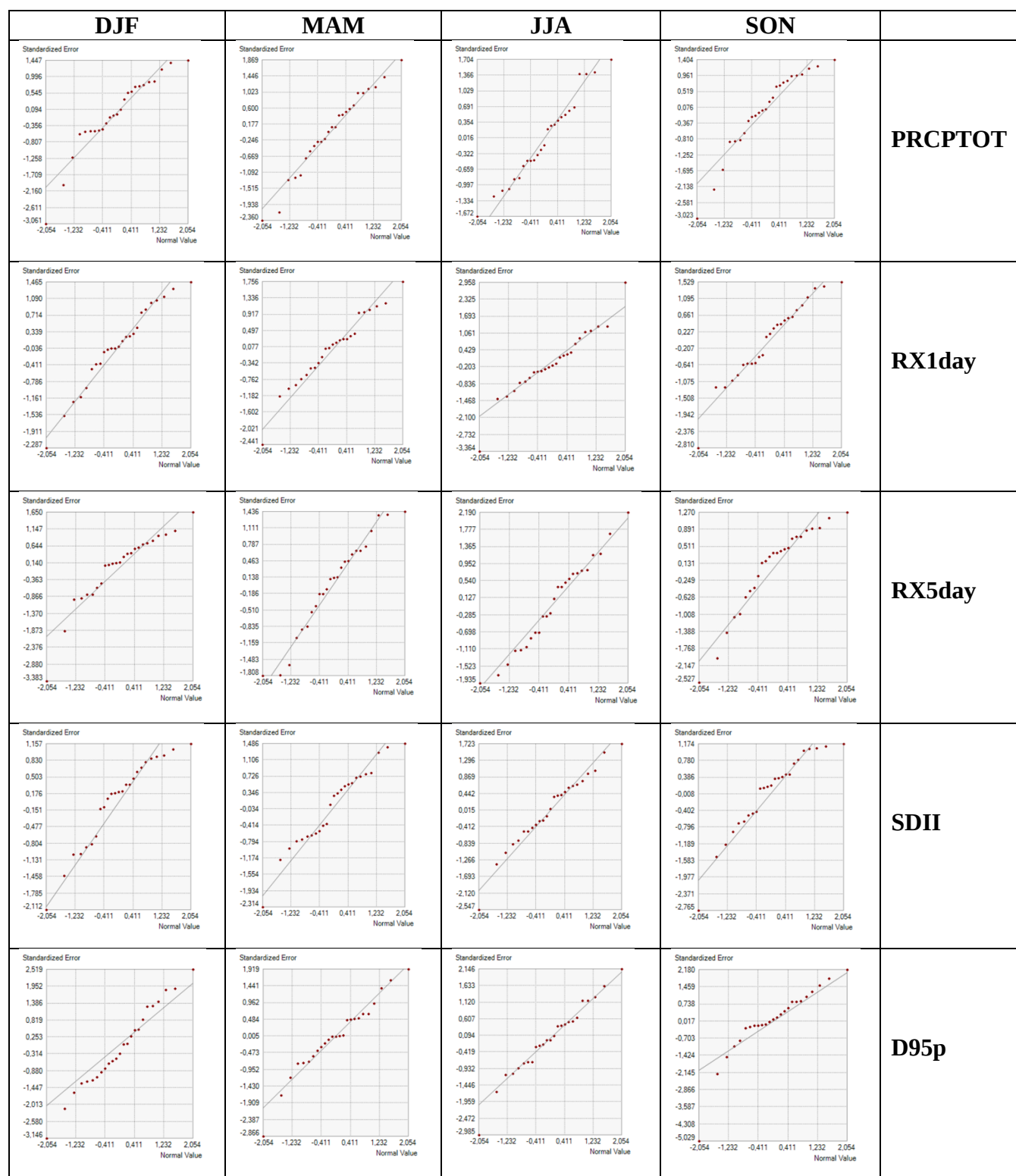
⁹⁴ ArcGis Pro [Sitio Web]. Diagrama cuantil-cuantil. Consultado el [01-03-24]. Consultado en: <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/latest/help/analysis/geoprocessing/charts/qq-plot.htm>

Figura 8. Grafica de validación cruzada por medio de diagrama Quantil-Quantil a partir del método de interpolación Cokringing de modelo esférico: **frecuencia.**



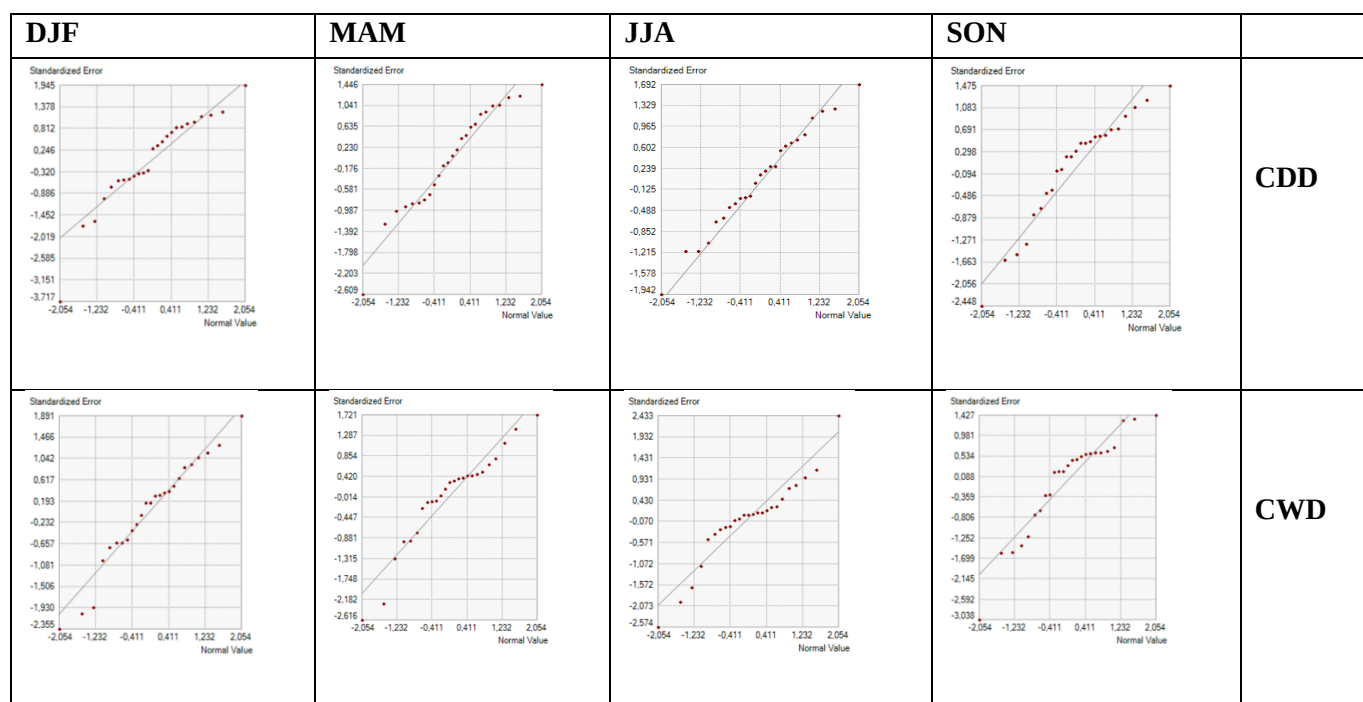
Fuente: *Elaboración propia*

Figura 9. Grafica de validación cruzada por medio de diagrama Quantil-Quantil a partir del método de interpolación Cokriging de modelo esférico: **intensidad.**



Fuente: *Elaboración propia*

Figura 10. Grafica de validación cruzada por medio de diagrama Quantil-Quantil a partir del método de interpolación Cokriging de modelo esférico: **duración.**



Fuente: *Elaboración propia*

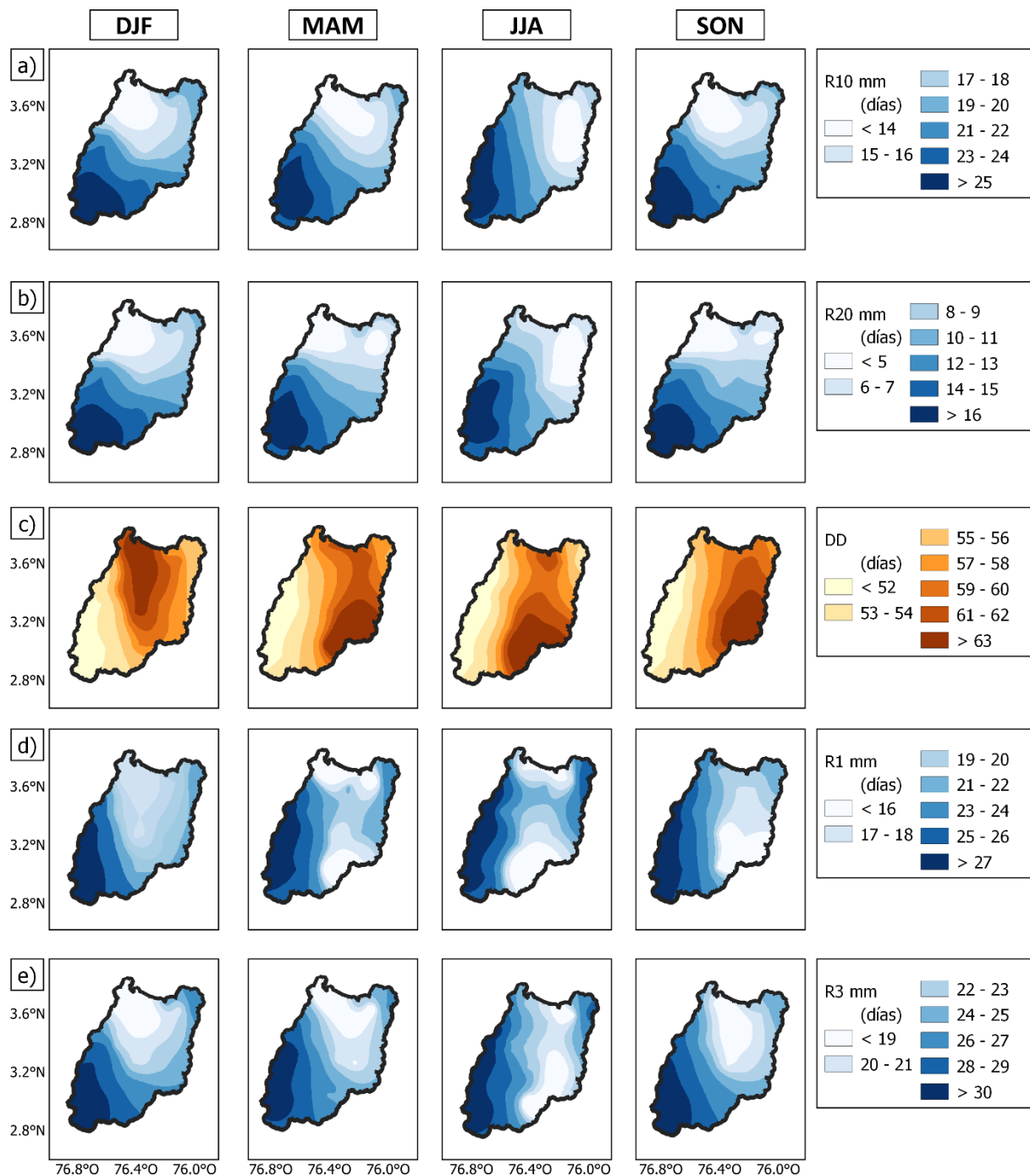
5.4 Comportamiento espaciotemporal de eventos extremos estacionales 1970-2020

5.4.1 Índices de frecuencia

El índice estacional de días con precipitación mayor o igual a 10 mm (R10 mm), muestra que se presentan hasta 24 días con lluvias fuertes en la zona sur del área de estudio, en jurisdicción de los municipios de Suárez, Buenos Aires, Jamundí y el oeste de Santander de Quilichao, que se comporta de manera similar para todos los trimestres (ver **Figura 11.a**). Partiendo de estos municipios hacia el norte y nororiente, la frecuencia de días con lluvias superiores a 10 mm disminuye a menos de 14 días, en la zona del valle aluvial del río Cauca, entre los departamentos de Vijes, Yumbo, El Cerrito y Palmira, principalmente en DJF, MAM y SON. En el caso de JJA, esta zona se desplaza hacia el flanco occidental de la cordillera central, en inmediaciones de El Cerrito, Palmira y Pradera. Para el índice R20 mm o de número de días con lluvias muy fuertes (ver **Figura 11.b**), se observa una consistencia espacial y temporal con R10mm, sin embargo, el gradiente es mucho más heterogéneo en MAM y SON. Durante estas estaciones, se presentan más de 16 días de precipitación superior a 20 mm en la zona sur del área de estudio, principalmente en el municipio de Suárez. Sin embargo, el

área norte de la planicie aluvial es la que presenta valores más bajos de conteo estacional de lluvia superior a 20mm, en los municipios de Vijos, Yumbo, El Cerrito y Palmira.

Figura 11. Mapa de interpolación a nivel estacional: **frecuencia.**



Fuente: *Elaboración propia*

El comportamiento espacio temporal del índice de días secos (DD) (ver **Figura 11.c**), presenta una marcada migración meridional de la zona con el mayor número de días secos en la región de estudio (mayor a 60 días secos). Durante DJF, esta zona se posiciona en el noroeste (sur) del área de estudio,

sobre el valle aluvial del río Cauca, cuando la zona de convergencia intertropical (ZCIT) se encuentra en su posición más austral (boreal). En las estaciones de transición (JJA) (MAM y SON), cuando la ZCIT se encuentra sobre Colombia, los días secos se restringen al suroriente del área de estudio, sobre Padilla, Corinto, Guachené y Caloto.

La distribución espacio temporal del índice R1 mm presenta una concentración de más de 27 días sobre la vertiente oriental de la cordillera occidental (ver **Figura 11.d**). Si bien los 4 trimestres presentan una distribución espacio temporal similar, en DJF se observa una concentración de más de 27 días por década de lluvias muy leves que se desplaza desde el suroccidente del área de estudio en los municipios de Suárez y el occidente de Buenos Aires hacia el nororiente del área de estudio, disminuyendo progresivamente su magnitud, hasta alcanzar entre 17 y 18 días por década, mientras que, en los otros trimestres, esta concentración se ubica desde el piedemonte oriental de la cordillera occidental al sur del área de estudio (Suárez), hasta el norte de esta, sobre el mismo flanco oriental de la cordillera mencionada (Yumbo). En todos los trimestres los valores inferiores a 18 días por década se concentran en la zona plana del valle aluvial del río Cauca, a partir de un decrecimiento relativamente homogéneo desde el oeste del área de estudio hacia el centro. En MAM y JJA, la cantidad más baja de días se presentan en los extremos del valle aluvial (norte y sur), siendo El Cerrito y Santander de Quilichao respectivamente, los municipios con este comportamiento (menos de 16 días por década).

