



INUNDACIONES Y SEQUÍAS

Análisis Multidisciplinar para Mitigar
el Impacto de los Fenómenos
Climáticos Extremos.

Joaquín Melgarejo Moreno
M^a Inmaculada López Ortiz
Patricia Fernández Aracil

(Editores)

INUNDACIONES Y SEQUÍAS

Análisis Multidisciplinar para Mitigar
el Impacto de los Fenómenos
Climáticos Extremos.

Joaquín Melgarejo Moreno
M^a Inmaculada López Ortiz
Patricia Fernández Aracil

(Editores)

© los autores, 2021
© de esta edición: Universitat d'Alacant

ISBN: 978-84-1302-138-6

Reservados todos los derechos. No se permite reproducir, almacenar en sistemas de recuperación de la información, ni transmitir alguna parte de esta publicación, cualquiera que sea el medio empleado -electrónico, mecánico, fotocopia, grabación, etcétera-, sin el permiso previo de los titulares de la propiedad intelectual

TABLA DE CONTENIDO

BLOQUE I - PLANIFICACIÓN	13
PLANIFICACIÓN DE LA GESTIÓN DEL RIESGO DE INUNDACIÓN. ANTECEDENTES HISTÓRICOS, <i>Francisco Roselló Vilarroig</i>	15
EL PLAN VEGA RENHACE: UNA OPORTUNIDAD ESTRATÉGICA PARA LA ADAPTACIÓN DE UN TERRITORIO A LOS EXTREMOS DEL AGUA, <i>Jorge Olcina Cantos</i>	33
BALANCE HÍDRICO ACTUAL Y FUTURO EN LAS CUENCAS EN ESPAÑA, RETOS Y ESTRATEGIAS DE ADAPTACIÓN, <i>Manuel Pulido Velázquez, Héctor Macián Sorribes y Alvar Escriva-Bou</i>	55
GESTIÓN Y PLANIFICACIÓN DEL RIESGO DE SEQUÍA: CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN, PERCEPCIÓN SOCIAL Y OPINIÓN PÚBLICA, <i>Pilar Paneque y Jesús Vargas Molina</i>	77
ORDENACIÓN DEL TERRITORIO Y ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD PARA LA PREVENCIÓN DEL RIESGO DE INUNDACIÓN, <i>Jesús Vargas Molina y Fulgencio Cánovas-García</i>	101
FENÓMENOS INESTABLES DE ORIGEN TROPICAL EN EL ATLÁNTICO NORTE SURORIENTAL <i>Pedro Dorta Antequera, Jaime Díaz Pacheco y Abel López Díez</i>	127
LOS PLANES DE EMERGENCIA ANTE SITUACIONES DE SEQUÍA EN SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO URBANO LITORALES DEL SURESTE PENINSULAR, <i>Rubén Villar-Navascués, Sandra Ricart y María Hernández-Hernández</i>	147
MAPA DE MÁXIMAS LLUVIAS DIARIAS EN LA PROVINCIA DE ALICANTE, <i>Javier Valdés Abellán, Mauricio Ubeda Muller, Fernando Pérez Calvo y Miguel Fernández Mejuto</i>	169
EL CUMPLIMIENTO DEL ODS DE RESILIENCIA ANTE INUNDACIONES A TRAVÉS DEL PLANEAMIENTO TERRITORIAL Y URBANÍSTICO, <i>Jesús Conde Antequera</i>	195
CIUDAD DISPERSA E INUNDACIONES EN MÁLAGA (ESPAÑA). LOS ESPACIOS FLUVIALES URBANOS COMO VECTOR DE REFLEXIÓN SOBRE LA ACTIVIDAD HUMANA Y SU OCUPACIÓN DEL MEDIO NATURAL, <i>Antonio Gallegos Reina y Carmen Elisa Moral Gómez-Monedero</i>	215
INCORPORACIÓN DE CONTENIDOS SOBRE EL RIESGO DE INUNDACIÓN EN LA EDUCACIÓN VIAL, <i>Andrés Díez Herrero, Mario Hernández Ruiz, Daniel Vázquez Tarrío, Mercedes Velasco de la Rubia</i>	225
LA PROTECCIÓN CIVIL Y LA GESTIÓN DE LAS EMERGENCIAS: EXPERIENCIA DEL PLAN VEGA BAJA RENHACE (ACTUACIÓN 12), <i>Antonio Oliva Cañizares, Jorge Olcina Cantos</i>	237
IMPORTANCIA DE LA FENOLOGÍA DE LOS CULTIVOS EN LA EVALUACIÓN Y MITIGACIÓN DEL RIESGO DE INUNDACIÓN: RÍO DUERO ENTRE TORO Y ZAMORA, <i>Andrés Díez Herrero, Julio Garrote Revilla, Daniel Vázquez Tarrío, Mario Hernández Ruiz</i>	255
RAMBLAS URBANAS, PERCEPCIÓN SOCIAL Y RIESGO DE INUNDACIÓN, EL CASO DE ALGUÉÑA, <i>Ricardo Abad Coloma</i>	265
UTILIZACIÓN DE DRONES AÉREOS Y ACUÁTICOS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LA RUGOSIDAD DE CAUCES FLUVIALES, <i>Daniel Vázquez Tarrío, Mario Hernández Ruiz, Juan Carlos García López-Davalillo, Julio Garrote Revilla y Andrés Díez Herrero</i>	277
PLAN DE EMERGENCIA FRENTE A INUNDACIONES EN LOS SERVICIOS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA Y SANEAMIENTO DE MOLINA DE SEGURA (MURCIA), <i>Arturo Albaladejo Ruiz</i>	289
PLANES TERRITORIALES MUNICIPALES FRENTE A EMERGENCIAS: CASO DE ESTUDIO DE COX, (ALICANTE, ESPAÑA), <i>Antonio Vicente Galvañ Vicente, Esther Sánchez Almodóvar y Javier Martí Talavera</i>	301

DANA 2019, INUNDACIÓN Y OCUPACIÓN DE ESPACIOS DE RIESGO EN LA RAMBLA DE ABANILLA, Oriol Pérez Jiménez	315
INTEGRACIÓN CARTOGRÁFICA DEL RIESGO DE INUNDACIÓN EN LA PALMA (ISLAS CANARIAS), Abel López Díez, Jaime Díaz Pacheco, Pedro Dorta Antequera, Daniella Ghersi Da Gama y Nerea Martín Raya	329
ANÁLISIS DE LOS CAMBIOS EN LAS PRECIPITACIONES MÁXIMAS ANUALES Y EN SUS PERIODOS DE RETORNO EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL SEGURA, Juan Andrés García-Valero	343
INCREMENTO ABRUPTO DE LA SEQUÍA METEOROLÓGICA EN LAS CABECERAS DEL RÍO SEGURA PROMOVIDO POR LA OSCILACIÓN DEL ATLÁNTICO NORTE DESDE 1980, Amar Halifa-Marín, Pedro Jiménez-Guerrero y Juan Pedro Montávez	353
CÁLCULO DE PARÁMETROS HIDROLÓGICOS DE LA MICROCUENCA DEL RÍO COÑAQUE (ECUADOR), José Gerardo Becerra Carrión y Antonio Jódar Abellán	369
PROCEDIMIENTOS E INSTRUMENTOS LEGALES PARA LA DECLARACIÓN DE LA SEQUÍA EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL SEGURA, José Alberto Redondo Orts, María Inmaculada López Ortiz y Miguel A. Sáez García	383
SIMULACIÓN HIDROLÓGICA DE UNA MICROCUENCA EN ECUADOR UTILIZANDO EL MODELO SWAT PARA DETERMINAR EL COMPORTAMIENTO DEL RECURSO HÍDRICO FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO, Leonardo Falcones Rodríguez, Teresa Palacios Cabrera y Antonio Jódar Abellán.....	397
BLOQUE II - MITIGACIÓN E INFRAESTRUCTURAS.....	409
LA GESTIÓN DEL REGADÍO ANTE LA ESCASEZ DEL AGUA: EL CASO DE ESPAÑA, Julio Berbel Vecino y Jaime Espinosa-Tasón.....	411
PRINCIPALES NOVEDADES DE LA REVISIÓN DE LOS PGRI. NUEVAS NECESIDADES Y PRIORIDADES DE ACTUACIÓN PARA LOS PRÓXIMOS AÑOS.....	417
Juan Francisco Arrazola Herreros, Mónica Aparicio Martín y Francisco Javier Sánchez Martínez ESTADO DE LOS TRABAJOS DE ADAPTACIÓN AL RIESGO DE INUNDACIÓN, Aránzazu Gurrea-Nozaleda Merayo	435
EJEMPLOS DE MEDIDAS DE RECUPERACIÓN AMBIENTAL Y PROTECCIÓN DE INUNDACIONES. DE LA TEORÍA A LA PRÁCTICA, Gonzalo Magdaleno Payán	453
CORREDORES HIDRÁULICOS VERDES Y LAGUNAS DE LAMINACIÓN EN LA VEGA BAJA DEL SEGURA, José Vicente Benadero García-Morato, Pedro Ignacio Muguruza Oxinaga y Jordi Marín Abdilla.....	471
ACESSO À ÁGUA NA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO FRENTE ÀS AMEAÇAS CLIMÁTICAS, Pedro Roberto Jacobi	493
MODERNAS TÉCNICAS DE AHORRO DE AGUA PARA GESTIONAR LA ESCASEZ DE RECURSOS HÍDRICOS EN FRUTICULTURA, Pablo Melgarejo, Pilar Legua, Juan José Martínez Nicolás y Antonio Marhuenda.....	499
MEJORAS EN EL MANEJO DEL RIEGO MEDIANTE INDICADORES DE GESTIÓN PARA MITIGACIÓN DE SEQUÍAS, Ricardo Abadía, Miguel Mora, Bernat Roig-Merino, Carmen Rocamora, José María Cámara, Ricardo Suay y Herminia Puerto.....	545
LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DEL SUELO Y SU PAPEL EN LA MITIGACIÓN DE LAS INUNDACIONES, José Navarro Pedreño e Ignacio Gómez Lucas.....	563
LA REUTILIZACIÓN EN ESPAÑA, HERRAMIENTA PARA LA PREVENCIÓN DE LA SEQUÍA Y EL EQUILIBRIO HÍDRICO, Domingo Zarzo.....	591
CONDUCCIÓN JÚCAR - VINALOPÓ. EJEMPLO Y OPORTUNIDAD PARA LA PLANIFICACIÓN HIDROLÓGICA, Vicente José Richart Díaz	611
PLAN DE PROTECCIÓN FRENTE A INUNDACIONES Y DRENAJE SOSTENIBLE EN LA VEGA BAJA DEL SEGURA, Sergio Sánchez Ríos, Ángel Villanueva Blasco, Armando Ortuño Padilla, Jairo Casares Blanco y Paloma Calero Romero.....	643