El conteo estacional de días cuando la precipitación es igual o superior a 3 mm (R3 mm) (Ver **figura 11e.**), presenta una consistencia espacial con el índice R1 mm, dentro de las principales diferencias se encuentra que en DJF y SON, la cantidad más alta de días con lluvias leves, se concentra en el suroccidente del área de estudio, en los municipios de Suárez y el de Buenos Aires. En lo referente a los períodos MAM y JJA, la cantidad más baja de días (<19 por década) se presentan en lugares opuestos, siendo, el noroccidente de Palmira y El Cerrito (MAM) y Santander de Quilichao, Caloto y Guachené (JJA).

5.4.2 Índices de intensidad

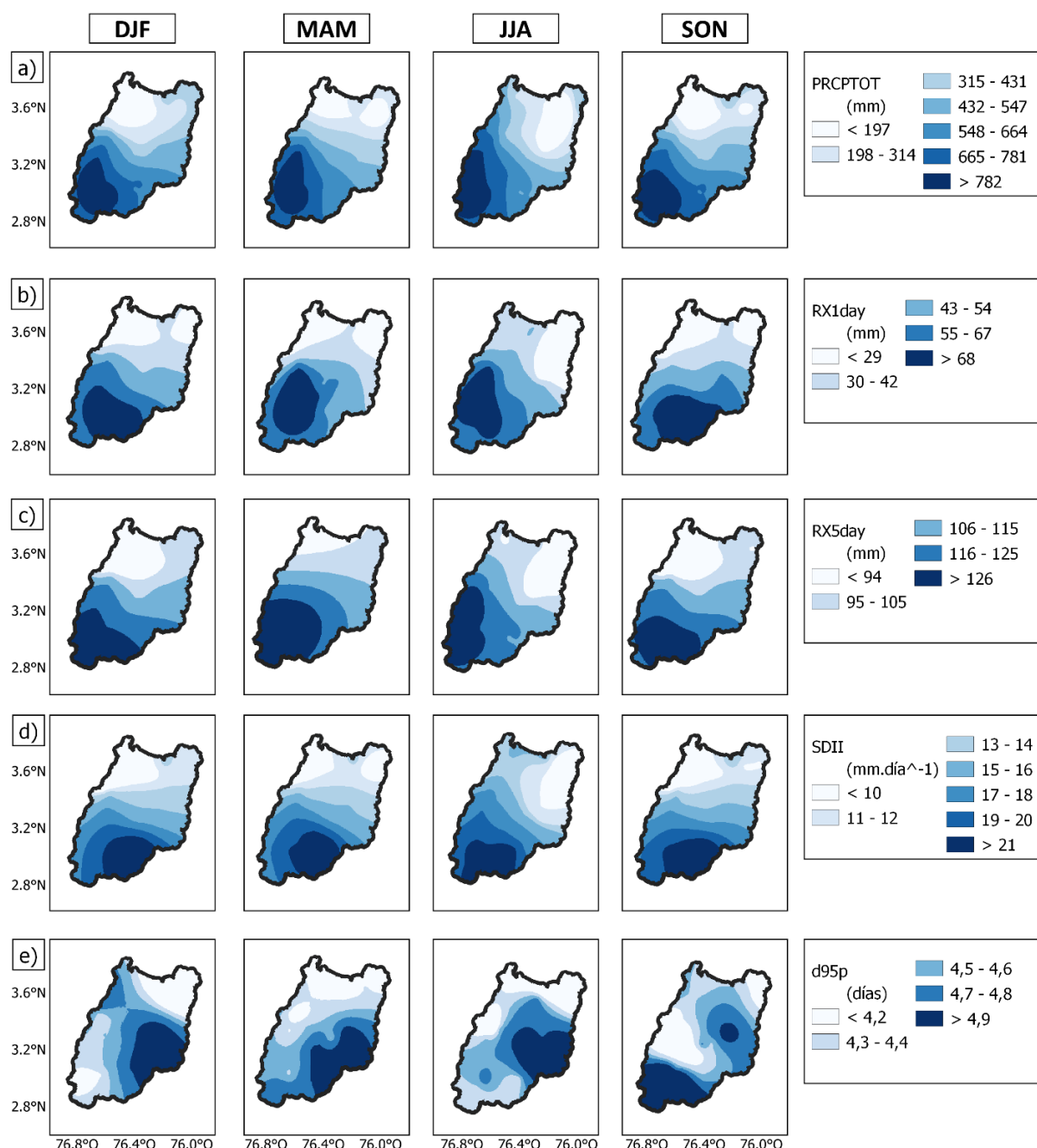
El índice PRCPTOT, (ver **figura 12.a**), presenta una similitud espacio temporal en los 4 trimestres, concentrando la mayor cantidad de mm de lluvia (>782 por década) hacia el suroccidente en Suárez y Buenos Aires, mientras disminuye de manera relativamente homogénea hacia el norte del área de estudio. En DJF (primer trimestre de sequía) los valores de precipitación inferiores a 197 mm por década, se distribuyen en Vijes, Yumbo y el Noroccidente de Palmira, mientras que en JJA, que es el

segundo trimestre de sequía, se presentan los valores más bajos de lluvias hacia el nororiente de Palmira y El Cerrito, generando una migración zonal de bajas precipitaciones en el norte del área de estudio.

Para el índice RX1day, que muestra la precipitación máxima consecutiva en un día (ver **figura 12.b**) se muestra un patrón muy heterogéneo. Se evidencian valores máximos mayores a 68 mm por década, ubicados en la zona sur para todos los trimestres. En DJF, hay una acentuación de valores máximos para los municipios de Suárez y Buenos Aires, el gradiente de disminución alcanza los valores más bajos que son <29 mm por década, en Vijes y El Cerrito. Para MAM, los valores máximos están ubicados entre Buenos Aires, Villa Rica y Jamundí, en este trimestre no se muestra un gradiente de transición, ya que de manera abrupta se presentan valores bajos de precipitación máxima consecutiva en un día, concretamente en Vijes, El Cerrito, Yumbo, Palmira, Candelaria, Pradera, Florida, Miranda, Padilla, Guachené y Corinto. En JJA el panorama es muy similar al presentado en MAM, sin embargo, los valores más bajos de esa precipitación máxima consecutiva se concentran hacia la zona nororiental en los municipios de El Cerrito y Palmira. Finalmente, para SON, el gradiente de transición es mucho más claro, puesto que, desde el sur, los valores van disminuyendo hacia el norte progresivamente, llegando a los valores más bajos para Vijes y El Cerrito.

En lo referente al índice RX5day, que evidencia la precipitación máxima consecutiva de 5 días (ver **figura 12.c**), presenta una coincidencia espacial en DJF, MAM y SON, muy similar a la presentada en el índice RX1day-DJF, con los valores más altos superiores a 126mm por década, en Suárez, Buenos Aires y Santander de Quilichao. Sin embargo, la zona de valores más bajos de precipitación máxima durante 5 días se expande considerablemente en el norte del área de estudio, alcanzando valores inferiores a 94 mm por década. Para el caso de MAM, se evidencia un gradiente de transición muy homogéneo hacia el nororiente, siendo el sector de Suárez y Buenos Aires, los municipios que presentan valores más acentuados de cantidad de precipitación alta durante cinco días, con valores de más de 126 mm; este gradiente disminuye progresivamente hacia el nororiente, sin embargo, los valores más bajos se ubican en el municipio de Vijes, en el noroccidente. En el trimestre JJA, los valores más altos se presentan en la vertiente oriental de la cordillera occidental desde Suárez hasta Cali, el gradiente de transición va en dirección occidente-oriente y los valores más bajos registrados, se presentan para los municipios del nororiente, específicamente, El Cerrito, Palmira y Pradera. Se destaca una migración zonal de las de los valores más bajos registrados en los períodos de sequía en DJF (noroccidente- Vijes) hacia JJA (nororiente- El Cerrito).

Figura 12. Mapa de interpolación a nivel estacional: **intensidad.**



Fuente: *Elaboración propia*

El índice SDII (ver **figura 12.d**), que es el índice simple de intensidad de lluvia, y se calcula por medio de la suma de lluvia en días húmedos y se divide por el número de días húmedos en el periodo, presenta una similitud espacio temporal de los valores más altos al sur en Santander de Quilichao y el sur de Buenos Aires (>21 mm/día por década) con un gradiente de transición hacia valores más bajos (<10 mm/día por década) en dirección norte, en Vijes y El Cerrito, para los 4 períodos. DJF y JJA presentan una migración zonal de los valores más bajos, siendo estos, ubicados en DJF para la zona de Vijes y el occidente de El Cerrito, mientras que en JJA se ubica en el oriente de El Cerrito y Nororiente de Palmira. JJA es el único trimestre que presenta una dirección (nororiental) definida de

la distribución inferior a 10 mm/día por década, diferente a los otros trimestres (que presentan la tendencia hacia el noroccidente).

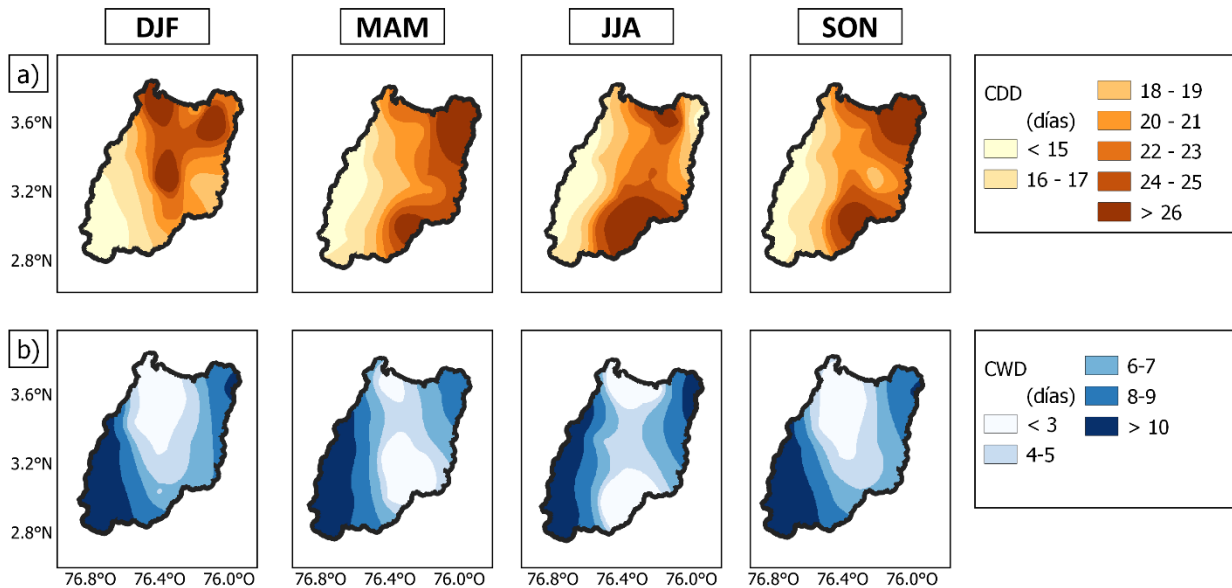
Finalmente, el índice d95p (ver **figura 12.e**), que refleja los días extremadamente húmedos del período, muestra unos valores muy heterogéneos. En DJF, evidencia que los valores más altos se encuentran hacia la zona centro y suroriental del área de estudio (>4.9 días por década), entre los municipios de Caloto, Guachené, Corinto, Padilla y Villa Rica, generando una abrupta disminución hacia el nororiente y hacia el suroccidente, registrando los valores más bajos hacia El Cerrito- Palmira y Suárez respectivamente con menos de 4.2 días por década. Para MAM, los valores más altos se concentran en la zona suroriental, en los municipios de Caloto y Corinto, el gradiente de disminución se desarrolla de manera muy heterogénea hacia el norte, siendo los municipios de Yumbo, Vijes y El Cerrito, los que presentan disminuciones más considerables. En el trimestre JJA, los valores más altos se encuentran ubicados en los municipios de Corinto, Miranda y Padilla, sin presencia de gradiente de transición, y con un cambio abrupto a valores más bajos hacia el norte, occidente y sur. Por último, en el período SON, se evidencian dos zonas con los valores más altos, la primera ubicada hacia el sur del área de estudio en el municipio de Suárez y la segunda, en un punto focal entre Florida y Pradera. El gradiente de transición es muy irregular y se presenta una acentuación de los valores más bajos de SDII, hacia la zona centro-occidental en los municipios de Villa Rica, Jamundí, Puerto Tejada y Cali.

5.4.3 Índices de duración

El índice CDD (ver **figura 13.a**), que muestra los días secos consecutivos, es consecuente con los datos de cantidades de precipitación registradas en los índices anteriores. Para DJF, se muestra que la cantidad más alta de días secos consecutivos se da con valores superiores a 26 días por década y se ubican en la zona de valle aluvial, focalizados en tres puntos: el primero en Vijes, el segundo entre El Cerrito y Palmira y el tercero en el occidente de Candelaria. El gradiente de transición hacia los valores más bajos, inferiores a 15 días por década, se ubican en las zonas con mayor altitud (>1200 m.s.n.m.), asociadas principalmente a aquellos municipios ubicados en el piedemonte oriental de la cordillera Occidental. Para MAM, se presentan los valores más altos en todo el piedemonte occidental de la cordillera Central, desde el oriente de El Cerrito hasta Caloto, con un gradiente de transición hacia el occidente que demuestra de manera coincidente con DJF, que la menor cantidad de días secos se ubican sobre el piedemonte oriental de la cordillera Occidental. En JJA, los valores más altos se ubican en dos puntos: el primero al norte en El Cerrito y el segundo, más amplio, entre Santander de Quilichao y Caloto. El gradiente de transición se da desde el centro del valle interandino, hacia los costados (disminuye entre más se acerca a los flancos de las cordilleras), coincidiendo con los

piekemontes de la cordillera occidental y central respectivamente. SON presenta dos puntos principales con los valores más altos de cantidad consecutiva de días secos, la primera en el suroriente en Caloto y la segunda en el nororiente de El Cerrito, el gradiente de transición nuevamente se da hacia el occidente, coincidiendo en que la menor cantidad de días secos se ubican sobre la cadena montañosa de la cordillera occidental.

Figura 13. Mapa de interpolación a nivel estacional: **duración.**



Fuente: *Elaboración propia*

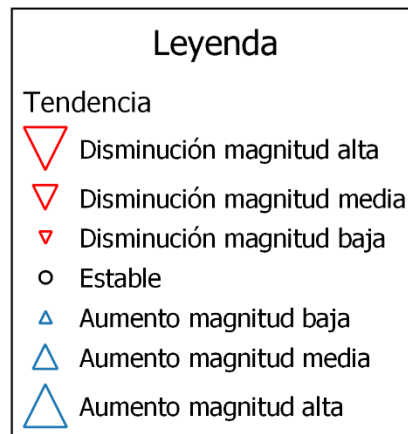
Finalmente, el índice CWD (ver **figura 13.b**), que muestra la cantidad de días lluviosos consecutivos, presenta un panorama muy similar para los 4 trimestres, donde la cantidad más alta de días (>10 días por década) se da en los piedemontes de las cordilleras, con mayor extensión en la cordillera occidental en los municipios de Suárez, Buenos Aires, Jamundí y Cali y la cantidad menor de días sobre el valle aluvial del río Cauca. En DJF y SON la cantidad más baja de días (<3 días por década) se presenta de manera homogénea y continua en Vijes, Yumbo, occidente de Palmira, Oriente de Cali y Candelaria. En MAM y JJA se presentan dos focos de la cantidad más baja de días, la cual se presenta al norte en Vijes y al sur en Santander de Quilichao y Caloto.

5.5 Comportamiento espaciotemporal de las tendencias de eventos extremos

Se presentan los mapas de tendencia y magnitud para cada estación pluviométrica a nivel estacional, de cada índice de acuerdo a frecuencia, intensidad y duración. Para una mejor comprensión de los resultados espacio-temporales de la tendencia, se propuso la leyenda que aparece en la **Figura 14**.

Los triángulos rojos apuntando hacia el sur, indican una disminución del índice, y los azules apuntando hacia el norte un aumento; cuando los triángulos tienen relleno indica que la tendencia es significativa a un 95% de acuerdo con los resultados del Test de Mann-Kendall. El estimador de la pendiente de Sen, generó las magnitudes de las tendencias con las que se graficaron los resultados presentados en las Figuras 15 a 17. En el Anexo 3 se presentan los resultados de las estimaciones.

Figura 14. Leyenda de los mapas de tendencia.



Fuente: *Elaboración propia*

5.5.1 Tendencias de índices de frecuencia

Los patrones de tendencia estacional asociados al índice R10 mm, muestran un comportamiento estable durante el primer trimestre del año, aunque se observan tendencias de aumento significativas en el suroeste, sobre el municipio de Suárez, y tendencias de disminución no significativas sobre Santiago de Cali. Durante MAM, hay una marcada disminución de R10 mm sobre el norte del área de estudio y parte alta de Cali, representada en una reducción de 1 a 2 días con lluvias superiores a 10 mm por década. También se observa un incremento significativo en estaciones ubicadas en Caloto y Guachené y en el área urbana de Cali. Durante JJA, se observa una marcada reducción de R10 mm en la mayoría del área de estudio, siendo significativas en Cali, Puerto Tejada, Guachené y Caloto, con una disminución de 1 a 2 días por década; hacia la margen oriental, se observa una estabilidad en los días con precipitaciones superiores a 10 mm. Finalmente, durante SON, se mantiene la tendencia de reducción de los días con lluvias fuertes, siendo significativas en la mayor parte del territorio, excepto para Caloto, donde se presenta un aumento significativo de hasta 3 días por década. Este panorama denota principalmente una disminución en los días que presentan valores de precipitación superiores a 10 mm en la mayoría de las estaciones desde marzo hasta noviembre. Adicional, es evidente que el patrón de disminución es mucho más crítico para todo el norte y occidente del área

de estudio en el último trimestre del año. Mientras que Santiago de Cali, parte de Puerto Tejada y Guachené presentan panoramas críticos en el trimestre JJA (ver **figura 15. a**).

En lo referente al índice R20 mm, se presenta una coincidencia espacial en DJF con el mismo período presentado en R10 mm. En MAM, se encontró un aumento significativo de entre 1 y 3 días por década, para estaciones ubicadas en Caloto, Villa Rica, Puerto Tejada y Santiago de Cali. En JJA, el panorama pasa a ser estable en casi toda el área de estudio con tres excepciones que presentan tendencias de disminución significativas de hasta 1 día por década en Santiago de Cali, Vijes y Villa Rica. Finalmente, para SON, se presenta una disminución significativa en Cali, tanto para la zona montañosa como para el área urbana con disminución de hasta 1.3 días por década. En el nororiente de El Cerrito se registra una tendencia de disminución de magnitud baja (hasta 1 día por década) y se presenta un aumento significativo en Villa Rica de hasta 3 días por década. Este panorama denota en general un marcado patrón de estabilidad de las lluvias muy fuertes en los períodos de sequía (DJF y JJA). Adicionalmente es importante destacar el comportamiento que presenta Santiago de Cali en los períodos de lluvia, ya que en MAM presenta tendencias de aumentos significativos, mientras que en SON presenta tendencias de disminuciones significativas (ver **figura 15. b**).

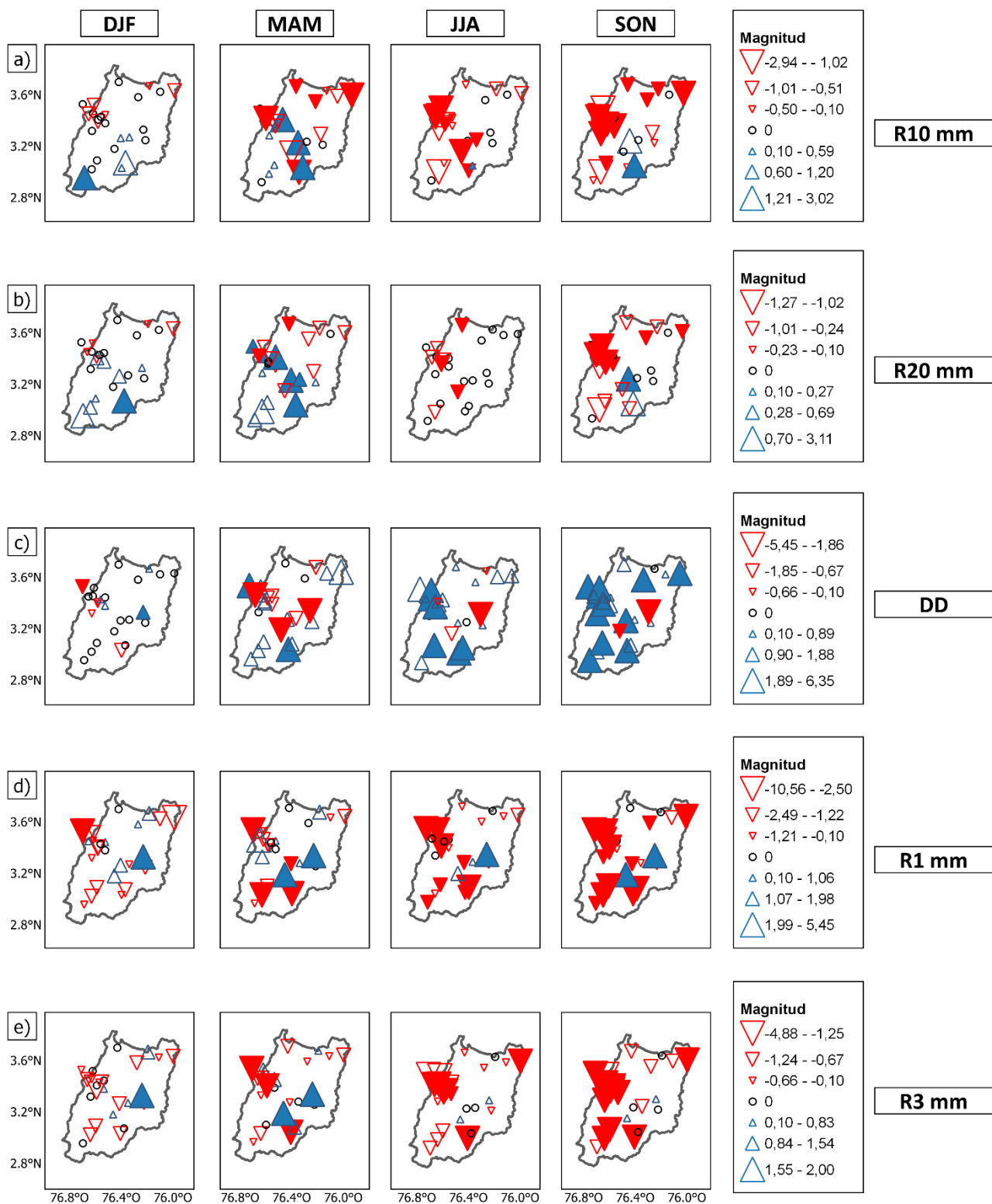
Para el análisis del índice DD, se encuentra un panorama de estabilidad para DJF. En MAM, se encuentra un patrón de distribución muy heterogéneo, puesto que se evidencia disminución significativa de hasta 5 días por década, para dos estaciones ubicadas en el centro del área de estudio (Villa Rica y Florida) y para una estación ubicada en zona montañosa de Cali. Sin embargo, se registra también un aumento significativo de hasta 6 días por década, en dos estaciones: la primera igualmente en zona montañosa de Santiago de Cali y la segunda en Caloto. En JJA el panorama es predominantemente de incremento significativo de la tendencia, principalmente en Cali, Caloto y Buenos Aires (hasta 6 días por década), sin embargo, se presenta una disminución significativa en Florida de hasta 5.4 días por década. Por último, en SON, en toda el área de estudio se presenta una tendencia de aumento significativa de hasta 6.3 días por década, a excepción de Florida y Villa Rica, que presentan tendencia de disminución significativa de hasta 5 y 2 días por década, respectivamente. Este panorama denota principalmente un comportamiento muy estable para el primer trimestre del año, donde a partir de este, empieza una transición hacia el aumento significativo de días secos a lo largo del área de estudio durante el resto del año, consolidándose de manera homogénea en SON, por medio de una tendencia de aumento significativa (ver **figura 15. c**).

El índice R1mm, presenta un comportamiento para DJF, de disminuciones no significativas en gran parte del área de estudio a excepción de Florida donde presenta tendencia de aumento significativa de hasta 5.4 días por década, y en zona montañosa de Santiago de Cali donde presenta disminución significativa de hasta 10.5 días por década. En MAM, se establecen otras estaciones que presentan

tendencias de disminución significativas principalmente en el sur del área de estudio en Buenos Aires y Caloto. De igual manera también se consolida otra estación de tendencia de aumento significativa en Villa Rica, que en conjunto con la de Florida, son las únicas con este comportamiento al aumento. En JJA, la tendencia de disminución significativa se extiende. En Santiago de Cali, esta tendencia presenta una magnitud alta de hasta 10.5 días por década, junto con Caloto. Adicionalmente aparecen nuevas tendencias de disminución con magnitudes más bajas (hasta 2.5 días por década) en Suárez, Buenos Aires y Puerto Tejada. Finalmente, en SON, casi todas las estaciones que presentan tendencia significativa de disminución pasan a tener una magnitud alta, es decir, de hasta 10.5 días, a excepción de Florida y Villa Rica que presentan tendencia de aumento significativa de hasta 5.4 días por década. Este panorama denota principalmente una tendencia progresiva hacia la disminución de días con lluvias muy leves, que empieza en MAM y que paulatinamente se acentúa a lo largo de los trimestres siguientes hasta llegar a noviembre, donde hay una desaceleración de esta tendencia y se vuelve más heterogénea (estable) para el trimestre DJF ver **figura 15. d**).

La distribución espacio-temporal del índice R3 mm, presenta una coincidencia espacial con el índice R1 mm. Dentro de las principales diferencias, se encuentra que, en JJA la tendencia significativa de disminución no se presenta extendida a lo largo del área de estudio, sino que se focaliza en Santiago de Cali, Caloto y el nororiente de El Cerrito con magnitudes altas de casi 5 días por década. Adicionalmente en este período no se presentan tendencias de aumento significativas. Situación similar a la que se presenta en SON, ya que presenta características muy similares con el mismo periodo del índice R1 mm, donde, la principal diferencia, es que la tendencia de disminución significativa de Suárez, Puerto Tejada y El Cerrito, se presentan ahora como tendencias no significativas y donde Florida y Villa Rica dejan de presentar aumento significativo, para presentar un aumento no significativo de magnitud muy baja.

Figura 15. Mapa de tendencias de eventos extremos de **frecuencia**



Fuente: *Elaboración propia*

Este panorama denota una tendencia progresiva hacia la disminución de días con lluvias leves. Este patrón es poco significativo para el trimestre DJF, pero se acentúa progresivamente a partir de marzo y para el último trimestre del año termina siendo ampliamente evidente para casi toda el área de estudio (Ver **figura 15. e**).

5.5.2 Tendencias de índices de intensidad

El índice PRCPTOT, evidencia un patrón de aumentos no significativos para casi toda el área de estudio en el período DJF, en conjunto con algunas tendencias de disminución no significativas en Buenos Aires, Santiago de Cali Vijes y El Cerrito. En MAM, se presenta una distribución muy heterogénea de las tendencias, siendo predominante las tendencias de aumento no significativas de magnitud media con hasta 21 mm. de precipitación por década. Destaca la aparición de dos tendencias significativas de aumento, una en el casco urbano de Santiago de Cali y otra en Caloto con magnitudes altas de hasta 94 mm por década, adicionalmente se presenta una tendencia de disminución significativa en el nororiente de El Cerrito con una magnitud de hasta 58 mm por década. En JJA, el panorama cambia significativamente ya que el patrón de las tendencias empieza a ser de disminución no significativa de magnitud baja (hasta 14 mm por década). En Santiago de Cali esta tendencia se convierte en significativa de magnitud alta con valores de hasta 58 mm por década. Finalmente, en SON, se presenta una tendencia de disminución significativa de magnitud alta (igualmente hasta 58 mm por década) de manera extendida sobre el área de estudio, presentando una concentración en todo el municipio de Santiago de Cali, en Suárez, Caloto y oriente de El Cerrito. Este panorama denota a nivel general que el primer semestre del año no presenta tendencias significativas. Sin embargo, a partir del segundo semestre del año se empieza a consolidar un patrón de disminución significativa sobre la vertiente oriental de la cordillera occidental, que termina extendiéndose sobre el resto del área de estudio, para el período SON, que coincide con el último período de lluvias en el año (ver **figura 16.a**).