PROPUESTA DE SOLUCIÓN AL DÉFICIT HÍDRICO MEDIANTE LA DESALACIÓN SUBMARINA: DISEÑO INNOVADOR COMO PROYECTO TRACTOR DE LA ECONOMÍA, Borja Blanco y Alejandro López Navarrete	665
EL PAPEL DEL PATRIMONIO RELACIONADO CON EL AGUA EN LA RESILIENCIA FRENTE A FENÓMENOS CLIMÁTICOS EXTREMOS, Miguel Fernández Mejuto, Rebeca Palencia Rocamora, Fernando Pérez Calvo, Juan Antonio Hernández Bravo y Héctor Fernández Rodríguez.....	683
IMPLICACIONES DE LOS SUDS EN LA GESTIÓN SOSTENIBLE DE LA ESCORRENTÍA URBANA, Arturo Trapote Jaume	699
EL AHORRO DE PRECAUCIÓN COMO INSTRUMENTO PARA CUBRIR EL RIESGO DE SEQUÍA HIDROLÓGICA EN EL REGADÍO, José A. Gómez-Limón, M. Dolores Guerrero-Baena y José A. Fernández-Gallardo.....	713
AGUAS DEPURADAS Y PLUVIALES: RECURSOS PARA LA REDUCCIÓN DEL RIESGO DE SEQUÍA E INUNDACIÓN. EJEMPLOS Y APRENDIZAJES, Sandra Ricart, Rubén Villar-Navascués, Antonio M. Rico-Amorós, María Hernández-Hernández y Jorge Olcina-Cantos	725
LA EXPERIENCIA DEL MAYOR TRASVASE DE AGUA EN BRASIL COMO SOLUCIÓN PARA LOS EFECTOS DE LA SEQUÍA, José Irivaldo Alves Oliveira Silva.....	737
LA ADAPTACIÓN A LOS EXTREMOS ATMOSFÉRICOS Y AL CAMBIO CLIMÁTICO MEDIANTE LOS SISTEMAS URBANOS DE DRENAJE SOSTENIBLE (SUDS) Y SOLUCIONES BASADAS EN LA NATURALEZA (SBN): PROPUESTA EN EL TÉRMINO MUNICIPAL DE CALLOSA DE SEGURA (ALICANTE, ESPAÑA), Antonio Oliva Cañizares, Esther Sánchez Almodóvar y María José Marcos Palacios	747
CONTRIBUCIÓN DE LA AGRICULTURA A LA MITIGACIÓN DEL CAMBIO GLOBAL. BALANCE EN TRES COMUNIDADES DE REGANTES DEL SURESTE ESPAÑOL, Amparo Melián Navarro, Soraya Colino Jiménez y Antonio Ruiz Canales	763
REDES INTELIGENTES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA PARA LA GESTIÓN DEL CICLO HÍDRICO MUNICIPAL: CASOS DE GESTIÓN EN PERIODOS DE SEQUÍA, Héctor Fernández Rodríguez, Miguel Fernández Mejuto, Fernando Pérez Calvo y Rebeca Palencia Rocamora.....	775
DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS Y FÍSICO-QUÍMICAS DE RESIDUOS ORGÁNICOS PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES HÍDRICAS DEL SUELO, Teresa Rodríguez-Espinosa, José Navarro-Pedreño, Ignacio Gómez Lucas y María Belén Almendro Candel.....	785
EFFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LOS CAUDALES MÁXIMOS DE DISEÑO EN LA ESPAÑA PENINSULAR, Adrián López Ballesteros, Javier Senent Aparicio, Patricia Jimeno Sáez y Julio Pérez Sánchez.....	799
REDUCCIÓN DEL ESPACIO DE BÚSQUEDA EN LA OPTIMIZACIÓN DE REDES DE DRENAJE BASADA EN EL ANÁLISIS DE RIESGO INUNDACIÓN, Leonardo Bayas-Jiménez, Francisco Alberto Deño Nuñez, F. Javier Martínez-Solano y Pedro L. Iglesias-Rey.....	809
ANÁLISIS DEL IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LAS AVENIDAS EN LA CUENCA DRENANTE AL LAGO ERKEN (SUECIA) MEDIANTE SWAT+, Inmaculada Jiménez Navarro, Javier Senent Aparicio, Patricia Jimeno Sáez y Adrián López Ballesteros.....	821
ANÁLISIS DEL IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE EL RÉGIMEN DE AVENIDAS EN LA CUENCA DEL RÍO LADRA MEDIANTE SWAT+, Gerardo Castellanos Osorio, Javier Senent Aparicio, Adrián López Ballesteros y Patricia Jimeno Sáez	833
MODELO PRELIMINAR DE CIRCULACIÓN DEL AGUA EN EL ARROZ. MARGEN DERECHA RÍO GUADALQUIVIR, Blanca Cuadrado-Alarcón, Sébastien Guery y Luciano Mateos	847
THE ENERGY PRODUCTION IN PHOTOVOLTAIC MODULES AND THE ENERGY CONSUMED IN THE UNIVERSITY OF ALICANTE WATER PRESSURIZED IRRIGATION NETWORK, Housseem Eddine Chabour, Miguel Angel Pardo y Adrian Riquelme	857

ANÁLISIS METODOLÓGICO DE ESTIMACIÓN DE DAÑOS EN INFRAESTRUCTURAS HIDRÁULICAS. RIESGO HIDROLÓGICO. EVENTOS EXTREMOS DE PRECIPITACIÓN, Ramón Egea Pérez, Francisco J. Navarro González, Mónica Cortés Molina y Joaquín Melgarejo Moreno	869
INFRAESTRUCTURAS DE SANEAMIENTO Y DRENAJE PARA ADAPTACIÓN A SUCESOS EXTREMOS DE SEQUÍAS E INUNDACIONES EN LA CUENCA DEL CAMPO DE CARTAGENA-MAR MENOR, José María Gómez Espín, Encarnación Gil Meseguer y Miguel Borja Bernabé Crespo.....	897
BLOQUE III - EVALUACIÓN SOCIOECONÓMICA, AMBIENTAL Y JURÍDICA	909
EL SISTEMA ESPAÑOL DE SEGUROS AGRARIOS COMBINADOS ANTE LOS RIESGOS DE SEQUÍA E INUNDACIÓN, Miguel Pérez Cimas, M ^a Carmen Sánchez Morillo-Velarde, Silvia Isabel Crespo Vergara, Gema López Orozco y Almudena Pachá Guerras	911
INSTRUMENTOS ECONÓMICOS PARA AFRONTAR LAS SITUACIONES DE ESCASEZ HÍDRICA, Joaquín Melgarejo Moreno, Marcos García López y Borja Montaña	937
LA CONTRIBUCIÓN DE LAS ENTIDADES LOCALES AL PRINCIPIO DE SEGURIDAD HÍDRICA EN LA GESTIÓN DE LAS SEQUÍAS: LOS PLANES DE EMERGENCIA, Estanislao Arana García	961
¿CUMPLE EL PLANEAMIENTO URBANÍSTICO LA NORMATIVA ESPAÑOLA SOBRE PREVENCIÓN DE RIESGOS NATURALES?, Jesús Garrido Manrique.....	977
MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA COMPARTIDAS ENTRE DIFERENTES ÁMBITOS DE PLANIFICACIÓN: SINGULARIDAD ADMINISTRATIVA O ENTIDAD HÍDRICA CON CONTINUIDAD HIDROGEOLÓGICA. APLICACIÓN EN LA DIVISORIA JÚCAR-SEGURA, José Manuel Murillo Díaz.....	997
MEDIOS DE COMUNICACIÓN: EL CAMPO DE BATALLA DE LA GUERRA DEL AGUA, Fermín Crespo Rodríguez y Arturo Jiménez Rodríguez.....	1023
EL TRASVASE TAJO-SEGURA, INFRAESTRUCTURA DE CORRECCIÓN DEL DÉFICIT HÍDRICO AGRARIO EN EL SURESTE DE ESPAÑA, Patricia Fernández Aracil y Joaquín Melgarejo Moreno	1047
LA PARTICIPACIÓN PÚBLICA EN LA GESTIÓN SOSTENIBLE DEL AGUA FRENTE A SEQUÍAS E INUNDACIONES, Miguel Ángel Blanes Climent.....	1073
HERRAMIENTAS SOCIALES PARA UNA GESTIÓN INTEGRAL DEL RIESGO DE INUNDACIÓN, Guadalupe Ortiz, Pablo Aznar-Crespo y Antonio Aledo.....	1095
INSTRUMENTOS JURÍDICOS PARA LA REGULACIÓN DE LA SEQUÍA, Andrés Molina Giménez.....	1115
ANÁLISIS ECONÓMICO DE LAS SEQUÍAS SOBRE LOS CULTIVOS. REGIÓN DE MURCIA, Alberto del Villar García.....	1139
EL CONSUMO ENERGÉTICO DE LOS INSTRUMENTOS DE GESTIÓN DE LA ESCASEZ Y LA ALTERNATIVA DEL AUTOCONSUMO MEDIANTE PANELES FOTOVOLTAICOS, Marcos García-López, Borja Montano y Joaquín Melgarejo	1159
EVALUACIÓN EX-POST DEL IMPACTO ECONÓMICO DE LA SEQUÍA HIDROLÓGICA EN LA AGRICULTURA ANDALUZA 2005-2008, Jaime Espinosa-Tasón y Julio Berbel	1169
LA IMPORTANCIA DEL FACTOR EDUCACIÓN PARA MITIGAR LOS RIESGOS ATMOSFÉRICOS. UN ANÁLISIS DE LAS IMÁGENES SOBRE LA SEQUÍA QUE SE INSERTAN EN LOS LIBROS DE TEXTO DE CIENCIAS SOCIALES, (EDUCACIÓN PRIMARIA), Álvaro-Francisco Morote Seguido.....	1183
LA FORMACIÓN DEL PROFESORADO SOBRE EL RIESGO DE INUNDACIÓN. LA IMPORTANCIA DEL FACTOR EDUCACIÓN COMO MEDIDA DE MITIGACIÓN, Álvaro-Francisco Morote Seguido y María Hernández Hernández.....	1195
LA RENTABILIDAD DEL AGUA Y LAS TARIFAS DE CONDUCCIÓN DE AGUAS DEL TRASVASE TAJO-SEGURA, Marcos García-López, Borja Montano y Joaquín Melgarejo	1207

A STUDY OF JUDICIAL REMEDIES FOR WATER RIGHTS DISPUTES IN EARLY TWENTIETH CENTURY IN CHINA, Yang Yang y Yu Pin Ai	1229
LOS HUMEDALES Y SU EFICACIA PARA EL CORRECTO CONTROL DE AVENIDAS Y PREVENCIÓN DE INUNDACIONES: EVOLUCIÓN JURÍDICO-AMBIENTAL EN EL MARCO TERRITORIAL VALENCIANO, Francisco José Abellán Contreras	1243
ACTITUDES HACIA LAS MEDIDAS DE GESTIÓN DE LAS INUNDACIONES EN ZAMORA: UNA ESTRATEGIA METODOLÓGICA PARA SU MEDICIÓN Y CAMBIO, Fernando Talayero Sebastián, Juan Antonio García Martín, Raquel Pérez-López, Andrés Díez-Herrero, José María Bodoque del Pozo, Lucía Poggio Lagares y María Amérigo Cuervo-Arango	1255
EL ESTADO DE EXCEPCIÓN FRENTE A FENÓMENOS DE SEQUÍAS E INUNDACIONES EN ECUADOR, Andrés Martínez Moscoso e Israel Castro Enríquez.....	1267
LA UTILIZACIÓN DE LA EDUCACIÓN Y SENSIBILIZACIÓN AMBIENTAL EN ESCOLARES COMO ELEMENTO CLAVE PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE MEDIDAS DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO: UN CASO PRÁCTICO, Juan Carlos García Prieto, Manuel García Roig, Diana Málaga Martín, María Mercedes Ramos Rodríguez, Alicia Gutiérrez del Valle, Francisco Javier Burguillo Muñoz, Felipe José Bello Estévez, Maite del Arco Aláinez, Rebeca Martín Castilla y Juan Carlos Rico Jiménez	1279
EXPLORANDO EL IMPACTO ECONÓMICO DE LA FERTILIZACIÓN CARBÓNICA EN LOS INVERNADEROS, DE ALMERÍA, Blanca Cuadrado-Alarcón, Javier Martínez-Dalmau, Alfonso Expósito y Julio Berbel	1294
TECNOLOGÍAS PARA EL APRENDIZAJE Y EL CONOCIMIENTO DEL PATRIMONIO HIDRÁULICO EN LA VEGA BAJA DEL RÍO SEGURA, María Francisca Zaragoza Martí, José Manuel Mira Martínez y Alfredo Ramón Morte.....	1305
ANÁLISIS DEL ESTADO Y CALIDAD DE LOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÁNEOS EN LA COMUNIDAD VALENCIANA (ESPAÑA), Antonio Jódar Abellán, Daniel Prats Rico, Miguel Ángel Pardo Picazo, Irene Sentana Gadea y Jesús Rodrigo-Comino	1321
SISTEMA DE DOS NIVELES PARA UNA COBERTURA ÓPTIMA DEL RIESGO DE INUNDACIÓN, Joaquín Torres y Sonia Sanabria	1333

MAPA DE MÁXIMAS LLUVIAS DIARIAS EN LA PROVINCIA DE ALICANTE

Javier Valdés Abellán

Dpto. de Ingeniería Civil, Universidad de Alicante, España
javier.valdes@ua.es
<https://orcid.org/0000-0003-3570-4983>

Mauricio Úbeda Muller

Dpto. de Ingeniería Civil, Universidad de Alicante, España
mauricio.ubeda@ua.es

Fernando Pérez Calvo

Área de Ciclo Hídrico, Diputación de Alicante, España
fernando.perez@diputacionalicante.es

Miguel Fernández Mejuto

Área de Ciclo Hídrico, Diputación de Alicante, España
mfmejuto@diputacionalicante.es

RESUMEN

El presente trabajo desarrolla el análisis del registro histórico de las precipitaciones diarias máximas observadas tanto en la provincia de Alicante como en sus zonas limítrofes, con el objetivo de obtener un mapa de máximas lluvias diarias en toda la provincia de Alicante vinculada a diferentes frecuencias de aparición. La primera etapa del trabajo ha consistido en analizar estos registros y establecer unas regiones climáticamente homogéneas desde el punto de vista de la precipitación extremal. Tras haber validado la propuesta de regiones homogéneas mediante la concordancia y homogeneidad estadística de los valores observados y agrupados bajo una misma región, se ha procedido a realizar un análisis regional de frecuencias y finalmente se han estimado los cuantiles vinculados a un periodo de retorno de 100 años para toda la provincia. Los resultados muestran un claro centro de eventos de gran magnitud en el NE de la provincia con valores que superan los 400 mm seguido por otro centro de grandes eventos en el extremo opuesto, en el eje Orihuela-Pilar de la Horadada donde son esperables valores de más de 220 mm en algunas ubicaciones.