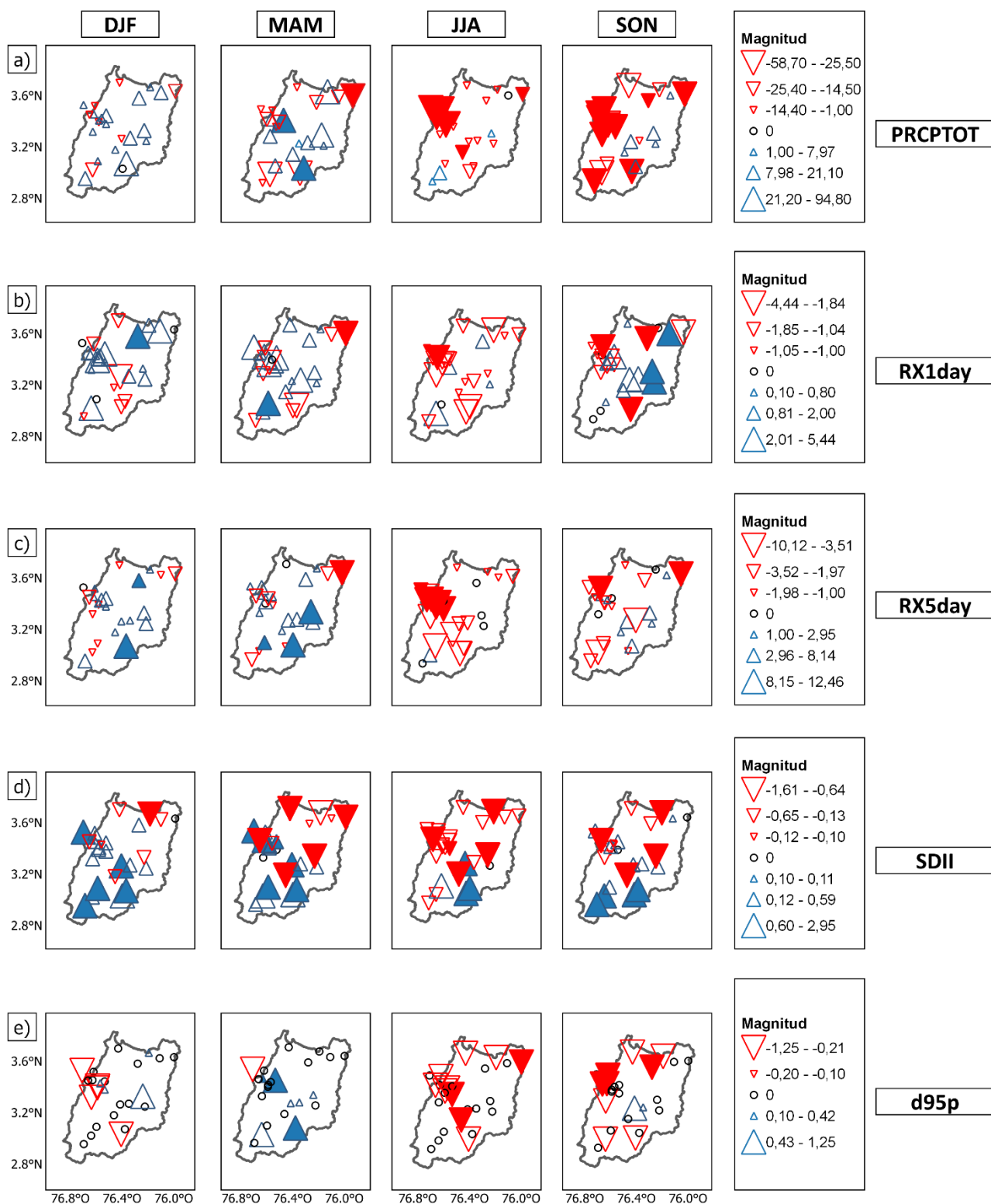
En lo referente a la distribución del índice RX1day, se presenta en DJF, una tendencia de aumento no significativa predominante, especialmente en Santiago de Cali, Miranda, El Cerrito y Buenos Aires con valores de hasta 5 mm por década, sin embargo, se presentan también estaciones en Vijes, Villa Rica, Caloto y Suárez, con tendencia de disminución no significativa de magnitudes bajas de hasta 2 mm por década. En MAM, se conserva este patrón heterogéneo de tendencias de aumento y disminución no significativas, pero se presenta una estación al nororiente de El Cerrito con tendencia significativa decreciente (hasta 4 mm por década) y una estación en Buenos Aires con tendencia significativa de aumento (hasta 5 mm por década). En JJA, se presenta una acentuación en Santiago de Cali, de la tendencia significativa de disminución que alcanza valores de hasta 4mm, y a lo largo del área de estudio se conserva la misma tendencia de disminución, pero sin ser significativa, con la misma magnitud. Finalmente, en SON, el patrón de heterogeneidad vuelve a presentarse, destacando tendencia de aumento creciente significativa (5 mm por década) en estaciones del nororiente de Palmira, Florida y Miranda. Adicionalmente se presentan algunas estaciones cerca del casco urbano

de Palmira, Cali y Caloto con tendencia decreciente significativa de magnitud alta con hasta 4 mm por década.

Este panorama denota un comportamiento muy diferencial donde se destaca, para los tres primeros trimestres del año, un patrón principalmente asociado con tendencias de aumento y disminución no significativas de magnitud alta. Es el último trimestre del año, el que presenta una participación dividida de las tendencias significativas, siendo la cercanía a la cordillera Central, la que determina el aumento positivo de la precipitación máxima consecutiva durante un día. Y siendo tres puntos aislados: norte, occidente y sur aquellos lugares donde se presenta la disminución significativa de hasta 4mm (ver **figura 16.b**).

En lo referente al índice RX5day, se muestra un patrón de aumento no significativo para DJF, con valores de hasta 3 mm, algunas estaciones presentan tendencias de disminución no significativas en Cali, Buenos Aires y el Sur de Jamundí, sin embargo, se presenta una estación en Caloto con aumento significativo de hasta 12 mm por década. En MAM, se presenta coincidencia espacial con los presentado en DJF, además de aparecer una nueva estación con tendencia de aumento significativa en Florida. En el nororiente de El Cerrito, se presenta una tendencia de disminución de hasta 10 mm por década. En JJA Y SON, el panorama presenta algunas similitudes, en ambos se presenta una distribución amplia de tendencias no significativas de disminución con magnitud alta, principalmente en el centro y suroccidente del área de estudio. Sin embargo, para JJA, las tendencias significativas de disminución se concentran en todo el municipio de Santiago de Cali, mientras que, en SON, se presentan dos estaciones con este comportamiento, la primera en Cali y la segunda al nororiente de El Cerrito (ver **figura 16.c**).

Figura 16. Mapa de tendencias de eventos extremos de **intensidad**



Fuente: *Elaboración propia*

El índice SDII, presenta para DJF, una tendencia de aumento significativa en el sur y centro del área de estudio, en municipios como Suárez, Buenos Aires, Santander de Quilichao, Villa Rica y Santiago de Cali, con valores de hasta 3 mm/día por década, se presenta también una estación en El Cerrito que presenta una tendencia de disminución de hasta 1.6 mm/día por década. En MAM, JJA y SON,

el comportamiento presenta coincidencia espacial entre sí, ya que la gran mayoría de las estaciones del norte y del sur del área de estudio presentan tendencias significativas de disminución y aumento respectivamente. En MAM, la división entre este comportamiento dual se presenta desde Santiago de Cali, de manera transversal hasta Caloto, incluyendo la gran mayoría de estaciones que se encuentran hacia el sur desde esta división. En JJA, el panorama se amplía levemente, ya que las únicas estaciones que presentan tendencias significativas de aumento son las ubicadas en Caloto y Puerto Tejada (hasta 3 mm/ día por década), las estaciones que presentan tendencias significativas de disminución se ubican en Villa Rica, Florida, Santiago de Cali y El Cerrito, con magnitudes de hasta 1.6 mm/ día por década. Finalmente, en SON, la principal diferencia se encuentra con la aparición de dos estaciones en Suárez y Buenos Aires que presentan en este período, una tendencia de aumento significativa igualmente con valores de hasta 3 mm/ día. Este panorama denota un comportamiento muy claro de tendencias significativas opuestas que toman un patrón en la zona norte, donde hay menos precipitación y menos cantidad de días con lluvias, respecto al sur, donde se encuentran mayores cantidades de lluvias y de días con precipitaciones (ver **figura 16.d**).

Finalmente, el índice d95p, que refleja los días extremadamente húmedos, presenta en DJF y MAM un comportamiento principalmente de estabilidad, en DJF presenta una importante concentración de estaciones con tendencias de disminución no significativas en Cali, mientras que en MAM presenta dos focos con tendencias de aumento significativas ubicadas en Cali y Caloto con 1.2 días por década. En JJA y SON, se presenta una distribución de tendencias de disminución significativa de magnitud alta en Cali, Villa Rica y El Cerrito (JJA) y en Cali y Palmira (SON). Aunque se presentan varias estaciones que refieren tendencias de disminución no significativa en el perímetro del área de estudio, se presentan muchos puntos al interior que refieren una estabilidad en la tendencia. Este panorama denota principalmente un escenario de estabilidad para los dos primeros trimestres del año. Adicional muestra una fuerte propensión a la tendencia de disminución para el resto del año, con unos puntos muy focalizados de tendencia significativa de disminución con valores de hasta 1 día por década (ver **figura 16.e**).

5.5.3 Tendencias de índices de duración

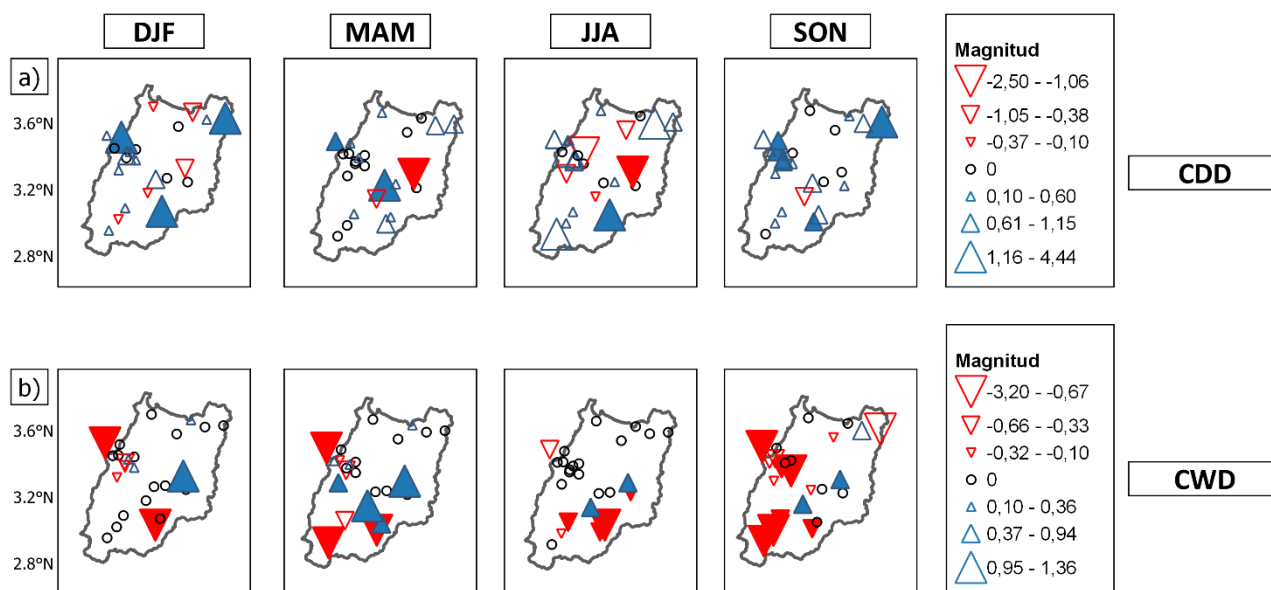
Los patrones de tendencia del índice CDD, que muestra los días secos consecutivos, presenta en DJF, una tendencia estable hacia Santiago de Cali y el centro del área de estudio. Adicionalmente presenta una tendencia de aumento significativa en una estación de Santiago de Cali, otra al sur de Santander de Quilichao y al nororiente de El Cerrito de hasta 4 días por década. En MAM, el panorama continúa con un fuerte patrón de estabilidad para gran cantidad de estaciones con un aumento significativo en

la estación ‘Ingenio Cauca’ en Miranda y una disminución significativa en la estación ‘Miranda’ con una magnitud de hasta 2 días por década. En JJA, el patrón continúa siendo difuso puesto que hay una participación mezclada de estaciones que denotan estabilidad y aumentos y disminuciones no significativas a lo largo del área de estudio, la estación ‘Ingenio Cauca’ continua con la misma tendencia presentada en MAM y aparece una nueva tendencia en Caloto con aumento significativo de hasta 4 días por década. En SON, el patrón de estabilidad se conserva, y resulta una tendencia de aumento significativa de magnitud media de hasta 1 día en Santiago de Cali y otras estaciones con magnitudes de hasta 4 días en El Cerrito y Santiago de Cali, finalmente en Caloto se presenta una estación con el mismo comportamiento y una magnitud de hasta 1 día por década (ver **figura 17.a**).

Este panorama denota un comportamiento a grandes rasgos direccionado hacia el aumento significativo en algunas zonas perimetrales del área de estudio, como lo es Santiago de Cali al occidente, El Cerrito al nororiente y Caloto al suroriente, presentando un incremento focal de días secos consecutivos, pero guardando también cierta proporcionalidad de estabilidad de varias estaciones, sobre todo al interior del área de estudio.

Finalmente, el índice CWD, que muestra la cantidad de días lluviosos consecutivos, presenta en DJF, un patrón de estabilidad en el centro y norte del área de estudio. Presenta también una tendencia de disminución significativa en Santiago de Cali y en Caloto con valores de hasta 3.2 días por década, presenta también una tendencia de aumento significativo de hasta 1.3 días por década en Florida. En MAM, presenta un patrón de tendencia estable hacia el norte y centro del área de estudio, sin embargo, presenta dos estaciones en Villa Rica y Miranda que presentan tendencia significativa de aumento con valores de hasta 1.3 día por década. De igual manera se presenta una tendencia de disminución significativa, con valores de hasta 3.2 días por década para la zona sur de Caloto, Suárez y zona montañosa de Santiago de Cali. En JJA, el panorama de estabilidad es bastante amplio y concentrado hacia el norte y centro del área de estudio y en Cali. Solo se presenta una tendencia de disminución significativa con magnitud alta hacia el sur de Caloto con valores de hasta 3.2 días por década. En SON, se presenta una importante tendencia de disminución significativa a lo largo de la vertiente oriental de la cordillera occidental desde Suárez hasta Yumbo, pasando por los municipios de Buenos Aires y Cali, con valores de hasta 3.2 días por década. Este panorama denota una importante tendencia de disminución de días lluviosos consecutivos en todos los trimestres, con una distribución mucho más acentuada en el último trimestre del año y en un área mucho más amplia como lo es la zona de piedemonte oriental de la cordillera occidental. La magnitud de estos decrecimientos es mucho más alta que la magnitud de los incrementos (ver **figura 17.b**).

Figura 17. Mapa de tendencias de eventos extremos de *duración*



Fuente: *Elaboración propia*

El valor completo del aumento, disminución o estabilidad de la magnitud de la tendencia se encuentra en *Anexo 3: TABLA DE SIGNIFICANCIA ESTADÍSTICA Y MAGNITUD DE LA TENDENCIA*.

A nivel general

Una perspectiva general que englobe los resultados desagregados anteriormente es,

- Hay una tendencia en la disminución de días húmedos. Dentro de esos días húmedos, el patrón de disminución es mucho más acentuado para aquellos días que presentan precipitaciones inferiores a 1mm por día, con decrecimientos de hasta 11 días por década. Este panorama es prácticamente homogéneo para toda el área de estudio con acentuaciones en el segundo semestre del año, especialmente para el trimestre SON.
- De manera coincidente con la disminución de días húmedos, se presenta un aumento en la tendencia de días secos para casi toda el área de estudio, especialmente en el segundo semestre del año, acentuado en el último trimestre del año.
- La cantidad de precipitación total está sufriendo una tendencia de disminución muy fuerte para el último trimestre del año en toda el área de estudio, especialmente en el municipio de Santiago de Cali.
- Los días muy húmedos, están teniendo una tendencia de disminución muy marcada para el último semestre del año en Santiago de Cali.

Dentro de las principales conclusiones que brinda el análisis expuesto, es la evidente variabilidad de precipitaciones extremas en el área de estudio. La disminución de la precipitación total de manera tan altamente significativa con magnitudes tan importantes en el segundo semestre del año especialmente, denotan una focalización principalmente en el área de planicie aluvial del valle geográfico del río Cauca, donde además refiere incremento de los días secos en la misma temporalidad.

En la vertiente oriental de la cordillera Occidental, se presenta una disminución alarmante de precipitaciones, con una tendencia estable de días húmedos consecutivos, elemento que se podría asociar con el carácter altitudinal y de relieve que caracteriza la zona. Sin embargo, se propone un panorama que puede llegar a ser preocupante para el segundo semestre del año, al involucrar cambios significativos en el comportamiento creciente de días secos consecutivos versus una disminución significativa de la precipitación total. Lo cual para esta zona presenta un agravante mayor, al ser la cuenca alta y media de los ríos que nacen en esta cordillera y tributan al río Cauca. Para Jamundí, Cali y Yumbo.

Además de las implicaciones que conlleva el bajo caudal respecto a los servicios ecosistémicos prestados por estos afluentes en las poblaciones y comunidades colindantes. Aparte de las consecuencias inherentes a la gestión del riesgo, asociado a amenazas por ríos, también se presentarían afectaciones por: procesos asociados a la producción de alimentos, surtimiento de servicios públicos tales como agua y energía, riego en cultivos entre otros.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El incremento de días secos para el segundo semestre del año, en valores tan significativamente altos, evidencia la problematización que presenta el valle aluvial del río Cauca, en lo referente a los cultivos allí ubicados. El alto requerimiento de agua de estas plantaciones en un contexto semestral de escases del recurso hídrico, implica garantizar el riego de estos, aunque climatológicamente no esté disponible el recurso. Lo cual pone en grave riesgo los afluentes superficiales, aguas subterráneas, humedales y lagos circundantes,

en el intento de suplir esta carencia que se está presentando. Esta situación también tiene repercusión en las cabeceras urbanas, puesto que el surtimiento del líquido vital a las comunidades, también se pone en riesgo ante situaciones de escases. Situación que tiende a agravarse ante la alta cantidad de municipios que no cuentan con tratamiento propios de agua potable y se encuentran supeditados al surtimiento desde instancias externas.

- El segundo semestre del año se valora como crítico respecto a las consecuencias por carencia de agua, por medio de la configuración climática del sistema de precipitación en la región. Se hace un especial llamado a los sistemas de producción y a las comunidades residentes en la zona para que empiecen a adoptar alternativas ante este escenario de falta de agua para el período determinado.
- Los cambios en el comportamiento de tendencias de precipitación en el sur del Valle del Cauca y Norte del Cauca, evidencian la necesidad de adoptar estos cambios de acuerdo a las actividades productivas, urbanas e industriales diarias realizadas sobre el territorio. La repercusión de estas tendencias que se enmarcan en un contexto de cambio climático, induce a repensar la estructuración de las actividades económicas y productivas que tienen relación directa con el comportamiento del clima en función de la escala temporal que ha sido evidenciada como crítica.
- La articulación de esta investigación con las autoridades e instituciones encargadas de gestionar las diversas relaciones del ser humano con el territorio en la región, entendiendo Gobernación del Valle del Cauca, Gobernación del Cauca, CVC, CRC, ICA, IDEAM, MINAMBIENTE, y las diversas secretarías a niveles municipales, debe consolidarse para el aunamiento de esfuerzos que consoliden una tratamiento e intervención integral en los potenciales territorios susceptibles de afectación por medio de las diferentes tipos de riesgos existentes partir de fenómenos extremos de precipitación.
- Las políticas de ordenamiento territorial, tanto las que empiezan a surgir a nivel departamental como las que se encuentran en fase de reformulación en varios de los municipios del área de estudio, deben integrar dentro del componente estructural de gestión del riesgo, el análisis de las precipitaciones extremas como amenazas en el marco de la gestión del riesgo de desastre para las poblaciones, comunidades, equipamientos y sociedades que bajo condiciones de fragilidad y exposición, sean vulnerables ante estos eventos.

- Las actividades económicas del departamento, que tienen una alta participación de la industria cañera, deben prestar especial atención a como los cambios de las tendencias de variabilidad climática están afectando la planicie aluvial del río Cauca, zona en la cual se encuentra cultivado casi la totalidad de este monocultivo. La garantía de la cosecha de estos cultivos, aunque representa un beneficio capital hacia unas empresas de carácter privado, son las que garantizan el ingreso monetario de sus miles de trabajadores a lo largo de todos los ingenios, los que, a su vez se encuentran en muchos casos como único ingreso de unidades familiares. Es por esto, que la caña de azúcar, no solo se percibe como una actividad de alta importancia para la región en términos económicos, sino que también presenta una relevancia fundamental en el subsistir de miles de familias del departamento, por lo cual un detrimento en el proceso de cultivo y cosecha de esta plantación, aunque sea por consecuencias climáticas, presenta de manera directa e indirecta consecuencias inevitables en mayor y menor escala para miles de personas que se ven relacionadas con esta industria a nivel de ingresos.
- La dinamización de los períodos de lluvias y sequía en expresiones cada vez más intensas generan afectaciones diferenciadas de acuerdo a la escala de análisis que se pretenda analizar. En las ciudades, la intensidad de estos fenómenos tiene innumerables expresiones que generan en muchas ocasiones graves fallas en el funcionamiento de servicios públicos. La preparación para hacerle frente a estos escenarios que tienden a ser más severos con el pasar del tiempo, genera un fuerte llamado de atención a las Empresas Municipales, encargadas del surtimiento de servicios públicos asociados principalmente a energía, acueducto y alcantarillado, para que empiecen a desarrollar planes de contingencia, tanto por exceso de agua, como por ausencia del líquido vital.
- El llamado de atención a las comunidades no es menos relevante, pues hay un componente cultural que determina el incremento en muchas ocasiones de aumentos de vulnerabilidad de una comunidad, como factor interno dentro del proceso de gestión del riesgo, y es el asociado con la disposición de residuos. Resulta evidente en muchas ocasiones, que los fenómenos de precipitación sin ser catalogados como evento extremo de precipitación, consolida graves afectaciones de salud pública, por medio de inundaciones a partir de la insuficiencia de canales colectores, que, por precarias e inadecuadas prácticas de deposición de residuos, obstaculizan estos conductos. Si bien, la responsabilidad del mantenimiento y gestión de estos canales es responsabilidad del gobierno municipal, por medio de las diferentes dependencias encargadas para esto, la responsabilidad de las comunidades es fundamental en el tratamiento de esta

problemática. La recuperación de prácticas de civismo, termina siendo una solución cercana y muy eficaz para hacerle frente al comportamiento de precipitaciones extremas.

- La consolidación y correcta aplicación en sinergia institucional y de la comunidad, en las alertas tempranas, resulta fundamental como medida de preparación y respuesta ante fenómenos que se escapan del control antrópico. Sin embargo, los procesos pedagógicos que aboguen por el conocimiento del riesgo, aunados a capacitaciones de la comunidad para establecer medidas claras y concretas de mitigación y respuesta, resultan indispensables para la minimización de consecuencias nefastas a partir de la afectación por estos fenómenos naturales.
- La presencia institucional y estatal debe realizarse desde momentos previos al desastre en un intento incansable por preservar las vidas humanas y no solo en los momentos posteriores al acontecimiento de las pérdidas humanas y económicas.

7. REFERENCIAS

- AGENCIA UNIVERSITARIA DE PERIODISMO CIENTÍFICO [Sitio Web]. No hay agua para tanta caña. [Consultado el 10-03-2023] Consultado en: <http://aupec.univalle.edu.co/informes/junio97/boletin40/aguacana.html>
- AMERICAN METEOROLOGICAL SOCIETY. Glossary of Meteorology [Sitio Web]. En: <https://glossary.ametsoc.org/wiki/Weather> . Citado por: TORRES, Victor. Tiempo, Clima y los fenómenos atmosféricos: desde torbellinos hasta cambio climático. Ciudad de México. En: Revista Digital universitaria. 2019. p. 3. DOI 10.22201
- ASOCAÑA [Sitio web]. Sector Agroindustrial de la Caña: Aspectos generales. [Consultado el 22-02-23] Consultado en: <https://www.asocana.org/publico/info.aspx?Cid=215#:~:text=La%20agroindustria%20de%20la%20ca%C3%B1a,Cauca%20el%2019%2C7%25>.
- ASOCIACIÓN MEXICANA DE INFRAESTRUCTURA PORTUARIA, MARÍTIMA Y COSTERA [Sitio web]. Definición de evento extremo. Consultado el [16-06-23]. Consultado en: <http://amip.org.mx/htm/RevAMIP/A4NUM15/AMIP41518.pdf>
- ARAGÓN, Juan; LERMA, Brayan. Análisis espacio temporal (1981-2010) de la precipitación en la ciudad de Bogotá: avances en la generación de índices extremos. En: Revista facultad de ingeniería. 2019, Vol, 28 (51), 20 p. ISSN 2357- 5328.
- ASHCROFT, Linden; KAROLY, David; DESALIÑADO, Andrew. Historical extreme rainfall events in southeastern Australia. En: Weather and Climate Extremes. 2019. Vol 25. 11 p. ISSN 2212-0947
- ÁVILA, Álvaro; CARDONA, Faisury; CARVAJAL, Yesid; JUSTINO, Flavio. Recent Precipitation and Floods in the Colombian Andes. En: Water. 2019, Vol 11, 379, 22 P. ISSN 20734441

- ÁVILA, Karla. ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE EVENTOS EXTREMOS DE PRECIPITACIÓN EN LA ZONA CENTRO Y SUR DE CHILE CONTINENTAL. Tesis de maestría. Barcelona: Universitat de Barcelona, 2012, 71 P.
- BANCO INTERNACIONAL DE RECONSTRUCCIÓN Y FOMENTO; BANCO MUNDIAL. Análisis de la gestión del riesgo de desastres en Colombia: un aporte para la construcción de políticas públicas. Informe de un grupo científico del BIRF Y BM. Bogotá D.C; 2012. 411 P.
- BANCO MUNDIAL. Análisis de la gestión del riesgo de desastres en Colombia: un aporte para la construcción de políticas públicas. Bogotá – Colombia, citado por RODRIGUEZ, Melissa. Caracterización de eventos extremos de precipitación diaria en Colombia: Observaciones, simulaciones y proyecciones. Medellín. 2018. 78 p.
- CANCHALA, Teresita; CARVAJAL, Yesid; MORALES, Wilfredo; LOAIZA, WILMAR; CAICEDO, Eduardo. Estimation of missing data of monthly rainfall in southweteren Colombia using neural networks. En: Data in brief. 2019. Vol. 26, p. 4. ISSN 2352-3409
- CÁRDENAS, Lina. Invierno en Valle del Cauca genera pérdida total de 2.000 hectáreas de cultivos de caña. En: RCN radio. Bogotá D.C. 2022, abril, 29. 5 P.
- CARVAJAL, Yesid; JIMÉNEZ, Henry; MATERÓN, Hernan. Incidencia del fenómeno ENSO en la hidroclimatología del Valle del Rio Cauca- Colombia. En: Bulletin de Institut Français d'Études Andines. 1998, Vol, 27, Núm 3, 9 P. ISSN 0303-7495
- CEPAL. El conglomerado del azúcar del Valle del Cauca, Colombia. *En: Naciones Unidas*. 2002, Vol.134, 47 p. ISSN 1680.-8754
- CERÓN, Wilmar; ANDREOLI, Rita; KAYANO, Mary; CANCHALA, Teresita; CARVAJAL, Yesid; SOUZA, Rodrigo. Comparison of spatial interpolation methods for anual and seasonal rainfall in two hotspots of biodiversity in South America. En: Anais Da Academia Brasileira de Ciencias. 2021, Vol. 93 (1), 22 P. ISSN 1678-2690.

- CERÓN, Wilmar; ANDREOLI, Rita; KAYANO, Mary; CANCHALA, Teresita; OCAMPO, Camilo; AVILA, Alvaro; ANTUNES, Jean. Trend Pattern of Heavy and Intense Rainfall Events in Colombia from 1981-2018: A Trend- EOF Approach. *En: atmosphere*. 2022,13, 156, 23 P. ISSN 20734433.
- CERÓN, Wilmar; KAYANO, Mary; ANDREOLI, Rita; AVILA, Alvaro; AYES, Irma; FREITAS, Edmilson; MARTINS, Jorge; SOUZA, Rodrigo. Recent intensification of extreme precipitation events in the La Plata Basin in Southern South America (1981-2018). *En: Atmospheric Research*. 2020, 249, p. 6-15. ISSN 01698095.
- CERÓN, Wilmar. VARIAÇÕES MULTIDECENAIAS DA PRECIPITAÇÃO NA COLÔMBIA E NA BACIA DO PRATA E SUAS RELAÇÕES COM OS JATOS DE BAIXOS NÍVEIS. Tesis doctoral. Brasil, Manaus. 2020. 242 P.
- COMISIÓN COLOMBIANA DEL OCÉANO [Sitio web]. Eventos extremos. [Consultado el 21-06-23] Consultado en: <https://cco.gov.co/eventos-extremos.html>
- COMISIÓN ECONÓMICA PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE (CEPAL). Valoración de daños y pérdidas. Ola invernal en Colombia, 2010-2011. Bogotá: CEPAL, 2012. ISBN: 978-958-57544-0-9.
- COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPÚBLICA. Ley 1615. (29, abril, 2013). Por la cual se deroga la Ley orgánica 128 de 1994 y se expide el régimen para las áreas metropolitanas. *En: función pública*. Bogotá. 2013. 12 P.
- CORPORACIÓN ANDINA DE FOMENTO. El fenómeno El Niño 1997- 1998. Memoria, retos y soluciones. Volumen III: Colombia. Informe de un grupo de científicos de la CAF. Colombia; 2000. 242 P. Volumen III. ISSN: 01371592

- CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA. Plan integral de adaptación y mitigación al cambio climático para Santiago de Cali. Informe de la CVC con apoyo del Centro Internacional de Agricultura tropical CIAT Y el Departamento Administrativo de Gestión Medioambiental DAGMA. Santiago de Cali, 2016.
- CUARTAS, Daniel; CAICEDO, María; ORTEGA, Delia; CARDONA, Faisury; CARVAJAL, Yesid; MÉNDEZ, Fabián. TENDENCIA ESPACIAL Y TEMPORAL DE EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS EN EL VALLE GEOGRÁFICO DEL RÍO CAUCA. *En: Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*. 2017, 20, 279 P. ISSN 01234226
- DESINVENTAR. [Sitio Web]. Eventos de lluvia para el valle del Cauca-Colombia. [Consultado el 21-02-23]. Consultado en: <https://www.desinventar.net/DesInventar/results.jsp>
- DUQUE, Gonzalo [Sitio Web]. El Río Cauca en el desarrollo de la región [Consultado el 29-03-2023]. 2019, p. 1-2. Consultado en: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/77027/elriocaucaeneldesarrollodelaregion.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- EXPERT TEAM ON CLIMATE CHANGE DETECTION AND INDICES [sitio web]. Climate Change Indices. [Consultado el 21-06-23] Consultado en: http://etccdi.pacificclimate.org/indices_def.shtml
- EXPERT TEAM ON CLIMATE CHANGE DETECTION AND INDICES [sitio web]. Overview. [Consulta: 17 de febrero]. Disponible en: <http://etccdi.pacificclimate.org/>
- EXPERT TEAM ON CLIMATE CHANGE DETECTION AND INDICES [sitio web]. Overview. [Consulta: 17 de febrero]. Disponible en: <http://etccdi.pacificclimate.org/index.shtml>
- FATICHI, Simon. Mann-kendall Test Original & Theil-Sen-Regress [Función MatLab]. 2009.