1. INTRODUCCIÓN

La provincia de Alicante presenta un régimen extremal de precipitaciones característico del Mediterráneo oriental, que no está adecuadamente representado en las actuales estadísticas de precipitaciones máximas. En efecto, la publicación de la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento de 1999, Máximas Lluvias diarias en la España Peninsular, actualmente en vigor, asigna para periodos de retorno superiores a 50 años, valores de la precipitación máxima anual, sensiblemente inferiores a las lluvias registradas en las estaciones de la zona. Por ello la aplicación informática CAUMAX para el cálculo de caudales máximos en la España

Peninsular, desarrollada conjuntamente entre el CEDEX y el MAGRAMA en el año 2.014, no facilita en la región los valores de los cuantiles de precipitaciones máximas diarias para periodos de retorno mayores de 25 años.

Por otra parte, la Instrucción de Drenaje 52. IC del Ministerio de Transporte, Movilidad, y Agenda Urbana del año 2.016, establece para la región una metodología específica para el cálculo de caudales máximos, cuya aplicación en cuencas medias y pequeñas genera caudales muy elevados no compatibles con la realidad de los cauces analizados. El desconocimiento de los cuantiles de las precipitaciones máximas diarias, para retornos superiores a 25 años, impide la utilización de métodos hidrometeorológicos para el cálculo de caudales máximos en el diseño de encauzamientos, obras de drenaje transversal y estudios de inundabilidad.

El objetivo del presente estudio es obtener, para diversos periodos de retorno, los valores de la precipitación máxima diaria en toda la provincia de Alicante. De esta forma, a partir de los datos aquí elaborados, será posible generar lluvias sintéticas y aplicar los modelos hidrometeorológicos habituales de cálculo: método racional, hidrograma unitario, onda cinemática, el embalse no lineal etc.

2. ZONA DE ESTUDIO

La zona de estudio de este trabajo es la provincia de Alicante, situada en el SE de España. Sin embargo, con objeto de obtener valores robustos en la zona de interés, ha sido necesario extender el análisis a todas las provincias limítrofes. Los valores máximos registrados de las precipitaciones en el litoral mediterráneo peninsular se producen en el sur del golfo de Valencia, en las comarcas de La Safor y La Marina Alta, que ocupan el tramo de costa comprendido aproximadamente entre las localidades costeras de Cullera y Calp. La intrusión terrestre en el mar de los cabos de La Nao y San Antonio, condiciona la pluviometría de la zona delimitando dos regiones diferenciadas. Este efecto se manifiesta claramente observando la distribución espacial de los valores de la precipitación anual, en los últimos años (figura 1).

En este territorio, los valles abiertos al mar se orientan en dirección noreste, generando un fondo de saco a las circulaciones asociadas a los vientos de levante y gregal (figura 2), lo que provoca la convergencia y ascenso de las mismas, esta orografía es la responsable de la alta pluviometría de la zona y de la elevada intensidad de sus valores extremos.

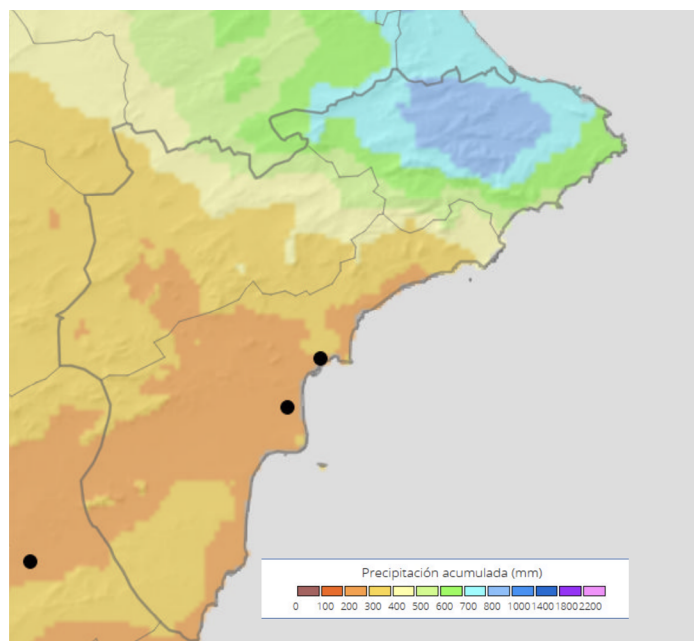


Figura 1. Precipitaciones máximas en el periodo 1981-2010.

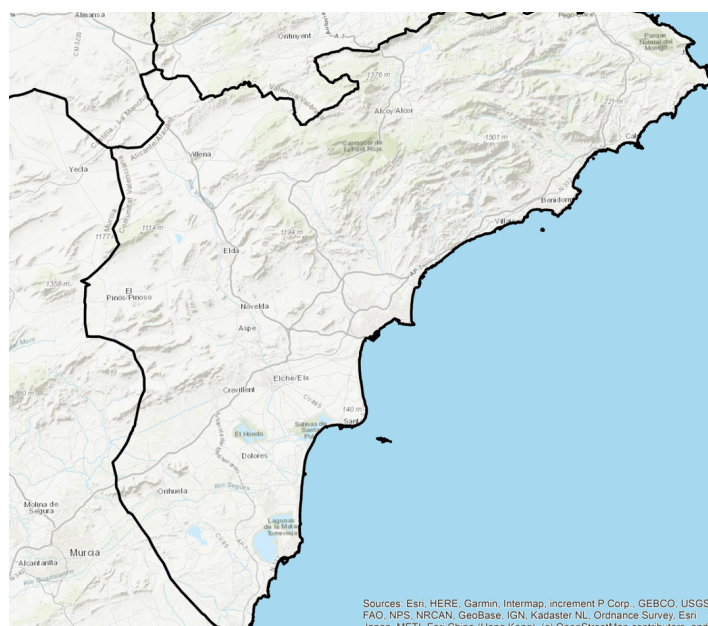


Figura 2. Mapa del relieve de la zona de estudio.

Esta posición enfrentada a los vientos del NE hace que determinadas zonas del litoral alicantino estén expuestas a patrones y procesos formativos de fenómenos de precipitación bien diferenciados. Por un lado, están los fenómenos convectivos de gran intensidad que se producen en verano-otoño y provocan lluvias máximas anuales de alta intensidad y baja frecuencia. Estos valores se presentan con una frecuencia muy baja (o alternativamente con periodos de retorno elevados) y les llamaremos extraordinarios o atípicos. Suelen estar vinculados a procesos atmosféricos de depresión atmosférica aislada en niveles altos, más conocida por DANA o gota fría. Por otro lado, se sitúan el resto de fenómenos (incluso convectivos de baja intensidad) que se producen durante todo el año y provocan lluvias máximas de menor intensidad. Están vinculados a procesos de generación de tormentas por grandes frentes que suelen afectar a mayores

extensiones de territorio (mucho más allá de los límites geográficos de la zona de estudio que nos afecta) e incluso convectivos de baja intensidad, pero mayor frecuencia. Estos valores les llamaremos ordinarios.

La existencia de estos dos diferentes mecanismos de formación de tormentas y eventos de precipitación, junto con la compleja orografía que existe en toda la región, con alternancia de valles importantes y relieves que pueden llegar a superar los 1000 m de altitud a escasa distancia de la costa, hace que el análisis pluviométrico de la zona sea complejo y requiera de un exhaustivo análisis que incluya la definición de regiones homogéneas con las que conseguir resultados estadísticos más robustos.

3. REGISTROS DISPONIBLES

Se dispone de datos de precipitaciones procedentes de AEMET, CHJ Y CHS. Los datos de AEMET corresponden a las provincias de Alicante y todas sus provincias limítrofes: Valencia, Albacete y Murcia. Los datos de las diferentes confederaciones corresponden a todo su ámbito geográfico de actuación. La longitud de las diferentes series es variable, extendiéndose desde 1876 hasta 2020. Se trabaja con datos de precipitación diaria, obtenidas en intervalos de 24 h con comienzo y fin a las 7 h de cada día. En total se dispuso de un total de 1252 estaciones meteorológicas, considerando todas fuentes de información para toda la Comunidad Valenciana. De estas 785 estaciones, 1153 estaciones proceden de AEMET, 85 proceden de CHJ y 14 proceden de la CHS.

Del conjunto de estaciones disponibles, se realizó un rechazo previo de todas aquellas estaciones que generasen estimaciones menos consistentes de los parámetros estadísticos debido a su escasa longitud, por lo que se desechan aquellas con una longitud de registro inferior a 30 años. Esta medida redujo el número de estaciones totales a 537. La figura 3 muestra de manera gráfica la ubicación de estas estaciones.

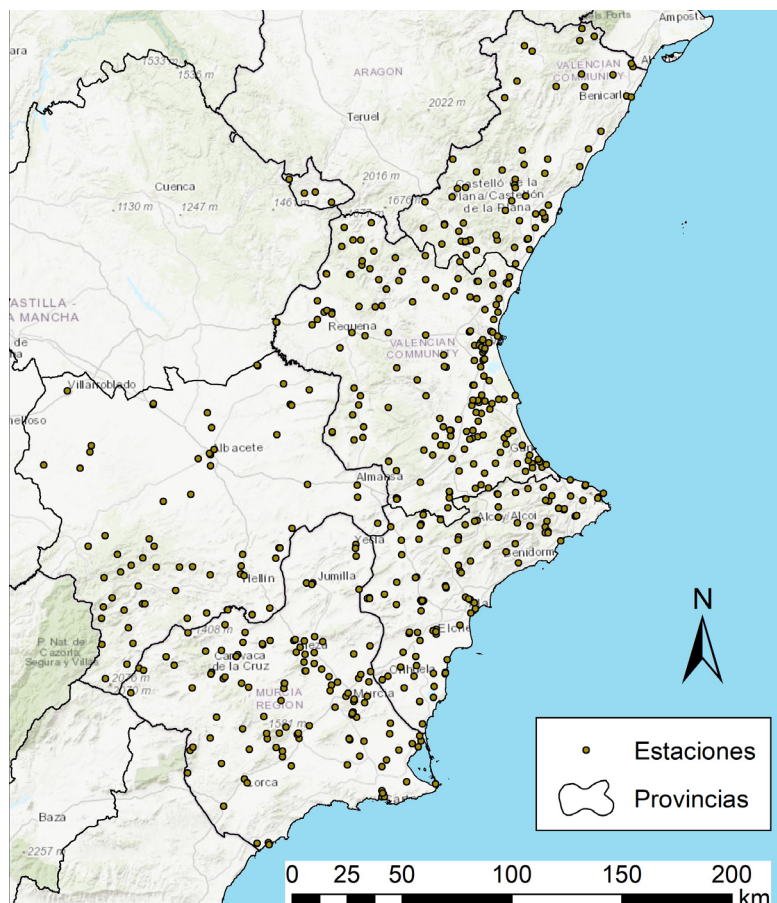


Figura 3. Ubicación de todas las estaciones incluidas en este estudio con registros de más de 30 años.

En determinadas localizaciones en donde existen estaciones diferentes separadas una escasa distancia, se ha estudiado la correlación de las series existentes, si esta correlación es alta, se ha procedido a crear nuevas estaciones ficticias que combinan la información de las estaciones consideradas como no independientes, de modo que se ha obtenido series de mayor longitud y consistencia. Este proceso de agrupación de estaciones creado estaciones únicas combinando datos de varios otras, se ha llevado a cabo en 14 localizaciones diferentes.

4. METODOLOGÍA DE CÁLCULO

La metodología empleada comprende el siguiente proceso:

Análisis de los episodios de lluvia producidos en la zona y recopilación de toda la información actualmente disponible en las estaciones de AEMET, CHJ y CHS, en un entorno amplio que comprende las provincias de Alicante, Valencia, Albacete y Murcia, seleccionando las estaciones con más de 30 registros, y desechando, cuando dos estaciones son próximas, aquella que tiene menor número de registros.

- Definición de una inicial región homogénea, mediante un análisis principal de componentes y su distribución espacial.