- HUNT, B.G & ELLIOTT, T.I. Interaction of Climatic Variability with Climatic Change. En: *Atmosphere*. 2004, Vol. 42, 3. 27 P. ISSN 14809214.
- IDEAM; PNUD; MADS; DNP; CANCELLEERÍA. Nuevos escenarios de cambio climático para Colombia 2011-2100 herramientas científicas para la toma de decisiones. Enfoque nacional- departamental: Tercera comunicación nacional de cambio climático. 2015. Informe de grupo científico: Bogotá; 2015. Serie de informes técnicos. 63 P. ISBN 978-958-8902-55-5.
- INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. [Sitio web]. Conceptos básicos de cambio climático. [Consulta: 17 de febrero]. Disponible en: <http://www.cambioclimatico.gov.co/otras-iniciativas>
- IPCC [Sitio web]. Chapter 11: Weather and Climate Extreme Events in a Changing Climate. Consultado el [12-09-23]. Consultado en: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/chapter/chapter-11/>
- IPCC. Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change, citado por RODRÍGUEZ, Melissa. Caracterización de eventos extremos de precipitación diaria en Colombia: Observaciones, simulaciones y proyecciones. Medellín. 2018. 78 p.
- JARAMILLO, Fernando; GÓMEZ, Mónica; CALDERÓN, Silvia; ROMERO, Germán; ORDÓÑEZ, Daniel; ÁLVAREZ, Andrés; SÁNCHEZ-ÁRAGÓN, Leonardo; LUDEÑA, Carlos. Impactos económicos del cambio climático en Colombia: costos económicos de los eventos extremos. Informe de grupo técnico CEPAL, DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN COLOMBIA, IDEAM, BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO: WASHINGTON D.C. p. 8.
- JONAH, K.; WEN, W.; SHAHID, S.; ALI, M.A.; BILAL, M.; HABTEMICHEAL, B.A.; IYAKAREMYE, V.; QIU, Z.; ALMAZROUI, M.; WANG, Y.; et al. Spatiotemporal variability of rainfall trends and influencing factors in Rwanda. *J. Atmos. Sol.-Terr. Phys.*

- 2021, 219, 105631. Citado por CERÓN, Wilmar *et al.* Trend Pattern of Heavy and Intense Rainfall Events in Colombia from 1981–2018: A Trend-EOF Approach.2022. P. 8.
- LAMPIS, Andrea. Vulnerabilidad y adaptación al cambio climático: debates acerca del concepto de vulnerabilidad y su medición. En: *Cuadernos de geografía*. 2013, Vol.22, 2, 15 P. ISSN 0121-215X.
 - LÓPEZ, Silvana. Análisis de la variabilidad espacio-temporal de los eventos de precipitación extrema y su relación con las descargas eléctricas en la región andina colombiana. Tesis de maestría. Medellín: Universidad Nacional de Colombia, 2021, p. 100.
 - NOAA [Sitio Web]. Cold and Warm Episodes bySeason. Climate Prediction Center. [Consultado el 08-03-2023] Consulado en: http://www.cpc.noaa.gov:80/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.html
 - MANN, H.B. Nonparametric Tests Against Trend. *Econometrica*. 1945, Vol 13. P. 245-259. Citado por CERÓN, Wilmar *et al.* Trend Pattern of Heavy and Intense Rainfall Events in Colombia from 1981–2018: A Trend-EOF Approach.2022. P. 8.
 - MARENGO, Jose; AMBRIZZI, Tercio; ALVEZ, Lincoln; BARRETO, Naurinete; SIMOES, Michelle; RAMOS, Andrea. Changing Trends in Rainfall Extremes in the Metropolitan Area of Sao Paulo: Causes and Impacts. En: *Frontiers in Climate*. 2020, Vol 3, 13 p. ISSN 26249553.
 - MARENGO, Jose; ALVEZ, Lincoln; AMBRIZZI, Tercio; YOUNG, Andrea; BARRETO, Naurinete; RAMOS, Andrea. Trends in extreme rainfall and hydrogeometeorological disasters in the Metropolitan Area of Sao Paulo: a review. En: *Annals of the New York Academic of Science*. 2020, vol 1, 16 p. ISSN 17496632.
 - MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Plan de acción de la plataforma colaborativa para la recuperación de la cuenca alta del río Cauca. Plan de

acción de grupo técnico del MinAmbiente, Propacífico, GobValle, GobCauca, CVC, CRC y Dagma. 2021. Versión 1 del documento.

- MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE [Sitio Web]. La cuenca y sus características básicas [Consultado el 29-03-2023]. p. 2. Consultado en: <https://www.minambiente.gov.co/gestion-integral-del-recurso-hidrico/plataformas-colaborativas/plataforma-colaborativa-2-cuenca-alta-del-rio-cauca/>
- MONTEALEGRE, J. & PABÓN, J. La Variabilidad Climática Interanual Asociada Al Ciclo El Niño-La Niña-Oscilación Del Sur Y Su Efecto En El Patrón Pluviométrico De Colombia. Citado por CERÓN, Wilmar. VARIAÇÕES MULTIDECENAIS DA PRECIPITAÇÃO NA COLÔMBIA E NA BACIA DO PRATA E SUAS RELAÇÕES COM OS JATOS DE BAIXOS NÍVEIS. Tesis doctoral. Brasil, Manaus. 2020. p. 37.
- MUKHERJEE, Sourav; AADHAR, Saran; DAITHI, Piedra; MISHRA, Vimal. Increase in extreme precipitation events under anthropogenic warming in India. En: Weather and Climate Extremes. 2018, vol 20, 45-53 p. ISSN 2212-0947
- OCAMPO, Camilo; LOAIZA, Wilmar; ÁVILA, Alvaro; MORALES, Wilfredo; KAYANO, Mary & TORRES, Roger. Missing data estimation in extreme rainfall indices for the Metropolitan area of Cali - Colombia: An approach based on artificial neural networks. En: Data in brief. Diciembre 2021, Vol. 39, 12 p. ISSN: 23523409.
- QUESADA, Benjamín. & ÁVILA, Álvaro. Urgencia de entender y responder a los impactos hidroclimáticos en Colombia. En: PLOS Clim. 2023, Vol 2(3) p. 1. DOI: 10.1371
- REIG, Fergus; VICENTE, Sergio; DOMINGUEZ, Fernando; BEDIA; Joaquin. Climate índices; package ClimInd [Package RStudio]. 2021
- SEELMANN, David. Evaluación del impacto del cambio climático en eventos extremos. análisis de riesgo de sequías e inundaciones usando métodos simples. Tesis de pregrado. Santiago de Chile: Universidad de Chile, 2017, 165 P.

- SERNA, Lina; ARIAS, Paola; VIEIRA, Sara. Las corrientes superficiales de chorro del Chocó y el Caribe durante los eventos de El Niño y El Niño Modoki. En: Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. 2018, Vol. 42, n. 165, 11 p. ISSN 0370-3908.
-
- SILVA ALVEZ, Keyla. & SILVA NÓBREGA, Ranyére. Tendencia pluviométrica y concentración estacional de precipitación en la cuenca hidrográfica del río Moxotó–Pernamcuco – Brasil. En: Revista geográfica de América Central. 2017, Vol.1, 58. 13 P. ISSN: 2215-2563.
- SILVA, Maria, DIAS, Juliana, CARVALHO, Leila, FREITAS, Edmilson & SILVA, Pedro. Changes in extreme daily rainfall for São Paulo, Brazil. En: *Climatic Change*. 2013. 18 p. ISSN 01650009.
- SONG, Yanling; ACHBERGER, Christine; LINDERHOLM, Hans. Rain-season trends in precipitation and their effect in different climate regions of China during 1961–2008. En: *Environmental Research Letters*. 2011. 8 p. ISSN 17489326
- TABASCO [Sitio web]. Eventos extremos. [Consultado el 21-06-23] Consultado en: <https://tabasco.gob.mx/eventos-extremos#:~:text=Aunque%20no%20hay%20definici%C3%B3n%20precisa,ya%20sea%20regional%20o%20localmente>.
- UNIDAD NACIONAL PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES-COLOMBIA UNGRD. Fenómeno El Niño: Análisis comparativo 1997-1998//2014-2016. Informe de grupo técnico de la UNGRD. Bogotá D.C.; 2016. 143 P. ISBN 978-958-56017-0-3.
- VARGAS, Germán; HERNÁNDEZ, Yolanda; PABÓN, José. La Niña Event 2010- 2011: Hydroclimatic Effects and Socioeconomic Impacts in Colombia. En: Sustainable Development Goals Series. 2018. 20 P. ISBN 978-3-319-56469-2

- YU, J-y et al. Decadal changes of El Niño persistence barrier in SST and ocean heat content indices: 1958-2001. Citado por SILVA ALVEZ & SILVA NÓBREGA. Tendencia pluviométrica y concentración estacional de precipitación en la cuenca hidrográfica del río Moxotó– Pernamcuco – Brasil. p. 298.
- ZAPATA, Emmanuel. La estructura ecológica del área de influencia metropolitana de Cali: su organización espacial y provisión de servicios ecosistémicos. Tesis doctoral. Cali. Universidad del Valle. Departamento de Biología, 2021. 209 P.

ANEXOS

Anexo 1

Script creador por: Wilmar Loaiza Cerón.

```
clear all;
cd 'C:\Users\juan pablo\Desktop\calculo_tendencias'

r20 = load('r20mm_son4.txt');

% CALCULO PARA CADA COLUMNA ManKendall - Significancia estadística de la
% tendencia
for i=1:length(r20);
[H1(:,i),p_v(:,i)]=Mann_Kendall(r20(:,i),0.05); %#ok<SAGROW>
end;

p_value=p_v';

% CALCULO DE LA MAGNITUD DE LA TENDENCIA
ano1= [1969:1:2020]';

% CALCULO PARA CADA ESTACIÓN Sen's slope estimator
for i=1:length(r20);
N(:,i)=Theil_Sen_Regress(ano1,r20(:,i));
end;

N10 = (N*10)';
```

Anexo 2: Completado de datos a nivel anual para las estaciones Vijos y Suárez

Vijos

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1969	100	110	58	142	81	130	19	3	128	151	108	42
1970	54	33	37	131	115	147	27	65	39	143	152	68
1971	78	34	148	96	226	36	80	90	75	256	146	64
1972	111	60	104	81	126	51	48	76	73	229	82	94
1973	3	9	94	75	77	98	71	94	125	120	89	69
1974	53	91	60	171	90	77	40	11	98	79	80	24
1975	17	86	95	79	105	101	78	66	59	148	93	91
1976	13	33	116	100	70	2	31	2	34	82	52	38
1977	99	11	72	25	32	43	7	69	149	149	148	81
1978	24	36	194	187	101	13	68	25	53	154	94	70
1979	37	9	76	245	99	71	44	140	138	150	93	63
1980	31	84	58	105	84	90	77	90	64	140	96	70
1981	123	142	128	228	237	40	52	164	35	129	89	85
1982	60	85	157	187	188	41	29	0	66	135	71	158
1983	8	7	153	225	122	34	35	28	79	118	97	37
1984	60	156	102	131	116	91	100	100	173	129	167	35
1985	61	17	161	47	121	81	27	78	145	156	73	30
1986	71	63	79	170	80	65	3	14	61	199	60	17
1987	23	76	71	109	72	15	45	18	84	101	72	41
1988	22	40	17	160	71	91	58	72	57	87	168	31
1989	64	52	109	93	84	81	45	45	102	199	108	47
1990	84	85	115	93	18	26	69	83	74	81	90	30
1991	0	40	137	88	187	49	23	10	63	46	86	49
1992	11	36	46	68	82	67	22	30	116	78	141	114
1993	52	59	149	103	87	9	39	3	142	57	169	67
1994	80	108	167	159	89	45	33	52	80	156	167	129
1995	4	53	108	179	30	69	111	74	142	133	62	62
1996	35	88	144	97	140	65	75	44	141	124	67	86
1997	128	37	134	142	60	119	13	0	83	146	117	22
1998	9	41	80	133	146	41	72	71	164	84	103	53
1999	44	139	43	168	71	101	8	70	140	122	64	80
2000	34	48	112	128	111	40	64	26	106	107	67	60
2001	31	40	107	40	85	28	15	0	78	104	161	103
2002	14	31	101	116	15	53	37	26	37	110	58	70
2003	6	27	117	119	61	57	20	39	55	214	83	21
2004	36	17	33	109	46	13	33	1	77	151	128	27
2005	32	30	68	56	154	52	25	51	52	102	157	53
2006	37	60	63	104	70	118	33	5	37	112	105	86
2007	46	43	70	101	133	60	52	68	70	175	51	82
2008	108	84	64	144	115	74	63	114	52	59	106	71
2009	87	72	135	39	101	101	9	3	15	79	53	124
2010	4	40	12	153	101	85	89	10	46	89	215	108
2011	5	35	115	186	43	110	62	4	62	120	78	78
2012	46	18	80	129	82	28	58	64	20	83	19	36
2013	0	109	88	59	173	35	5	41	19	84	20	48
2014	15	55	97	129	46	10	29	3	49	120	149	88
2015	22	44	60	138	46	3	28	0	6	74	35	12
2016	29	38	100	143	124	20	39	39	63	163	75	77
2017	47	39	147	110	109	90	6	55	41	79	73	72
2018	126	36	74	83	112	23	52	28	53	151	108	7
2019	9	48	102	114	107	86	19	0	111	187	191	32
Promedio	45	56	97	122	99	60	43	44	79	126	101	63

Suárez

	Jan*	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1969	105	286	370	318	238	163	0	92	422	156	262	39
1970	104	317	346	206	383	301	85	112	268	333	339	370
1971	269	261	312	134	336	177	143	254	180	288	293	142
1972	250	221	215	159	403	130	33	94	75	293	259	88
1973	51	38	248	192	306	124	210	138	337	381	362	350
1974	175	193	272	366	179	126	100	72	276	437	486	174
1975	119	239	256	165	309	157	185	225	283	206	405	348
1976	91	96	186	245	238	93	17	38	43	282	240	248
1977	46	85	209	143	108	78	109	70	245	376	246	276
1978	113	94	255	367	206	84	61	34	127	286	318	393
1979	109	45	224	377	293	134	58	232	163	256	223	83
1980	113	79	143	191	167	109	29	87	127	213	368	230
1981	105	200	178	252	222	197	115	208	117	298	308	205
1982	166	177	254	334	328	55	41	1	352	322	261	330
1983	48	103	235	380	274	198	74	110	100	368	278	303
1984	245	426	248	294	336	161	121	191	295	491	257	97
1985	208	78	245	260	146	70	109	224	333	309	256	422
1986	262	285	126	395	289	123	5	172	256	428	241	113
1987	137	255	150	182	229	125	194	99	183	316	81	202
1988	112	151	99	297	212	141	161	257	224	218	404	376
1989	387	196	276	152	325	269	82	105	301	369	189	189
1990	404	209	299	329	169	63	94	63	181	297	263	214
1991	91	140	179	207	313	212	66	40	241	148	237	131
1992	133	122	149	216	254	105	16	36	136	156	245	167
1993	170	168	305	431	260	95	78	80	171	262	393	420
1994	192	187	370	370	328	148	66	46	110	213	419	182
1995	73	27	179	353	173	229	139	105	133	251	254	177
1996	157	245	271	311	337	291	119	83	115	198	196	173
1997	150	112	237	185	155	207	10	0	189	337	297	51
1998	31	183	221	272	302	106	114	104	167	343	412	272
1999	308	396	307	240	184	260	40	129	316	285	214	240
2000	219	303	288	248	280	220	123	133	144	203	263	115
2001	60	173	337	184	275	171	54	18	385	316	471	263
2002	106	69	204	399	60	107	189	69	100	218	176	228
2003	48	297	134	193	183	210	89	65	159	413	252	82
2004	175	76	28	311	225	111	100	42	102	271	411	193
2005	292	189	281	95	326	236	54	211	97	225	231	256
2006	185	143	423	312	276	256	109	56	91	141	329	290
2007	267	28	365	368	74	127	128	109	103	432	280	429
2008	186	437	250	262	330	234	186	332	201	277	195	264
2009	373	142	278	167	180	125	44	142	117	202	268	249
2010	52	161	71	329	173	268	256	90	130	146	436	467
2011	181	222	211	280	95	133	128	144	98	204	251	269
2012	394	213	130	262	111	94	10	40	25	343	329	87
2013	64	186	141	170	316	114	23	200	156	222	177	310
2014	286	182	209	276	410	85	25	52	97	214	251	233
2015	184	125	249	220	196	18	180	66	60	223	569	48
2016	74	105	198	297	234	121	96	37	129	326	307	466
2017	346	58	427	239	302	311	7	249	43	282	79	308
2018	172	257	209	228	409	188	119	54	177	348	505	57
2019	79	242	246	288	301	123	95	0	169	242	352	228
Promedio	169.939	180.824	236.127	263.745	250.139	156.537	91.9348	109.983	177.433	281.65	296.804	232.289

Anexo 3: Tabla de significancia estadística y magnitud de la tendencia

DJF

Estación	DJF																							
	CDD		CWD		D95P		DD		DR1MM		DR3MM		PRCPTOT_OBS		R10MM		R20MM		RX1DAY		RX5DAY		SDII	
	Pvalue	Sen*10	Pvalue	Sen*10	Pvalue	Sen*10	Pvalue	Sen*10	Pvalue	Sen*10	Pvalue	Sen*10	Pvalue	Sen*10	Pvalue	Sen*10	Pvalue	Sen*10	Pvalue	Sen*10	Pvalue	Sen*10	Pvalue	Sen*10
Buenos Aires	0.243	-0.53	0.394	0.00	0.752	0.00	0.026	0.00	0.312	-1.25	0.575	-0.82	0.592	-14.59	0.918	0.00	0.180	0.63	0.198	2.11	0.740	-1.02	0.353	0.47
Caloto	0.693	0.00	0.005	-0.67	0.198	-0.67	0.636	-0.67	0.782	-0.29	0.403	-0.94	1.000	0.00	0.373	0.63	1.000	0.00	0.659	-1.56	0.937	0.43	0.089	0.82
Rio Palo	0.001	2.22	0.850	0.00	0.543	0.00	0.064	0.00	0.091	-2.33	0.975	0.00	0.101	43.31	0.050	1.68	0.022	1.43	0.328	-1.54	0.011	10.92	0.000	2.67
Ing. Bengala	0.312	0.83	0.259	0.00	0.344	0.00	0.340	0.00	0.283	1.07	0.344	0.83	0.782	-3.90	0.262	0.71	0.246	0.29	0.253	-1.86	0.332	2.50	0.005	1.00
Suarez	0.196	0.46	0.614	0.00	0.752	0.00	0.502	0.00	0.619	-0.44	0.844	0.00	0.705	10.00	0.043	1.62	0.091	0.88	0.636	-0.80	0.215	4.53	0.000	1.09
Villa Rica	0.435	-0.37	0.782	0.00	0.262	0.00	0.028	0.00	0.090	1.62	0.390	0.73	0.813	3.74	0.831	0.00	0.597	0.00	0.614	-0.83	0.831	1.38	0.586	-0.27
Ing. Cauca	0.950	0.00	0.290	0.00	0.416	0.00	0.687	0.00	0.636	-0.53	0.324	0.67	0.492	11.39	0.502	0.31	0.482	0.00	0.478	1.11	0.518	2.46	0.139	0.52
Miranda	0.630	0.00	0.283	0.00	0.407	0.00	0.687	0.00	0.175	-1.25	0.636	-0.41	0.758	4.35	0.764	0.00	0.699	0.00	0.230	2.00	0.312	3.40	0.052	0.55
Vijes	0.693	-0.25	0.273	0.00	0.962	0.00	0.900	0.00	0.776	0.00	0.795	0.00	0.287	-6.57	0.653	0.00	0.348	0.00	0.294	-1.25	0.862	-0.12	0.407	-0.28
Queremal	0.221	0.65	0.012	-1.25	0.373	-1.25	0.000	-1.25	0.015	-4.55	0.482	-0.30	0.676	3.96	0.444	0.00	0.518	0.00	0.918	0.00	1.000	0.00	0.019	0.69
Florida	0.344	-0.56	0.000	1.25	0.918	1.25	0.000	1.25	0.000	4.06	0.043	1.73	0.221	19.41	0.687	0.00	0.407	0.24	0.699	0.70	0.276	3.64	0.090	-0.74
Univalle	0.398	0.53	0.087	0.28	0.687	0.28	0.956	0.28	0.950	0.00	0.559	0.40	0.906	2.59	0.699	0.00	0.316	0.29	0.717	0.57	0.659	1.27	0.416	0.25
Brasilia	0.120	0.67	0.788	0.00	0.837	0.00	0.290	0.00	0.653	-0.47	0.581	-0.43	0.478	7.77	0.981	0.00	0.918	0.00	0.458	1.03	0.435	1.54	0.177	0.29
Bellavista	0.007	1.86	0.856	0.00	0.538	0.00	0.592	0.00	0.113	-3.22	0.512	-0.96	0.381	-14.59	0.180	-0.85	0.116	-0.59	0.795	0.00	0.262	-3.02	1.000	0.00
Auji	0.549	0.51	0.825	0.00	0.740	0.00	0.653	0.00	0.055	-2.18	0.482	-0.51	0.581	8.23	0.647	0.00	0.893	0.00	0.298	2.86	0.801	-1.36	0.539	-0.21
El Castillo	0.305	-0.63	0.256	0.28	0.969	0.28	0.085	0.28	0.075	1.98	0.273	1.11	0.717	5.19	0.360	-0.48	0.283	-0.40	0.642	0.81	0.482	2.38	0.004	-1.09
San Juan Bosco	0.807	0.00	1.000	0.00	0.266	0.00	0.856	0.00	0.332	0.83	0.807	0.00	0.377	9.11	0.453	-0.27	0.373	0.00	0.287	2.50	0.102	5.56	0.056	0.50
San Pablo	0.007	1.67	0.788	0.00	0.642	0.00	0.005	0.00	0.144	-2.26	0.937	0.00	0.385	-13.20	0.421	-0.71	0.298	-0.22	0.449	-1.71	0.614	1.75	0.187	0.41
Topacio	0.453	0.35	0.160	-0.30	0.360	-0.30	0.740	-0.30	0.664	-0.45	0.956	0.00	0.868	5.91	0.819	0.00	0.770	0.00	0.764	0.74	0.850	-1.07	0.386	0.32
La Balsa	0.243	0.53	0.482	0.00	0.906	0.00	0.528	0.00	0.052	-2.50	0.290	-1.00	0.837	3.43	0.875	0.00	0.403	0.26	0.856	0.00	0.881	-0.58	0.009	1.10
La Fonda	0.931	0.00	0.165	-0.21	0.212	-0.21	0.368	-0.21	0.332	-1.30	0.207	-1.55	0.728	-4.87	0.373	-0.53	0.305	-0.34	0.066	2.78	0.746	-1.14	0.338	0.36
Las Brisas	0.088	1.05	0.147	-0.34	0.788	-0.34	0.407	-0.34	0.237	-1.32	0.788	0.00	0.687	7.29	0.962	0.00	0.385	0.36	0.523	1.74	0.554	2.85	0.163	0.59
La Teresita	0.943	0.00	0.316	0.00	0.795	0.00	0.740	0.00	0.670	0.50	0.283	-0.94	0.512	-5.99	0.073	-0.91	0.101	-0.31	0.512	1.56	0.360	-2.00	0.151	-0.36
Los Cristales	0.636	0.23	0.170	0.23	0.305	0.23	0.770	0.23	0.906	0.00	0.653	-0.39	0.687	7.93	0.881	0.00	0.549	0.00	0.507	1.63	0.230	5.78	0.634	-0.12
Manuelita	0.931	0.00	0.533	0.00	0.887	0.00	0.377	0.00	0.453	0.62	0.581	0.29	0.340	10.00	0.502	0.00	0.269	0.00	0.011	3.24	0.031	4.77	0.217	0.18

MAM

Estación	MAM																							
	CDD		CWD		D95P		DD		DR1MM		DR3MM		PRCPTOT_OBS		R10MM		R20MM		RX1DAY		RX5DAY		SDII	
	Pvalue	Sen*10	Pvalue	Sen*10	Pvalue	Sen*10	Pvalue	Sen*10	Pvalue	Sen*10	Pvalue	Sen*10	Pvalue	Sen*10	Pvalue	Sen*10	Pvalue	Sen*10	Pvalue	Sen*10	Pvalue	Sen*10	Pvalue	Sen*10
Buenos Aires	0.705	0.00	0.444	-0.31	0.104	0.43	0.687	0.46	0.023	-3.45	0.233	-1.15	0.381	-25.52	0.533	0.59	0.364	0.74	0.642	1.32	0.918	-0.58	0.136	0.68
Caloto	0.077	0.74	0.000	-1.12	0.356	0.00	0.000	4.83	0.000	-3.57	0.001	-2.77	0.190	-26.31	0.001	-2.06	0.962	0.00	0.549	-1.64	0.416	-3.78	0.101	0.81
Rio Palo	0.444	0.40	0.027	0.67	0.000	1.00	0.170	1.52	0.201	-1.27	0.136	1.39	0.001	94.81	0.003	3.02	0.000	3.11	0.122	-3.10	0.003	12.46	0.000	2.95
Ing. Bengala	0.010	1.43	0.825	0.00	0.136	0.29	0.224	1.18	0.047	-1.67	0.356	-0.60	0.981	1.01	0.016	2.00	0.007	1.00	0.844	0.49	0.051	6.03	0.017	1.45
Suarez	0.412	0.00	0.028	-0.71	0.549	0.00	0.093	1.25	0.130	-1.14	0.746	-0.12	0.473	-12.66	0.868	0.00	0.385	0.31	0.262	-1.88	0.407	-2.15	0.518	0.17
Villa Rica	0.230	-0.41	0.000	1.21	0.740	0.00	0.000	-4.42	0.000	4.95	0.023	1.91	0.482	15.37	0.076	-1.25	0.134	-0.45	0.565	1.03	0.608	1.98	0.018	-1.19
Ing. Cauca	0.478	0.26	0.316	0.00	0.078	0.32	0.390	-0.73	0.344	0.71	0.758	0.00	0.412	10.76	0.740	0.00	0.040	0.45	0.249	2.86	0.083	5.24	0.180	0.33
Miranda	0.619	0.00	0.377	0.00	0.705	0.00	0.430	0.53	0.659	0.00	0.740	0.00	0.559	7.63	0.653	0.00	0.201	0.27	0.693	0.80	0.230	3.94	0.298	0.26
Vijes	0.324	0.43	0.975	0.00	0.619	0.00	0.987	0.00	0.813	0.00	0.185	-0.76	0.224	-7.96	0.039	-0.71	0.044	-0.33	0.463	0.83	0.969	0.00	0.020	-0.67
Queremal	0.016	1.06	0.000	-1.51	0.230	-0.33	0.022	3.33	0.003	-3.56	0.025	-1.40	0.444	-9.17	0.758	0.00	0.006	0.69	0.144	2.06	0.543	1.94	0.001	0.95
Florida	0.016	-1.06	0.000	1.36	0.120	0.42	0.000	-5.45	0.000	5.45	0.006	2.00	0.177	25.42	0.093	-0.77	0.262	-0.40	0.381	2.00	0.032	9.31	0.003	-1.32
Univalle	0.682	0.00	0.893	0.00	0.290	0.00	0.734	-0.29	0.776	0.00	0.746	0.00	0.693	5.37	0.868	0.00	0.430	-0.28	0.368	1.72	0.931	-0.14	0.856	0.04
Brasília	0.943	0.00	0.439	-0.11	0.035	0.41	0.096	1.69	0.151	-1.52	0.352	-0.73	0.160	20.00	0.188	0.71	0.015	0.60	0.142	2.17	0.340	1.91	0.004	0.68
Bellavista	0.050	0.67	0.592	0.00	0.287	0.00	0.066	2.13	0.087	-2.00	0.502	-0.75	0.000	-57.50	0.000	-2.94	0.084	-0.66	0.021	-4.17	0.005	-10.12	0.001	-1.10
Auji	0.253	0.70	0.381	0.00	0.381	0.00	0.324	0.89	0.360	-0.92	0.538	-0.63	0.054	-20.51	0.237	-0.51	0.893	0.00	0.243	-1.37	0.381	-1.96	0.687	-0.10
El Castillo	0.717	0.00	0.193	0.36	0.453	0.00	0.160	-1.43	0.075	1.82	0.301	0.83	0.230	23.64	0.412	-0.33	0.132	-0.59	0.746	0.69	0.570	2.19	0.090	-0.72
San Juan Bosco	0.430	0.00	0.390	0.00	0.024	0.66	0.099	-0.95	0.151	0.88	0.059	1.16	0.000	49.05	0.021	1.29	0.002	0.78	0.093	3.03	0.328	2.22	0.032	0.46
San Pablo	0.128	0.43	0.523	0.00	0.336	0.00	0.130	1.88	0.305	-1.13	0.162	1.54	0.659	-6.63	0.728	0.31	0.463	-0.24	0.430	-1.53	0.543	3.05	0.670	0.14
Topacio	0.533	0.00	0.018	0.75	0.290	0.00	0.943	0.00	0.126	1.11	0.592	-0.31	0.320	14.14	0.602	0.26	0.487	0.26	0.728	-0.75	0.740	1.34	0.969	0.00
La Balsa	0.398	0.25	0.068	-0.43	0.172	0.00	0.093	1.69	0.140	-1.35	0.782	0.00	0.182	21.21	0.352	0.51	0.091	0.64	0.001	5.44	0.032	7.70	0.016	0.75
La Fonda	0.912	0.00	0.054	-0.52	0.819	0.00	0.246	1.00	0.425	-0.73	0.009	-2.00	0.543	-11.51	0.162	-0.74	0.850	0.00	0.390	2.12	0.975	0.00	0.507	0.20
Las Brisas	0.439	0.00	0.518	0.00	0.336	0.00	0.096	1.72	0.153	-1.43	0.377	-0.67	0.912	1.80	0.340	0.55	0.670	0.00	0.207	-1.93	0.266	4.90	0.096	0.50
La Teresita	0.837	0.00	0.256	0.33	0.586	0.00	0.026	-2.68	0.065	2.03	0.320	-1.18	0.230	-16.61	0.027	-1.43	0.029	-0.82	0.693	0.71	0.468	-2.78	0.002	-0.94
Los Cristales	0.142	0.44	0.130	0.36	0.699	0.00	0.538	-0.33	0.943	0.00	0.088	-0.95	0.196	-14.17	0.087	-1.01	0.262	-0.43	0.931	0.00	0.412	-2.73	0.212	-0.39
Manuelita	0.693	0.00	0.453	0.00	0.670	0.00	0.981	0.00	0.825	0.00	0.394	-0.36	0.204	-15.67	0.032	-0.82	0.381	-0.26	0.188	1.82	0.185	3.57	0.602	-0.11