- Comprobación que las estaciones seleccionadas de la región, que han pasado el test de discordancia, son homogéneas mediante un test de homogeneidad.
- Análisis regional de frecuencias de las estaciones con más de 30 años de registros y elección de la función de distribución más adecuada.
- Cálculo de los valores de la precipitación máxima diaria, para diversos periodos de retorno, en cada una de las estaciones de la región.
- Generación del mapa de isolíneas de la región para los valores de la precipitación máxima para diversos periodos de retorno.
- Análisis comparativo de los resultados obtenidos, con los actualmente disponibles

4.1. Determinación de la región homogénea

El primer paso antes de proceder a realizar ningún tipo de análisis regional de frecuencias consiste justamente en determinar los límites de lo que será la región homogénea en cuyo interior se realizará este análisis. De este modo, podrá admitirse que los parámetros a nivel regional son semejantes para todas las estaciones incluidas en la región.

La definición de regiones homogéneas desde un punto de vista climático es un proceso complejo y carente de una única alternativa en cuanto a la metodología universalmente aceptada lo que lleva aparejado, por tanto, la inclusión en el proceso de definición de región homogénea de decisiones que pueden ser consideradas subjetivas. Estos hechos no hacen sino agravarse cuando lo que se pretende no es definir la región homogénea desde un punto de vista del clima en su conjunto (precipitación, temperatura, vientos, etc), ni siquiera del régimen de precipitaciones en general sino, particularmente, desde el punto de vista del régimen de precipitación extremal. Cabe por tanto preguntarse qué caracteriza climáticamente a una región desde este punto de vista.

La caracterización del carácter extremal de precipitación de una región no se basa simplemente en observar y analizar la variable de precipitación máxima en 24h, pese a ser este índice estadístico el de uso más extendido. En un trabajo conjunto de la Comisión de Climatología de la Organización Mundial Meteorológica (CCI), del proyecto Clima y Océano: variabilidad, predictibilidad y cambios (CLIVAR-WCRP) y el equipo de Expertos en la detección e índices del cambio climático (ETCCDI) (Karl et al., 1999) se definió un conjunto de 27 índices climáticos extremales basados en información diaria de temperatura y precipitación. Estos índices han sido aplicados posteriormente en multitud de investigaciones posteriores sobre el clima, tanto en su caracterización como en el estudio de un potencial cambio (Manton et al., 2001; Wang and Zhou, 2005; Zhang et al., 2005; Zhang et al., 2011).

De entre estos 27 índices, en el presente trabajo se han seleccionado los 12 índices relacionados con la precipitación, los cuales vienen recogidos en la tabla 1.

NOMBRE	DEFINICIÓN	UDS
Ptot	Precipitación total anual en días húmedos (precipitación ≥ 1 mm)	mm
R1d	Precipitación diaria máxima anual	mm
R5d	Precipitación máxima anual en 5 días consecutivos	mm
R95	Precipitación total anual en días muy húmedos (precipitación $>$ percentil 95)	mm
R99	Precipitación total anual en días extremadamente húmedos (precipitación $>$ percentil 99)	mm
SDII	Precipitación total anual dividido entre el número de días húmedos	mm·d-1
R10	Número de días anual con precipitación superior o igual a 10 mm	d
R20	Número de días anual con precipitación superior o igual a 20 mm	d
CWD	Máximo número de días húmedos (precipitación ≥ 1 mm) consecutivos	d
CDD	Máximo número de días no húmedos (precipitación < 1 mm) consecutivos	d
R95PTOT	Porcentaje de la precipitación anual total precipitada en días muy húmedos (precipitación $>$ percentil 95)	%
R99PTOT	Porcentaje de la precipitación anual total precipitada en días extremadamente húmedos (precipitación $>$ percentil 99)	%

Tabla 1. Listado de los 12 índices de precipitación extremal empleados, junto con una breve descripción y sus unidades.

Adicionalmente se planteó la necesidad de valorar otras variables en la caracterización climática de precipitación extremal. Estos valores adicionales están recogidos en la tabla 2 se corresponden con factores que podrían servir para mejorar la definición homogénea.

NOMBRE	DEFINICIÓN	UDS
Alt	Altitud de la estación	m
L-Cv	Coef. de variación	mm
L-Cs	Coef. de sesgo	mm
L-Ck	Coef de curtosis	mm
parGum1	Parámetro de localización de la función de distribución de Gumbel	mm
parGum2	Parámetro de dispersión de la función de distribución de Gumbel	mm
τ_2 , L-Cv	L-Momento de 2º orden adimensional	-
τ_3 , L-Cs	L-Momento de 3º orden adimensional	-
τ_4 , L-Ck	L-Momento de 4º orden adimensional	-

Tabla 2. Listado de los 9 índices pluviométricos adicionales empleados, junto con una breve descripción y sus unidades.

De la observación de la literatura científica sobre el tema, se observa que existe una gran variedad de alternativas metodológicas. La delimitación de regiones según áreas administrativas, pese a parecer incoherente desde el punto de vista climático es una opción que ha sido utilizada en el pasado (Beable and McKerchar, 1982). Trabajos como el de Schaefer (Schaefer, 1990)

donde se definió la región en base a decisiones subjetivas de las características físicas de las regiones dando resultados aceptables ponen de manifiesto que no puede obviarse la presencia de otros descriptores más allá de los meramente pluviométricos entre las diferentes variables a considerar. A pesar de ello, las anteriores alternativas deben ser descartadas bajo el punto de vista de los autores, bien por falta de justificación física o bien por ignorar índices de precipitación importantes en la identificación de regiones como ha quedado demostrado en estudios posteriores (Santos et al., 2017). En los últimos años, las técnicas de clustering multivariantes están imponiéndose como alternativa para agrupar estaciones similares y la conformación de regiones homogéneas. Goyal et al. (2019) aplican justamente esta técnica en base a una serie de variables de precipitación muy similares a las incluidas en la tabla 1.

Entre las alternativas actualmente más aceptadas en el campo de la identificación de regiones homogéneas, podemos hablar de las técnicas de clusterización o el análisis de componentes principales. Ambas opciones están preparadas para poder trabajar con información recogida en multitud de variables, las cuales se agrupan en vectores de n dimensiones (tantas como índices más descriptores hayan sido considerados) que son asociados a cada una de las estaciones analizadas.

Como se ha descrito en el apartado anterior, la caracterización del régimen extremal de precipitaciones de una determinada región no depende del valor de un único parámetro, sino que depende de un conjunto de variables, todas ellas intervinientes en la definición de región homogénea. Este hecho hace que la definición de región homogénea nos dirija al uso de herramientas y técnicas de análisis multivariable. Con objeto de reducir el número de variables existentes, sin pérdida de información, se procedió a realizar un análisis de componentes principales. En este trabajo se ha optado por la aplicación de la metodología de Análisis de Componentes Principales (PCA) sobre las variables originales. La técnica de PCA ha sido aplicada en múltiples ocasiones en el ámbito de la climatología y más particularmente de la precipitación en diferentes regiones (Almazroui et al., 2015; Aravena and Luckman, 2009; Jones et al., 2014).

En el presente trabajo se aplicó la técnica de PCA plantando 2 posibles escenarios de variables a incluir en el análisis. El objetivo de la inclusión de estos 2 escenarios fue determinar la importancia o impacto en el resultado de la definición de la región al aumentar el número de variables. Dicho de otro modo, el objetivo fue determinar si la información contenida en las variables adicionales (en cuanto a descripción de la varianza de la muestra) puede estar recogida en un número menor de índices o variables, o si la definición de región puede ser mejorada mediante la inclusión de nuevas variables. Los tres escenarios considerados fueron:

- a. Considerar los 12 índices recogidos y descritos en la tabla 1.
- b. Mismos 12 índices recogidos en la tabla 1. más altitud, más los dos gumbel, más los 3 L-momentos relativizados (los taus).

La definición del escenario b) se debió a que el escenario a) tal y como viene recogido en la bibliografía previa no incluye los 3 L-momentos relativizados, los cuales al final serán utilizados para realizar la medida de la discordancia. Estos tres índices, τ_2 , τ_3 y τ_4 , son los que posteriormente serán empleados en la medida de la discordancia interna en cada región homogénea y por tanto se consideró fundamental incluir estos en la etapa de la definición de la propia región homogénea. Se tuvo que realizar una extrapolación espacial desde los puntos donde existían datos (las estaciones meteorológicas) al resto del territorio. Para tal fin se utilizó un kriging ordinario con una función tipo exponencial para explicar el variograma. La alternativa del kriging como

método de interpolación espacial está considerada como una de las mejores opciones y su uso está más que difundido entre la literatura científica en todos los ámbitos, además del climático.

En cualquier caso, sea como fuera la definición de región homogénea en base a la variedad de metodologías disponibles, todas las regiones deben ser validadas mediante test que midan la discordancia en el interior de las mismas.

4.2. Medida de la discordancia

Se trata de un primer test para comprobar si las estaciones seleccionadas en el análisis regional de frecuencias presentan errores en la medida o el proceso de medición ha sufrido algún cambio (cambio de ubicación, aparición de obstáculos como edificios en la vecindad de la zona de observación, cambio de operario y comportamiento) susceptible de hacer obligatorio el rechazo de la información procedente de estas fuentes.

Existe a este respecto diversas alternativas, como puede ser los test de detección de atípicos (Kendall, 1975). Sin embargo, posteriormente Hosking y Wallis (Hosking and Wallis, 1997) consideraron que los cambios de tendencia, atípicos, valores incorrectos y otros errores quedaban reflejados en sus L-momentos, y por tanto proponían un test basado en estos momentos.

Este test, tal y como explican Hosking y Wallis, sirve para identificar lugares inusuales, en cuanto a sus valores de los L-momentos. Pero característica de inusual no necesariamente responde a errores en medidas o datos que deban rechazarse. Sin embargo, sí debe servir para realizar un examen más concienzudo sobre la validez de las observaciones procedentes de estos lugares, como paso previo a la realización del análisis regional de frecuencias. Una correspondencia entre las observaciones de estas estaciones ‘discordantes’ con las de su alrededor puede ser una demostración cierta de que las observaciones son ciertas y por tanto deben ser incluidas en posteriores análisis.

El proceso se inicia calculando los estadísticos indicados de los registros de cada una de las estaciones. En efecto, los momentos centrales se calculan, según su número de orden, elevando a la potencia 2,3 o 4 la diferencia entre los registros y su promedio. A mayor número del momento, mayor valor del exponente y mayor influencia en su cálculo de los valores extremos.

Los L-momentos se calculan como combinaciones lineales de los momentos previamente obtenidos, de modo que se obtienen unos estadísticos más robustos a la hora de caracterizar series de extremos, como es nuestro caso.

Primero se calculan los momentos de probabilidad ponderada PWM (probability-weighted moments) a partir de las siguientes expresiones:

$$\lambda_1 = \beta_0$$

$$\lambda_2 = 2\beta_1 - \beta_0$$

$$\lambda_3 = 6\beta_2 - 6\beta_1 + \beta_0$$

$$\lambda_4 = 20\beta_3 - 30\beta_2 + 12\beta_1 - \beta_0$$

Donde el valor de los β_r se obtiene de la siguiente expresión:

$$\beta_r = \frac{1}{n} \binom{n-1}{r} \cdot \sum_{i=r+1}^n \binom{i-1}{r} \cdot x_i$$

En la expresión anterior de cálculo de los diferentes valores de β_r , n hace referencia al número de datos de la muestra local. Cabe indicar que el cálculo de β_0 se corresponde justamente con la media de la muestra. Finalmente, y con objeto de poder obtener resultados comparables entre diferentes estaciones, es necesario obtener los momentos lineales de forma adimensional. Y para ello se calculan los cocientes de los momentos del siguiente modo:

$$\tau_2 = L - CV = \lambda_2 / \lambda_1$$

$$\tau_3 = L - CS = \lambda_3 / \lambda_2$$

$$\tau_4 = L - CK = \lambda_4 / \lambda_2$$

Estos valores son análogos a los coeficientes definidos tradicionalmente de variación, sesgo y curtosis. Si las estaciones son concordantes los coeficientes de los L-momentos de sus poblaciones serían iguales. Como solo disponemos una muestra de la población, los coeficientes no serán iguales, pero si semejantes. Si consideramos un espacio tridimensional, cada estación i es representada por un punto cuyas coordenadas son justamente el trío de valores (τ_2, τ_3, τ_4) .

Considerando este espacio tridimensional antes citado, en este test se define la discordancia como la distancia euclídea entre los L-momentos de cada estación y los valores promedio de los L-momentos de toda la región (figura 4). Los estadísticos de cada estación se estiman a partir de sus L-momentos, alternativa a los momentos centrales de probabilidad, que son muy susceptibles a los valores extremos.

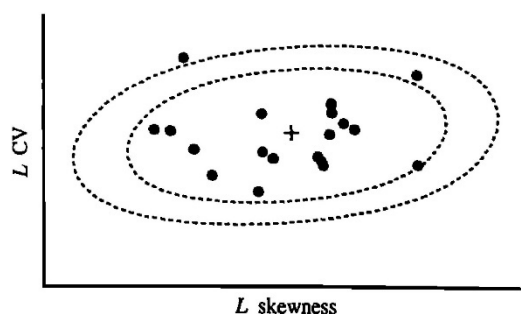


Figura 4. Representación del espacio bidimensional formado por los L-momentos de 2º y 3º orden.

Se considera que aquellas estaciones cuya distancia al centro de la nube de puntos es superior a un determinado valor son discordantes. Por otra parte, en el interior de la región pueden existir, por características locales, estaciones no homogéneas, las cuales podrán identificarse al tener

unos valores de los coeficientes de los L-momentos, sensiblemente diferentes a los del resto de las estaciones. De esta forma Hosking y Wallis consideran esta primera prueba basada en la similitud entre los L-momentos de variación τ_2 , τ_3 y τ_4 de cada una de las estaciones.

En un plano, las parejas de valores forman una nube cuyo contorno puede asemejarse a una elipse y se considera discordante aquellas estaciones que se sitúa alejada del centro de la elipse.

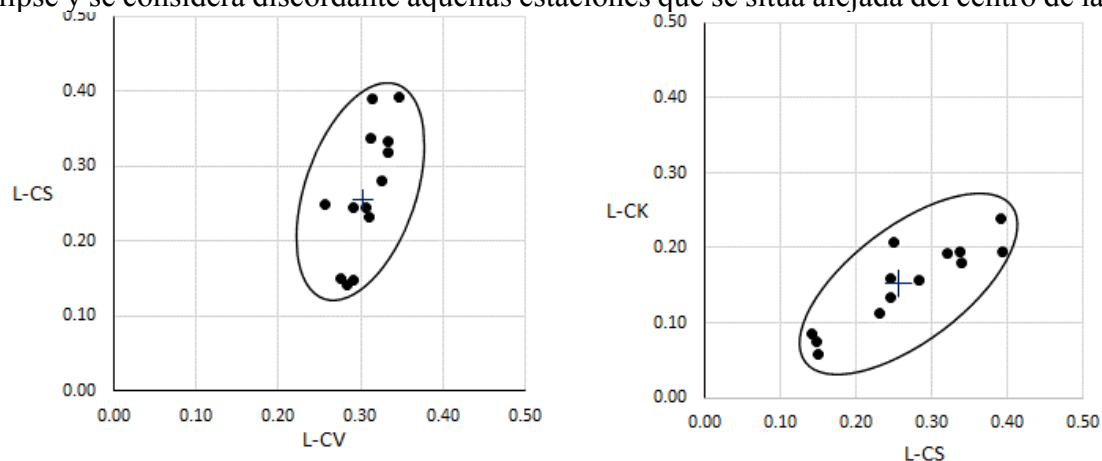


Figura 5. Ejemplo de distribución espacial en 2 dimensiones de los valores de los L-momentos en una región homogénea.

El proceso numérico de esta prueba es tal y como sigue. Supóngase una región homogénea propuesta con n estaciones es su interior, cada una de ellas con n_i registros y con un trinomio de Lmomentos ponderados $(\tau_{1,i}, \tau_{2,i}, \tau_{3,i})$. Sea, por tanto la matriz u ($n \times 3$), aquella que agrupa los Lmomentos de toda la región y $u_i = (\tau_{1,i}, \tau_{2,i}, \tau_{3,i})$. una fila cualquiera de esta matriz correspondiente con la estación i .

Defínase, a partir de la anterior información el valor promedio del trinomio de L-momentos de la región $\bar{u} = (\bar{\tau}_{r,2}, \bar{\tau}_{r,3}, \bar{\tau}_{r,4})$. como la media de la serie de cada estación de los diferentes L-momentos:

$$\bar{\tau}_{r,j} = n^{-1} \cdot \sum_{i=1}^n \tau_{j,i}$$

Donde j adopta valores de 2, 3 o 4 según el índice calculado. De manera equivalente y más compacta también podría haberse escrito:

$$\bar{u} = n^{-1} \cdot \sum_{i=1}^n u_i$$

Se define entonces la matriz A (3×3) de la suma de cuadrados y productos cruzados del siguiente modo:

$$A = \sum_{i=1}^n (u_i - \bar{u})(u_i - \bar{u})^t$$

La discordancia D_i de la estación i se calcula como:

$$D_i = \frac{1}{3} \cdot n \cdot (u_i - \bar{u})^t \cdot A^1 \cdot (u_i - \bar{u})$$

Este valor D_i debe ser inferior a un valor crítico D_c , función del número de estaciones de la supuesta región homogénea. Para más de 15 estaciones, como es nuestro caso, el valor de D_c propuesto por Hosking y Wallis es 3.

4.3. Análisis regional de frecuencias

El cálculo estadístico de los cuantiles, para elevados periodos de retorno, precisa disponer de registros de gran longitud. Habitualmente se considera que, a partir de un valor igual a dos veces y media la longitud del registro, el valor obtenido del cuantil por el ajuste estadístico deja de ser fiable. Para solucionar el problema se recurre al análisis regional de frecuencias, ARF (Hosking and Wallis, 1997) en el que la limitación del número de registros de una estación, se compensa con la información disponible en estaciones cercanas. Para que esta metodología pueda considerarse correcta debe cumplirse una serie de exigencias, la primera y fundamental de las cuales es que todos los registros procedentes de diferentes localizaciones se comporten estadísticamente igual una vez transformados a una variable regional. Esta condición en principio se cumple si se realiza una correcta definición de la región. Sin embargo, lo anterior no quita para que se deba comprobar que efectivamente así es mediante una prueba de discordancia y un test de homogeneidad, los cuales serán descritos posteriormente.

La transformación de la variable local estudiada (en el presente caso precipitación diaria máxima anual) en una variable regional puede llevarse a cabo de diversas maneras dando lugar a diferentes modelos de análisis regional. Cunnane hizo una buena revisión al respecto en un trabajo centrado en el análisis regional de avenidas (Cunnane, 1988).

Uno de los métodos más habitualmente empleados es el índice de avenida (Dalrymple, 1960) aplicado por primera vez en el estudio de las avenidas llevado a cabo por Dalrymple; este método obtiene la variable regional como un cociente de cada registro local entre la media de los registros locales. El índice de avenida no discrimina los valores ordinarios de los atípicos, ya que regionaliza los valores locales mediante un único factor de escala, por lo que no es adecuado para regiones con atípicos, como es nuestro caso.

En el estudio regional de frecuencias en regiones donde se prevea la existencia de valores atípicos, es más adecuada la estandarización propuesta por Rossi et al. y que plantea la siguiente transformación:

$$y_{reg,i,j} = - \frac{(x_{i,j} - \mu_j)}{\sigma_j}$$

donde $y_{reg,i,j}$ se corresponde con el dato regionalizado $x_{i,j}$, el cual procede de la estación j , siendo μ_j y σ_j los parámetros de la función de distribución de Gumbel ajustada a una muestra que excluye los valores atípicos de dicha estación. i se corresponde con el número de observaciones existentes en la estación j . Cabe además indicar que diversos autores recomiendan esta alternativa en estudios donde se aplicará la TCEV como función para obtener los percentiles regionales (Francés, 1998).

Cabe destacar que esta alternativa de regionalización es muy sensible a los valores μ_j y σ_j , por lo que solo se considera en esta etapa del estudio a las estaciones más consistentes y con más de 30 registros. Las probabilidades empíricas fueron calculadas mediante la expresión de Gringorten, de forma que el incremento del número de estaciones y registros, afecta menos a la posición en la gráfica de los valores altos de la variable reducida:

$$F(y_i) = \frac{i - 0.44}{n + 0.12}$$

donde i es el puesto que ocupa el dato y_i en la serie completa ordenada de menor a mayor, y n es el número total de datos de la serie.

4.4. Identificación de valores atípicos

La evaluación de datos atípicos, se realiza habitualmente por el test de Grubbs y Beck (Grubbs, 1969; Grubbs and Beck, 1972). Este test define la frontera que separa los valores atípicos del resto según la siguiente expresión:

$$X_H = \bar{X} + k_N \cdot S_x$$

donde \bar{X} y S_x se corresponden con la media y la desviación estándar muestral de los datos y k_n es un estadístico que depende del tamaño de la muestra y del nivel de significancia. El valor de k_n puede encontrarse tabulado en (Grubbs and Beck, 1972); de manera alternativa puede utilizarse la siguiente aproximación para el percentil 90:

$$k_N = -3.62201 + 6.28446 \cdot N^{0.25} - 2.4^{0.5} + 0.49144 \cdot N^{0.75} - 0.03791 \cdot N$$

Sin embargo, este procedimiento está específicamente diseñado para aquellas muestras procedentes de poblaciones que siguen la distribución normal (Coeficiente de sesgo = 0) y permite detectar valores extremos debidos a errores en la toma y procesamiento de datos, a la observación de un valor de una población diferente, o incluso a un evento ocasional muy sesgado de la misma población.

Como ya se ha mencionado, el CEDEX (CEDEX, 2014) al estudiar los fenómenos de inundación en el Levante Peninsular, considera que los valores hidrológicos ordinarios se ajustan a una distribución de Gumbel (coeficiente de sesgo $C_s = 1.14$), por lo que la aplicación directa del test

de Grubbs-Beck es errónea y conduce, dado el sesgo positivo de la distribución, a identificar como atípicos, valores que no lo son.

Como alternativa para solucionar el problema, el Interagency Advisory Committee on Water Data propuso en la publicación del Boletín 17-B de 1982 (Interagency Advisory Committee on Water Data, 1982), estableció una metodología para la evaluación de atípicos de muestras de poblaciones con coeficiente de sesgo mayor de 0.4 para valores altos y menor de -0,4 para valores bajos. Cuando el coeficiente de sesgo está en el intervalo -0.4, 0.4 se puede utilizar tanto para valores altos y bajos.

Para estos casos aplica el test de Stedinger. Este test define la frontera que separa los valores atípicos del resto de la muestra según la siguiente expresión:

$$X_H = \exp(\bar{y} + k_N \cdot S_y)$$

donde \bar{y} y S_y se corresponden con la media y la desviación estándar muestral de los logaritmos de los datos originales ($y = \ln(x)$). Para el valor de k_N se propuso la siguiente expresión (debiendo cumplirse la condición de que N debe oscilar entre 5 y 150):

$$k_N = -0.9043 + 3.345\sqrt{\log(N)} - 0.4046 \cdot \log(N)$$

Si aplicamos el test a los valores anteriores, el número de atípicos se reduce al 0.02% de los valores ordinarios, y aunque la distribución es sesgada hacia los valores inferiores, se asemeja más a una distribución normal en la parte correspondiente a los valores superiores.

El proceso a llevar a cabo es iterativo, debiendo evaluarse inicialmente la serie completa, y si se detectan valores atípicos, debe procederse del mismo modo, pero en esta ocasión considerando la población original menos los valores atípicos detectados en la etapa previa. Esta iteración debe repetirse hasta que el número de nuevos atípicos detectados en una iteración sea nulo. Cabe indicar sin embargo que en el proceso descrito en el Boletín 17-B, la metodología es algo diferente, ya que el primer análisis se realiza sin eliminar el valor más elevado de la muestra.

En cualquier caso, el proceso presenta un cierto nivel de subjetividad a la hora de definir el nivel de confianza, y asimismo presenta ciertas incorrecciones desde el punto de vista de los autores. Estas incorrecciones consisten en incluir todos los datos de la muestra a la hora de definir el valor límite que marca qué es atípico y qué no. Expliquémoslo con un ejemplo, supongamos una muestra de 30 datos donde sabemos que existe un valor atípico y 29 que no lo son, esto significa que 29 valores presentan una función de distribución diferente al mayor de los valores (el atípico) y por tanto, el cálculo del límite que marca la posición de los atípicos debería realizarse sólo con estos 29 valores y no con los 30 ya que estaría incluyéndose el valor atípico.