JJA

Estación	JJA																							
	CDD		CWD		D95P		DD		DR1MM		DR3MM		PRCPTOT_OBS		R10MM		R20MM		RX1DAY		RX5DAY		SDII	
	Pvalue	Sen*10	Pvalue	Sen*10	Pvalue	Sen*10	Pvalue	Sen*10	Pvalue	Sen*10	Pvalue	Sen*10	Pvalue	Sen*10	Pvalue	Sen*10	Pvalue	Sen*10	Pvalue	Sen*10	Pvalue	Sen*10	Pvalue	Sen*10
Buenos Aires	0.6247	0.53	0.122	-0.27	0.981	0.00	0.586	-0.49	0.801	-0.11	0.158	-1.19	0.619	8.17	0.072	-1.35	0.390	-0.31	0.201	3.22	0.060	6.94	0.348	0.46
Caloto	0.3854	0.91	0.000	-0.49	0.204	-0.34	0.004	2.00	0.000	-2.35	0.041	-1.25	0.107	-16.60	0.024	-0.74	0.975	0.00	0.280	-2.83	0.182	-3.85	0.049	1.37
Rio Palo	0.0008	4.44	0.000	-0.77	0.608	0.00	0.000	3.33	0.000	-3.16	0.676	0.00	0.795	-5.71	0.201	0.74	0.987	0.00	0.280	-2.83	0.439	-2.92	0.031	1.50
Ing. Bengala	0.9874	0.00	0.149	0.00	0.518	0.00	0.549	0.50	0.007	-2.28	0.887	0.00	0.925	-1.13	0.987	0.00	0.328	0.00	0.862	-0.29	0.458	-2.03	0.013	1.11
Suarez	0.0798	1.43	0.352	0.00	0.507	0.00	0.104	1.70	0.043	-2.00	0.269	-0.83	0.570	7.75	0.565	0.00	0.981	0.00	0.435	-1.33	0.987	0.00	0.201	0.48
Villa Rica	0.6080	-0.30	0.005	0.39	0.008	-0.71	0.050	-1.57	0.102	1.15	0.699	0.23	0.038	-23.21	0.007	-1.05	0.030	-0.63	0.642	-0.83	0.149	-5.79	0.002	-1.61
Ing. Cauca	0.6303	0.34	0.352	0.00	0.435	0.00	0.981	0.00	0.316	0.56	0.856	0.00	0.549	-5.13	0.012	-0.71	0.280	0.00	0.538	-1.09	0.332	-2.80	0.523	-0.13
Miranda	0.7824	0.00	0.031	-0.26	0.377	0.00	0.458	0.45	0.276	-0.68	0.301	-0.50	0.328	-8.14	0.676	0.00	0.994	0.00	0.614	0.62	0.740	0.93	0.825	-0.06
Vijes	0.5699	0.43	0.943	0.00	0.083	-0.38	0.549	0.39	0.328	-0.83	0.497	-0.42	0.056	-13.47	0.165	-0.35	0.009	-0.25	0.180	-1.75	0.381	-1.82	0.053	-0.50
Queremal	0.1127	1.00	0.101	-0.49	0.332	0.00	0.060	2.67	0.005	-5.00	0.075	-1.43	0.004	-27.89	0.421	-0.28	0.518	0.00	0.728	-0.30	0.030	-3.42	0.360	0.20
Florida	0.0103	-2.50	0.000	0.58	0.676	0.00	0.000	-3.33	0.001	3.00	0.149	0.82	0.377	5.42	0.906	0.00	0.981	0.00	0.581	-0.91	0.881	0.46	0.011	-0.75
Univalle	0.7703	0.00	0.463	0.00	0.044	-0.42	0.227	0.74	0.167	-0.89	0.048	-1.04	0.956	-0.18	0.087	-0.45	0.444	0.00	0.570	0.95	0.000	-9.29	0.006	-0.50
Brasilia	0.0671	1.18	0.943	0.00	0.421	0.00	0.049	2.36	0.204	-1.67	0.032	-1.53	0.085	-20.00	0.925	0.00	0.290	0.00	0.032	-3.72	0.042	-5.41	0.653	-0.11
Bellavista	0.0648	1.11	0.682	0.00	0.042	-0.56	0.190	1.46	0.218	-1.43	0.042	-1.51	0.023	-21.21	0.118	-0.66	0.026	0.00	0.230	-1.12	0.111	-3.49	0.066	-0.60
Aují	0.1239	1.86	0.608	0.00	0.439	0.00	0.190	1.11	0.212	-1.04	0.356	-0.65	0.975	0.00	0.364	0.00	0.390	0.00	0.356	-0.44	0.728	-0.36	0.439	0.14
El Castillo	1.0000	0.00	0.340	0.00	0.221	-0.27	0.717	-0.29	0.752	0.00	0.776	0.00	0.385	-8.13	0.106	-0.53	0.160	0.00	0.126	-3.55	0.497	-1.76	0.026	-0.73
San Juan Bosco	0.0745	-1.25	0.360	0.00	0.377	0.00	0.116	1.09	1.000	0.00	0.101	-0.88	0.000	-23.55	0.290	-0.27	0.543	0.00	0.385	-1.29	0.943	0.00	0.075	-0.40
San Pablo	0.5227	0.51	0.575	0.00	0.096	-0.49	0.000	4.69	0.000	-4.81	0.072	-1.74	0.031	-26.40	0.026	-1.38	0.122	-0.29	0.373	-1.02	0.439	-2.05	0.554	0.20
Topacio	0.1024	-0.82	0.776	0.00	0.994	0.00	0.950	0.00	0.875	0.00	0.444	-0.47	0.875	-1.46	0.136	-0.82	0.776	0.00	0.190	-2.67	0.309	-4.60	0.642	-0.14
La Balsa	0.3357	0.60	0.002	-0.45	0.586	0.00	0.001	2.50	0.012	-1.95	0.122	-0.91	0.421	-10.38	0.224	-0.45	0.837	0.00	0.912	0.00	0.204	-3.64	0.138	0.60
La Fonda	0.2273	1.15	0.305	0.00	0.336	0.00	0.031	2.00	0.003	-2.71	0.012	-1.82	0.016	-28.63	0.041	-0.87	0.084	-0.36	0.801	-0.48	0.006	-8.05	0.752	-0.14
Las Brisas	0.3518	0.83	0.210	0.00	0.101	-0.34	0.336	0.83	0.180	-1.09	0.664	-0.29	0.210	-17.29	0.201	-0.66	0.036	-0.56	0.207	-2.14	0.124	-5.17	0.549	-0.25
La Teresita	0.8622	0.00	0.693	0.00	0.172	-0.22	0.670	0.26	0.887	0.00	0.042	-1.88	0.012	-36.08	0.041	-1.43	0.064	-0.51	0.403	-1.49	0.005	-7.29	0.000	-0.89
Los Cristales	0.7463	0.00	0.844	0.00	0.120	-0.29	0.647	-0.34	0.764	0.00	0.060	-1.25	0.294	-13.25	0.052	-1.00	0.132	-0.26	0.416	-1.55	0.025	-6.40	0.073	-0.64
Manuelita	0.2067	-0.83	0.348	0.00	0.981	0.00	0.538	0.52	0.699	-0.32	0.597	-0.21	0.693	-2.38	0.398	0.00	0.259	0.00	0.468	1.18	0.844	0.38	0.559	0.12

SON

Estación	SON																							
	CDD		CWD		D95P		DD		DR1MM		DR3MM		PRCPTOT_OBS		R10MM		R20MM		RX1DAY		RX5DAY		SDII	
	Pvalue	Sen*10	Pvalue	Sen*10	Pvalue	Sen*10	Pvalue	Sen*10	Pvalue	Sen*10	Pvalue	Sen*10	Pvalue	Sen*10	Pvalue	Sen*10	Pvalue	Sen*10	Pvalue	Sen*10	Pvalue	Sen*10	Pvalue	Sen*10
Buenos Aires	0.518	0.27	0.032	-1.08	0.113	-0.44	0.320	1.50	0.011	-2.70	0.000	-4.88	0.336	-26.38	0.083	-1.67	0.097	-1.27	0.807	0.00	0.249	-4.76	0.011	1.48
Caloto	0.031	0.91	0.005	-0.48	0.237	-0.25	0.000	3.26	0.002	-2.84	0.014	-2.20	0.022	-35.20	0.243	-0.71	0.158	-0.50	0.046	-4.44	0.764	-1.38	0.021	1.19
Rio Palo	0.151	1.08	0.543	0.00	0.770	0.00	0.165	1.78	0.020	-2.50	0.906	0.00	0.253	30.14	0.013	2.86	0.054	1.54	0.752	-0.25	0.060	8.14	0.000	2.92
Ing. Bengala	0.090	0.77	0.136	-0.31	0.106	0.43	0.004	2.17	0.004	-2.22	0.740	0.00	0.120	22.14	0.144	1.21	0.016	0.77	0.081	2.11	0.071	5.00	0.586	0.34
Suarez	0.581	0.00	0.002	-0.91	0.969	0.00	0.001	2.68	0.019	-1.71	0.076	-1.11	0.041	-29.09	0.435	-0.39	0.962	0.00	0.925	0.00	0.273	-3.43	0.029	0.61
Villa Rica	0.064	-0.71	0.000	0.83	0.439	0.00	0.020	-1.85	0.011	2.00	0.262	0.62	0.831	3.33	0.575	0.00	0.102	-0.59	0.538	1.25	0.554	1.67	0.012	-1.11
Ing. Cauca	0.925	0.00	0.449	0.00	0.091	0.40	0.449	0.56	0.122	-1.00	0.091	-1.08	0.776	-4.61	0.581	0.00	0.636	0.00	0.243	2.50	0.266	-3.64	0.468	0.25
Miranda	0.185	0.38	0.614	0.00	0.918	0.00	0.360	0.56	0.113	-0.91	0.881	0.00	0.850	2.00	0.243	-0.48	0.570	0.00	0.026	5.00	0.444	2.93	0.075	0.49
Vijes	0.717	0.00	0.602	0.00	0.180	-0.33	0.201	1.19	0.723	0.00	0.055	-1.11	0.090	-13.67	0.012	-0.98	0.101	-0.42	0.850	0.11	0.893	-0.42	0.193	-0.45
Queremal	0.140	0.67	0.000	-3.20	0.453	0.00	0.000	6.35	0.000	-10.56	0.000	-3.21	0.043	-21.98	0.237	-0.49	0.528	0.00	0.813	-0.42	0.507	-2.24	0.294	0.37
Florida	0.693	0.00	0.006	0.94	0.931	0.00	0.003	-3.33	0.003	3.33	0.253	0.62	0.439	12.85	0.056	-0.91	0.430	0.00	0.024	3.97	0.276	3.88	0.003	-1.11
Univalle	0.170	0.40	0.001	-0.80	0.344	0.00	0.126	1.18	0.091	-1.14	0.002	-1.60	0.038	-25.85	0.002	-1.11	0.009	-0.83	0.227	-1.88	0.559	-1.67	0.795	0.05
Brasilia	0.022	0.82	0.128	-0.38	0.011	-0.45	0.004	2.93	0.004	-3.14	0.003	-1.71	0.010	-25.47	0.162	-0.61	0.037	-0.37	0.831	0.00	0.301	2.43	0.416	0.11
Bellavista	0.019	1.33	0.165	-0.67	0.664	0.00	0.022	2.50	0.000	-4.29	0.020	-2.47	0.005	-42.57	0.008	-1.82	0.010	-0.91	0.065	-3.33	0.017	-6.00	0.788	0.08
Aují	0.066	0.81	0.430	0.25	0.682	0.00	0.619	0.53	0.142	-1.76	0.373	-0.72	0.711	4.23	0.597	0.00	0.881	0.00	0.031	3.33	0.653	1.67	0.518	0.11
El Castillo	0.597	0.25	0.746	0.00	0.155	-0.26	0.711	0.00	0.850	0.00	1.000	0.00	0.210	-20.80	0.016	-0.95	0.065	-0.65	0.906	0.00	0.795	0.75	0.025	-0.69
San Juan Bosco	0.711	0.00	0.813	0.00	0.653	0.00	0.664	0.10	0.925	0.00	0.151	-0.69	0.243	-7.63	0.837	0.00	0.394	0.00	0.344	2.04	0.795	0.91	0.332	0.14
San Pablo	0.010	1.01	0.463	0.00	0.004	-0.78	0.001	4.79	0.003	-4.56	0.142	-1.88	0.010	-41.38	0.218	-1.11	0.008	-1.11	0.017	-4.10	0.006	-8.65	0.975	0.00
Topacio	0.102	0.49	0.360	-0.26	0.076	-0.29	0.004	2.16	0.003	-2.32	0.004	-1.92	0.011	-58.71	0.001	-2.50	0.071	-0.83	0.682	-1.21	0.925	0.37	0.664	-0.17
La Balsa	0.320	0.38	0.049	-0.56	0.862	0.00	0.014	2.29	0.003	-2.62	0.009	-1.54	0.155	-20.88	0.008	-1.00	0.115	-0.56	0.764	0.71	0.425	-2.73	0.230	0.40
La Fonda	0.023	0.91	0.030	-0.51	0.198	0.00	0.001	3.33	0.000	-3.56	0.000	-3.33	0.002	-52.25	0.000	-1.67	0.026	-1.02	0.575	1.11	0.439	-1.69	0.439	-0.30
Las Brías	0.102	0.67	0.269	-0.22	0.373	0.00	0.180	1.25	0.140	-1.22	0.463	-0.44	0.155	-29.48	0.320	-0.63	0.249	-0.49	0.356	-2.00	0.565	-2.53	0.439	0.40
La Teresita	0.085	0.55	0.294	-0.33	0.006	-0.69	0.249	1.25	0.336	-0.90	0.006	-2.08	0.000	-48.63	0.000	-2.81	0.017	-1.03	0.653	-0.76	0.482	-1.87	0.012	-0.73
Los Cristales	0.132	0.47	0.533	0.00	0.788	0.00	0.394	0.71	0.758	-0.24	0.020	-1.76	0.435	-10.00	0.101	-0.83	0.185	-0.37	0.324	2.00	0.549	1.87	0.734	-0.11
Manuelita	0.956	0.00	0.084	-0.29	0.047	-0.47	0.012	2.00	0.011	-1.98	0.084	-0.94	0.039	-19.01	0.045	-0.53	0.048	-0.47	0.049	-2.79	0.336	-2.50	0.549	-0.11