Considerando esta premisa, la determinación de los valores atípicos de una muestra se complica ya que se convierte esta determinación en un proceso iterativo, en donde los diferentes pasos son tal y como se describe a continuación:

1. en primer lugar, se ordena la muestra de tamaño n de mayor a menor valor,
2. en segundo lugar, se plantea una hipótesis inicial, consistente en considerar que el mayor de los valores es un atípico,

3. en tercer lugar, considerando el resto de la muestra excluyendo al potencial atípico (tamaño $n-1$) se calcula el valor límite que marca qué es y qué no es atípico.
4. A continuación, se compara este valor que marca el límite de atípicos, con el mayor de los valores de nuestra muestra y que en la hipótesis inicial ha sido considerado atípico. De esta comparación pueden suceder dos cosas: si este valor límite es superior al mayor de los valores de la muestra, entonces se rechaza la hipótesis inicial (considerar que el mayor valor era atípico) y se finaliza el proceso concluyendo que la muestra no presenta ningún valor atípico. Si de esta comparación se acepta la hipótesis, entonces se obtiene una nueva muestra más pequeña (tamaño $n-1$)
5. Finalmente, si se ha aceptado la hipótesis de existencia de un atípico, se repite los pasos 1 a 4 con la nueva muestra de tamaño $(n-1)$ y que excluye a uno de los atípicos.

Este proceso continúa hasta alcanzar una muestra en la que no existe ningún valor atípico.

4.5. Ajuste regional

Aunque la distribución Kappa es una buena representación de la función de distribución de la región, carece de carácter predictivo, por lo que habitualmente se utilizan distribuciones específicas de tipo extremal. En las dos últimas regionalizaciones efectuadas en la zona (CEDEX, 2014; CHJ, 2013), se ha utilizado la Two-Component Extreme Value (TCEV), ya que es la distribución extremal que mejor se adapta a las características de la región, donde, como hemos señalado al inicio del estudio, conviven dos poblaciones diferentes de registros. La función TCEV a través de sus cuatro parámetros permite, y así se ha demostrado en estudios previos (Rossi et al., 1984) una correcta adaptación de la función a ambas familias de eventos. Según la Memoria técnica del Mapa de Caudales Máximos.(CEDEX, 2014), una vez diferenciadas los registros pertenecientes a una u otra población, la probabilidad de excedencia de las mismas, se puede representar mediante dos distribuciones de Gumbel.

De esta forma los valores ordinarios tendrán una función de distribución del tipo

$$F(x) = e^{-e^{-\frac{(x-\mu_1)}{\sigma_1}}}$$

Asimismo, los valores atípicos, tendrán una distribución del tipo

$$F(x) = e^{-e^{-\frac{(x-\mu_2)}{\sigma_2}}}$$

En nuestro caso, como la precipitación máxima anual será la máxima de las dos, la función de probabilidad de la TCEV será el producto de las dos funciones de probabilidad anteriores:

$$F(x) = e^{-e^{-\frac{(x-\mu_1)}{\sigma_1}}} \cdot e^{-e^{-\frac{(x-\mu_2)}{\sigma_2}}}$$

Para ajustar las distribuciones es necesario poder identificar, en cada una de las muestras existentes, que valores pertenecen a una u otra población. El ajuste de la distribución se plantea con el objetivo de minimizar la suma del error cuadrático medio entre las observaciones y las predicciones, calculado este error de manera independiente para cada uno de los dos tramos que puedan existir. Esta manera de proceder asegura un ajuste correcto en ambas ramas, a diferencia de otras alternativas en donde la mayor densidad de puntos en la primera rama de la curva hace que el peso relativo de los datos existentes en la segunda rama sea, no despreciado, pero sí minusvalorado por una función objetivo o metodología que pondere igualmente cada una de

las observaciones. Una vez realizado el ajuste ya se pueden obtener los cuantiles asociados a los diferentes periodos de retorno.

4.6. Determinación de los cuantiles locales

Obtenidos los cuantiles regionales, debe procederse a aplicar la inversa de la expresión empleada para obtener la variable regional o estandarizada, para poder obtener los cuantiles locales en cada una de las estaciones incluidas en la región:

$$x_j = y_{reg,j} \cdot \sigma_j + \mu_j$$

Siendo x_j el cuantil local de la estación j ; μ_j y σ_j los parámetros de la función de distribución de Gumbel ajustada a una muestra que excluye los valores atípicos de dicha estación; e $y_{reg,j}$ el cuantil correspondiente de la variable regional.

En una estación con atípicos, esta transformación disminuye el valor de los cuantiles calculados a partir de un ajuste local, y, al contrario, en las estaciones sin atípicos, incrementa el valor de los cuantiles, calculados en un ajuste local. De esta forma, la probabilidad empírica de no excedencia asociada a los valores atípicos es menor que la considerada en el cálculo local, lo que determina que los cuantiles más elevados disminuyan.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Región homogénea

La aplicación de la metodología expuesta en el apartado 0 en cada uno de los escenarios allí descritos en función del número de variables a considerar dio lugar a una distribución espacial de la isolínea de valor cero asociada a la primera componente principal que se muestra en la figura 6. Se observó en anteriores estudios que la influencia de considerar 12 o 18 índices en el análisis de componentes principales era mínimo y que la principal fuente de varianza de los datos ya estaba recogida en los 12 índices pluviométricos iniciales, siendo las isolíneas que se deducen de la distribución espacial de la componente principal primera son prácticamente coincidentes en todos los casos. Para el caso particular de la región homogénea que existe en la zona sur de la provincia de Valencia y norte de la provincia de Alicante, la figura 6 muestra la práctica coincidencia de la isolínea de valor 0.

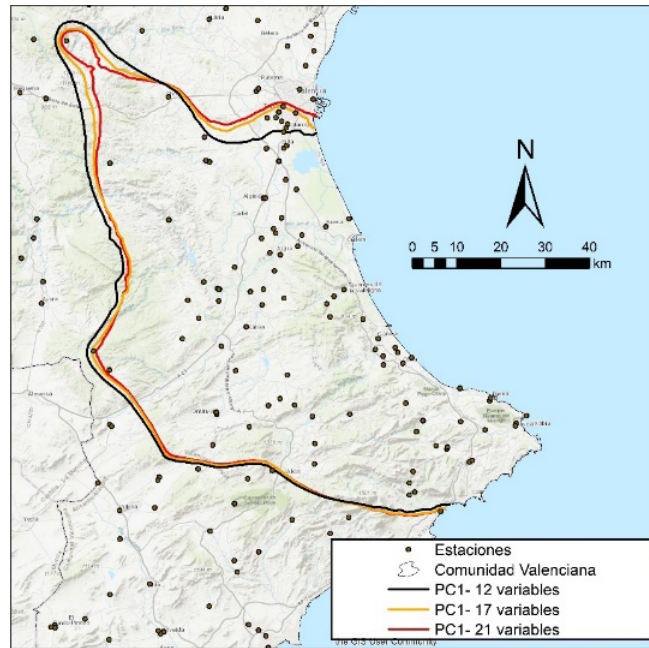


Figura 6. Isolínea de valor cero asociada a la primera componente principal.

A la vista de estos resultados se concluyó continuar exclusivamente con la opción de las 12 variables inicialmente establecidas inicialmente, aquellas recogidas en la tabla 1, aplicadas en referencias previas (Santos et al., 2017) y que incluye todas las variables de precipitación recogidas por la Comisión de Climatología de la Organización Mundial Meteorológica (CCI), del proyecto Clima y Océano: variabilidad, predictibilidad y cambios (CLIVAR-WCRP) y el equipo de Expertos en la detección e índices del cambio climático (ETCCDI) (Karl et al., 1999).

Ampliando la metodología del estudio de la variabilidad de la componente principal primera a la totalidad de la provincia de Alicante y sus limítrofes se observa los resultados que se muestran en la figura 7.

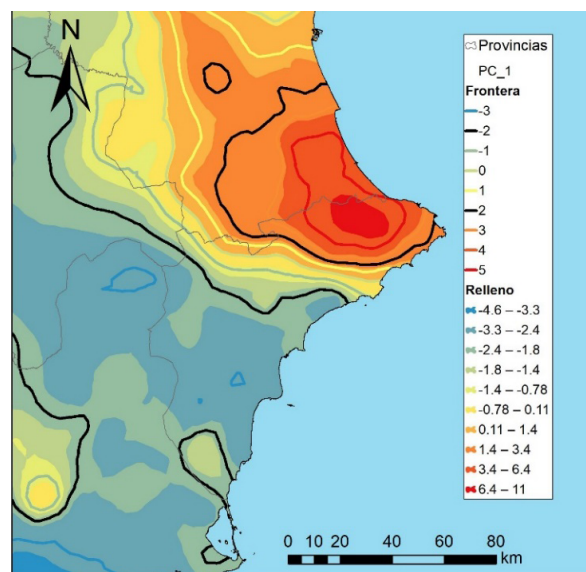


Figura 7. Distribución espacial de la componente principal primera en la provincia de Alicante y sus limítrofes.

A la vista de estos resultados se identificó claramente una región climáticamente homogénea cuyo epicentro está en el norte de la provincia de Alicante, y más concretamente en las municipalidades de Vall d'Ebo y Pego. A continuación, una zona de transición, orientada aproximadamente según la dirección NO-SE que cruza la práctica totalidad de los límites provinciales y se identifica con los relieves montañosos de las montañas de las comarcas del Comtat como epicentro. Finalmente, el análisis de esta distribución espacial permitió localizar una zona con menor variabilidad de esta variable estudiada que abarca toda la zona sur de la provincia de Alicante.

Sí se detectó, sin embargo, una anomalía en las inmediaciones del mar Menor, y los términos municipales de Torrevieja, Orihuela y Murcia que requirió un análisis más exhaustivo de esta última región. Puesto que la validación de cualquier región definida en esta etapa del proceso debe realizarse mediante un test de discordancia realizado a posteriori sobre las regiones definidas en base a la variabilidad de los L-momentos ponderados, se decidió estudiar la distribución espacial de estos índices, la cual es mostrada en la figura 8.

En ambos casos, se observó que existe para toda la zona al sur del Maigmó una zona costera y una zona interior que abarca hasta el término municipal de Villena, en el límite NO de la provincia de Alicante. Respecto a la zona de mayores valores pegada a la costa, se observa que existen dos epicentros centrados aproximadamente en los términos municipales de Alicante y de Torrevieja aproximadamente. Se desconoce la causa de este patrón tan atípico, habida cuenta que prácticamente no existen causas orográficas que justifiquen este hecho. Sí se ha observado que las observaciones correspondientes a las series de mayor longitud se sitúan justamente en esos epicentros, coincidiendo con núcleos poblaciones más importantes y se considera que una posible causa que esté causando esta anomalía es simplemente la menor longitud de las series correspondientes a esta zona intermedia entre ambos epicentros. De ser cierto esto, toda la zona costera de la mitad sur de la provincia de Alicante comparte climáticamente unas mismas características y forma parte de una misma región homogénea. En contraposición a esta región sur costera, se sitúa la región sur interior, que se extendería desde las estribaciones de la sierra de Crevillente y hasta alcanzar el límite provincial, abarcando entre otras las municipalidades de Pinoso, Villena o Elda por citar a las más importantes de este dominio climático.

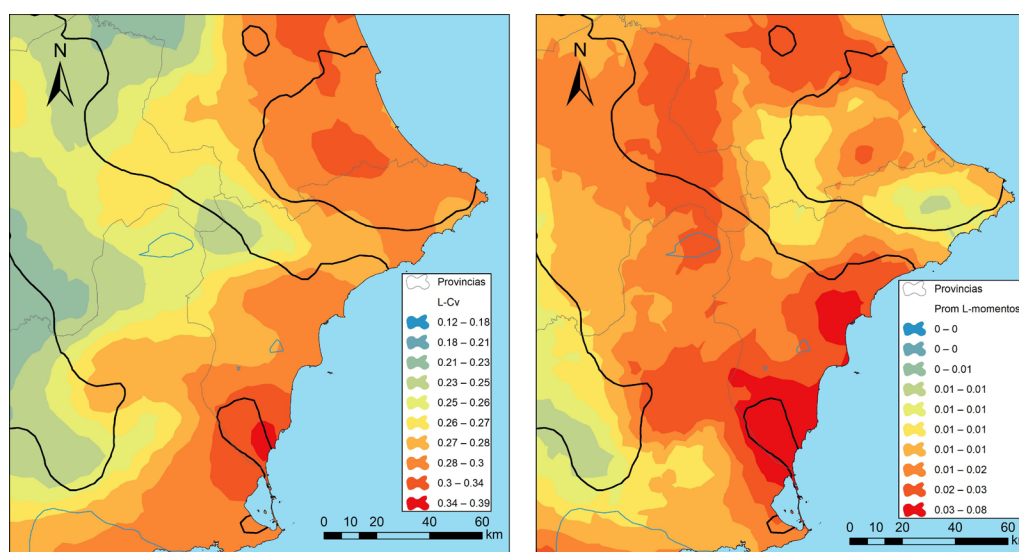


Figura 8. Distribución espacial de las variables τ_2 (L-cv) y del promedio de los tres índices τ_2 , τ_3 y τ_4 . Se han mantenido los límites de las regiones ya identificadas del norte y la zona de transición mencionadas previamente.

Como resultado, se han definido las siguientes regiones climáticas:

Región 1. Norte de la provincia de Alicante y sur de la provincia de Valencia

El límite sur de esta región coincide aproximadamente con la sierra de Bernia, en las inmediaciones de la bahía de Altea y Calpe. A partir de esa línea imaginaria y hacia el sur el valor de esta componente principal primera descende rápidamente en una franja de transición con alineación aproximada ESE-ONO. Una vez pasada esta zona de transición se entra en un dominio climático desde el punto de vista de la precipitación extremal totalmente distinto y en principio mucho más homogéneo en el resto de la provincia, abarcando los valles fluviales principales de la provincia como son el río Seco, el Vinalopó y Vega Baja del Segura. La figura 9 muestra una superposición de la evolución espacial de la componente principal primera junto con la descripción física y administrativa de la zona de estudio. Puede observarse como uno de los dos centros de carácter extremal más intenso se encuentra situado prácticamente en su totalidad en el interior de la provincia de Alicante. El otro centro se sitúa al oeste del casco urbano de Gandía. Obsérvese además la coherencia en la rápida evolución del carácter extremal de la precipitación en la frontera sur conforme aumenta la distancia a los relieves montañosos más importantes. También es digno de destacar la coincidencia del límite de la región con la divisoria de la sierra de Aitana, conjunto montañoso de mayor envergadura de la provincia de Alicante.

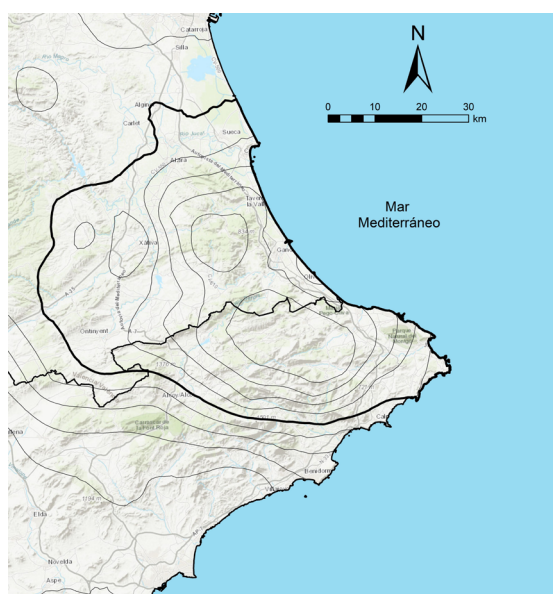


Figura 9. Mapa de la región climática homogénea, las isolinias de la componente principal primera y la información de relieve de la zona de estudio.

Región 2. Zona de transición entre la región 1 previamente indicada y la zona sur

Esta región se sitúa entre la región previa y el fin de las principales estribaciones montañosas del interior de la provincia y se centra fundamentalmente en las comarcas del Comtat y la Marina Baja, extendiéndose hacia el NO por la zona de la Sierra de Mariola. Su clara frontera climática se encuentra en el valle del río Vinalopó, una vez alcanzado este valle la localidad de Villena. En su zona sur el límite se sitúa en las últimas estribaciones de los relieves montañosos más importantes que ocupan el centro de la provincia. Esta región es una zona de transición, y como tal ha sido definida, no pudiendo haber sido incluida en ninguna de las regiones limítrofes con las que se encuentra al no poder integrarse plenamente en ninguna de ellas.

Región 3. Zona costera sur

Esta región abarca todo el litoral sur de la provincia desde su inicio entre las localidades de Alicante y Villajoyosa hasta el fin provincial en Pilar de la Horadada. Está zona está claramente expuesta a los temporales más intensos con vientos de origen NE y que son los principalmente vinculados a los grandes eventos de precipitación torrencial. Existe en esta región dos epicentros ciertamente diferenciados, como son las inmediaciones de la ciudad de Alicante y el entorno de Torrevieja-Orihuela. Existe entre ambos centros un dominio de escasa importancia que ha sido considerado homogéneamente con los dos epicentros descritos, aunque ciertamente presenta valores máximos de menor entidad.

Región 4. Interior continental de la provincia

Finalmente, la región 4 abarca el dominio climático de la provincia donde el efecto costero es menos evidente y mayor es la influencia del clima continental propio del interior de la península. Esta zona tiene como epicentro las municipalidades de Villena-Pinoso, abarcando desde los términos de Elda y Novelda hacia el NO.

La presencia de esta región homogénea desde el punto de vista extremal se extiende más allá de los límites provinciales, siendo identificada claramente en prácticamente toda la extensión del altiplano murciano y, ya en dominios castellanomanchegos, en los términos municipales de Caudete y hasta Almansa.

La figura 10 recoge los límites de estas 4 regiones presentes en la provincia de Alicante. Adicionalmente y con objeto de evitar problemas de borde durante los procesos de interpolación espacial, se ha definido una quinta y última región, que no ha sido descrita ya que se encuentra en su totalidad ocupando la vega media del río Seguro y río Guadalentín en la Comunidad Autónoma de Murcia. Esta última región homogénea ha sido tratada como el resto de las regiones, aunque sus resultados no han sido expuestos en el presente trabajo.

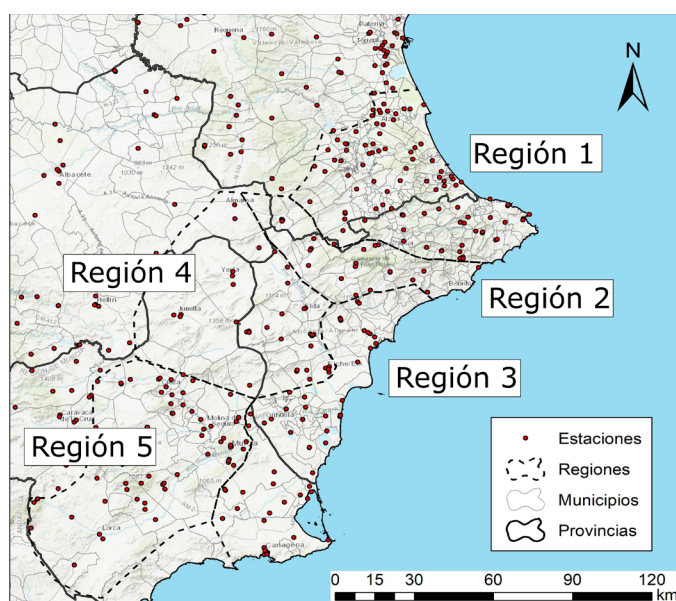


Figura 10. Límites de las regiones climáticas homogéneas identificadas desde un punto de vista de precipitación extrema.

5.2. Análisis regional de frecuencias

Una vez las regiones fueron definidas, se procedió a realizar el análisis regional de frecuencias. La figura 11 muestra la probabilidad acumulada observada en las diferentes regiones y la función teórica ajustada.

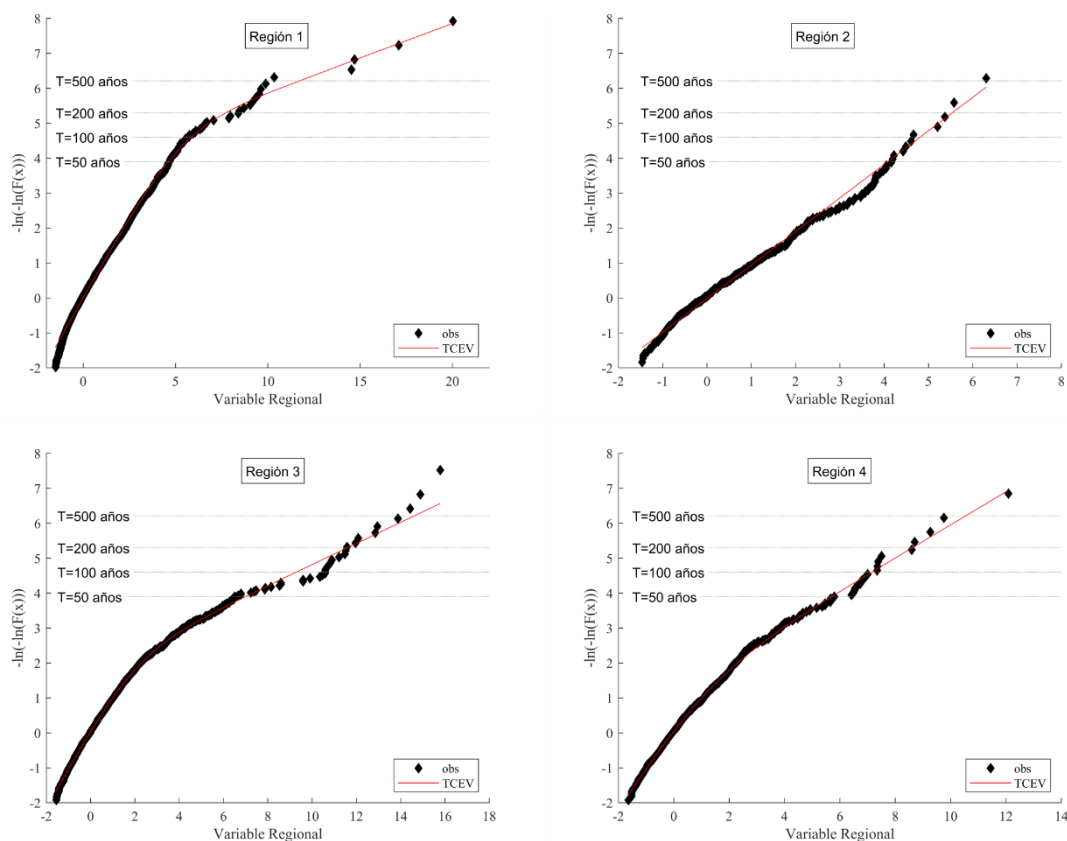


Figura 11. Probabilidad acumulada observada de la variable regional y ajustada mediante una función teórica en cada una de las cuatro regiones identificadas.

Se observan comportamientos muy claros que merece la pena comentar y discutir acerca de esta figura:

En la región 1 puede observarse claramente la presencia de dos tendencias lineales con un punto de inflexión que oscila entre valores de 6 y 8 de la variable regionalizada y para frecuencias vinculadas a periodos de retorno de entre 120 y 140 años. Representa esta región un paradigma de convivencia de fenómenos tormentosos de origen y génesis totalmente diferente y donde la función TCEV es la más adecuada.

En la región 4, correspondiente al interior de la provincia, se observa este mismo patrón, aunque con menores diferencias entra las dos familias presentes. En este caso es digno de observar que la familia de valores máximos extraordinarios presenta apariciones mucho más frecuentes, observándose el punto de inflexión que separa a la primera de la segunda rama en un valor inferior al periodo de retorno de 50 años.

La región 2, recordemos que es la región de transición entre la Marina Alta y el resto de la provincia presenta un comportamiento muy cercano al lineal y bien podría haberse representado mediante una función de Gumbel. Esta región está situada a sotavento de los importantes temporales con vientos de origen NE y la presencia de fenómenos convectivos está muy dificultada, lo que viene a quedar patente en la inexistencia de esa segunda rama de eventos máximos extraordinarios.

Finalmente, la región 3 es la más compleja de todas ellas. Esta región ocupa la franja costera del sur de la provincia y, como ya se ha nombrado previamente, coexisten en ella 2 centros de altas intensidades en las inmediaciones de la ciudad de Alicante por un lado y en la zona de Orihuela por otro. Esto tiene como consecuencia el patrón que se observa en la figura de probabilidades acumuladas y que demuestra la coexistencia de patrones diferentes. Podría haberse considerado la posibilidad de crear microrregiones homogéneas en el interior de la actual región 3, pero los autores consideraron que era más perjudicial este hecho al crear regiones con escasa representatividad estadística.

Cabe señalar que durante etapas previas de este estudio se barajó la posibilidad de incluir en el análisis regional de frecuencias a todas las estaciones con registros superiores o iguales a 20 años, incluyendo asimismo a estaciones dependientes y separadas menos de 3 km entre sí. Este cambio apenas tuvo impacto en la determinación de los cuantiles regionales, observándose variaciones inferiores al 4% entre ambas alternativas. Concluyendo, la expresión matemática final para cada una de las 4 regiones identificadas es tal y como sigue:

$$\text{Región 1: } F(x) = e^{-e^{-\frac{(x+0.02826)}{1.0543}}} \cdot e^{-e^{-\frac{(x+19.9640)}{5.0888}}}$$

$$\text{Región 2: } F(x) = e^{-e^{-\frac{(x+0.01792)}{1.0412}}} \cdot e^{-e^{-\frac{(x+21.8305)}{0.5032}}}$$

$$\text{Región 3: } F(x) = e^{-e^{-\frac{(x+0.1924)}{0.8423}}} \cdot e^{-e^{-\frac{(x+5.9519)}{3.3106}}}$$

$$\text{Región 4: } F(x) = e^{-e^{-\frac{(x+0.3253)}{0.7901}}} \cdot e^{-e^{-\frac{(x+2.5906)}{2.1141}}}$$

En lo que respecta a los cuantiles regionales, la tabla 3 recoge los valores correspondientes a los periodos de retorno más significativos.

T (años)	$y_{\text{regional 1}}$	$y_{\text{regional 2}}$	$y_{\text{regional 3}}$	$y_{\text{regional 4}}$
5	1.623	1.580	1.589	1.612
10	2.474	2.361	2.703	2.674
20	3.339	3.111	4.236	3.896
25	3.630	3.348	4.848	4.321
50	4.616	4.081	6.998	5.709
100	5.851	4.808	9.282	7.151
200	7.699	5.532	11.581	8.610
500	11.694	6.488	14.619	10.546
1000	15.188	7.210	16.915	12.012

Tabla 3. Cuantiles de la variable regional asociada a los periodos de retorno.

Obsérvese la gran diferente existente a partir del periodo de retorno de 100 años para las diferentes regiones. Especialmente digno de destacar es la anomalía que representa la región de transición 2, ubicada entre regiones con fenómenos tempestuosos mucho más intensos.

La desregionalización de los cuantiles regionales para obtener el valor de los cuantiles en cada una de las estaciones incluidas en la región debe realizarse para poder obtener mapas de precipitación máxima. A partir de estos valores locales y mediante la interpolación espacial pudo obtenerse mapas de precipitación diaria máxima para los periodos de retorno más característicos (Figura 12).

Se observa que para las zonas con valores más altos en las cercanías del Vall d'Ebo y la llanura litoral de Pego se esperan valores de lluvia diaria máxima que pueden llegar a alcanzar valores realmente altos como son los más de 400 mm.

El otro gran centro de grandes precipitaciones lo constituye la Vega Baja del Segura, y aunque no se alcancen valores tan extraordinarios como en la Marina Alta, no dejan de ser valores realmente altos para precipitaciones diarias. Entre estas dos regiones se sitúa una zona de precipitaciones máximas diarias más moderadas, a excepción de la anomalía que supone la ciudad de Alicante. Esta zona más moderada se extiende desde la zona climática con influencias continentales más importantes hasta la costa en el término de Villajoyosa.

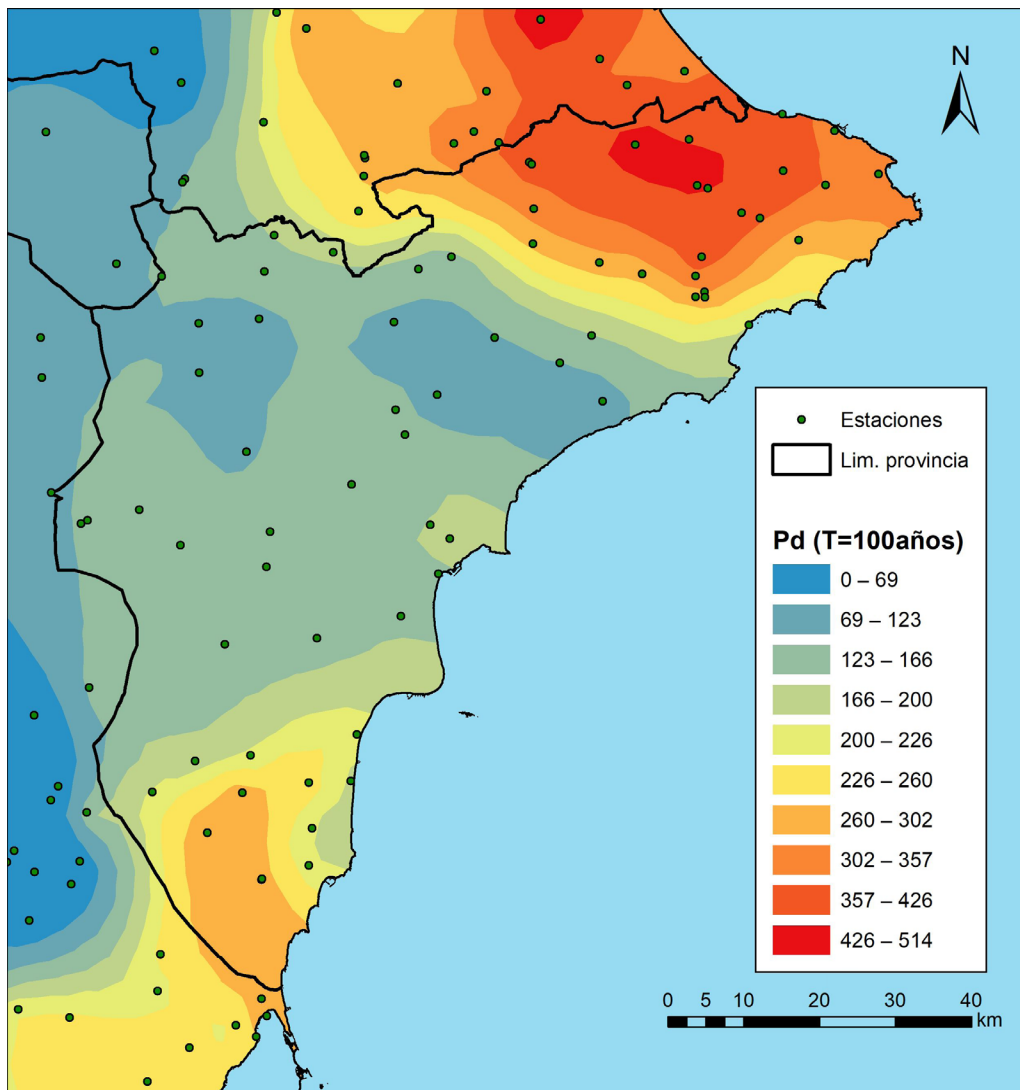


Figura 12. Mapa de precipitación diaria máxima para diferentes periodos de retorno.

6. CONCLUSIONES

En el presente trabajo se realiza un Análisis Regional de las Frecuencias de las Precipitaciones Máximas Anuales de toda la provincia de Alicante. En este análisis se han utilizado los datos de 1252 estaciones meteorológicas de AEMET, CHJ y CHS.

Del estudio se desprende la complejidad que supone la determinación de los cuantiles de las precipitaciones máximas diarias en la provincia de Alicante, solo la subregion 1 tiene un comportamiento estadístico en el que se observa la presencia de dos poblaciones claramente diferenciadas, en la subregion 2 se observa la presencia de una única población y en la subregion 4, la diferenciación entre dos poblaciones es muy poco relevante.

Por último, en la región 3 se observan claramente dos poblaciones, pero se precisa de un estudio más detallado de sus límites y de los valores de los datos locales, para mejorar la correlación entre la función estimada y los datos recogidos.

Comparado el presente trabajo con los anteriormente realizados, se confirma la bondad, para periodos de retorno menores o iguales de 100 años, de los ajustes anteriormente realizados. Por el contrario, para los cuantiles de periodos de retorno superiores a 100 años, debido a la utilización de un menor número de estaciones y registros, existe una minusvaloración del valor.

Este estudio es, con diferencia, el más exhaustivo y completo realizado hasta la fecha en la provincia de Alicante y ha permitido obtener, con mayor precisión, los valores de los valores de la precipitación máxima diaria para periodos de retorno mayores de 100 años.

Como conclusión al mismo, este estudio aporta a los Ayuntamientos de la provincia de Alicante los valores locales, para diversos periodos de retorno, de la precipitación diaria máxima anual en cada uno de sus municipios, lo que facilitará a sus técnicos la elaboración, a escala local, de los estudios de drenaje y especialmente de inundabilidad.

REFERENCIAS

- Almazroui, M., Dambul, R., Islam, M. N., & Jones, P. D. (2015). Principal components-based regionalization of the Saudi Arabian climate. *Int. J. Climatol.*, 35(9), 2555-2573. <https://doi.org/10.1002/joc.4139>
- Aravena, J. C., & Luckman, B. H. (2009). Spatio-temporal rainfall patterns in Southern South America. *Int. J. Climatol.*, 29(14), 2106-2120. <https://doi.org/10.1002/joc.1761>
- Beable, M. E., & McKerchar, A. I. (1982). Regional flood estimation in New Zealand. Water and Soil Technical Publication 20. Ministry of Works and Development.
- CEDEX, C.d.E.y.E.d.O.P. (2014). *Mapa de caudales máximos. Memoria técnica*. Ministerio de Fomento.
- CHJ, C.H.d.J. (2013). *Plan director de defensa contra las avenidas en la comarca de la Marina Alta (Alicante)*. CHJ, Confederación Hidrográfica del Júcar.
- Cunnane, C. (1988). Methods and merits of regional flood frequency analysis. *J. Hydrol.*, 100(1-3), 269-290. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(88\)90188-6](https://doi.org/10.1016/0022-1694(88)90188-6)
- Dalrymple, T. (1960). *Flood frequency analysis. Water Supply Paper 1543-a*. United States Geological Service, USGS.
- Francés, F. (1998). Using the TCEV distribution function with systematic and non-systematic data in a regional flood frequency analysis. *Stochastic Hydrol. Hydraul.*, 12(4), 267-283. <https://doi.org/10.1007/s004770050021>
- Goyal, M. K., Shivam, G., & Sarma, A. K. (2019). Spatial homogeneity of extreme precipitation indices using fuzzy clustering over northeast India. *Nat Hazards*, 98(2), 559-574. <https://doi.org/10.1007/s11069-019-03715-z>
- Grubbs, F. E. (1969). Procedures for Detecting Outlying Observations in Samples. *Technometrics*, 11(1), 1-21. <https://doi.org/10.1080/00401706.1969.10490657>
- Grubbs, F. E., & Beck, G. (1972). Extension of Sample Sizes and Percentage Points for Significance Tests of Outlying Observations. *Technometrics*, 14(4), 847-854. <https://doi.org/10.1080/00401706.1972.10488981>
- Hosking, J. R. M., & Wallis, J. R. (1997). *Regional Frequency Analysis: An Approach Based on L-Moments*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511529443>
- Interagency Advisory Committee on Water Data, I. (1982). *Guidelines for determining flood flow frequency, Bulletin 17B of Hydrology and Subcommittee*. US Geological Survey.
- Jones, M. R., Blenkinsop, S., Fowler, H. J., & Kilsby, C. G. (2014). Objective classification

- of extreme rainfall regions for the UK and updated estimates of trends in regional extreme rainfall. *Int. J. Climatol.*, 34(3), 751-765. <https://doi.org/10.1002/joc.3720>
- Karl, T. R., Nicholls, N., & Ghazi, A. (1999). CLIVAR/GCOS/WMO Workshop on Indices and Indicators for Climate Extremes - Workshop summary. *Climatic Change*, 42(1), 3-7. <https://doi.org/10.1023/A:1005491526870>
 - Kendall, M. 1975. *Rank Correlation Methods*. Griffin.
 - Manton, M. J. et al. (2001). Trends in extreme daily rainfall and temperature in southeast Asia and the south Pacific: 1961-1998. *Int. J. Climatol.*, 21(3), 269-284. <https://doi.org/10.1002/joc.610>
 - Rossi, F., Fiorentino, M., & Versace, P. (1984). Two Component Extreme Value Distribution for Flood Frequency Analysis. *Water Resour. Res.*, 20(7), 847-856. <https://doi.org/10.1029/WR020i007p00847>
 - Santos, M., Fragoso, M., & Santos, J. A. (2017). Regionalization and susceptibility assessment to daily precipitation extremes in mainland Portugal. *Appl. Geogr.*, 86, 128-138. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2017.06.020>
 - Schaefer, M. G. (1990). Regional analyses of precipitation annual maxima in Washington State. *Water Resour. Res.*, 26(1), 119-131. <https://doi.org/10.1029/WR026i001p00119>
 - Wang, Y., & Zhou, L. 2005. Observed trends in extreme precipitation events in China during 1961-2001 and the associated changes in large-scale circulation. *Geophys. Res. Lett.*, 32(9), 1-4. <https://doi.org/10.1029/2005GL022574>
 - Zhang, X. et al. 2005. Trends in Middle East climate extreme indices from 1950 to 2003. *J. Geophys. Res. D Atmos.*, 110(22), 1-12. <https://doi.org/10.1029/2005JD006181>
 - Zhang, X. et al. 2011. Indices for monitoring changes in extremes based on daily temperature and precipitation data. *Wiley Interdiscip Rev. Clim. Change*, 2(6), 851-870. <https://doi.org/10.1002/wcc.147>