



**Universidad**  
Zaragoza

## Trabajo Fin de Grado

Análisis de la cuantía de precipitaciones y eventos de precipitación extremos por efecto del cambio climático en Aragón.

Predicciones para el presente siglo.

Autor

**Carlos Javier Vallés Cortés**

Director

**Jesús Ignacio Beamonte San Agustín**

**Escuela Politécnica Superior**  
**Año 2015**



*Agradecer a todas las personas que dedicaron un pequeño tiempo de sus vidas para animarme a seguir adelante para convertirme en ambientólogo, en especial, a mis padres, al resto de mi familia y a mis inolvidables compañeros del grado...*

# ÍNDICE

▪ <b>1. Resumen y palabras clave.....</b>	<b>5</b>
▪ <b>2. Introducción.....</b>	<b>6</b>
▪ <b>3. Objetivos.....</b>	<b>7</b>
▪ <b>4. Material y métodos.....</b>	<b>9</b>
▪ <b>5. Resultados.....</b>	<b>10</b>
○ <b>5.1 Escenarios de emisiones del IPCC.....</b>	<b>10</b>
○ <b>5.2 Evolución de la precipitación en el planeta y en Europa.....</b>	<b>20</b>
○ <b>5.3 Eventos hidrometeorológicos extremos en Europa.....</b>	<b>25</b>
○ <b>5.4 La variación de lluvias en Aragón en los últimos 50 años.....</b>	<b>28</b>
○ <b>5.5 Eventos hidrometeorológicos extremos en Aragón.....</b>	<b>45</b>
○ <b>5.6 Las técnicas de reducción de escala (<i>downscaling</i>).....</b>	<b>55</b>
○ <b>5.7 Proyecciones de precipitación para Aragón hacia final de siglo.....</b>	<b>57</b>
▪ <b>6. Conclusiones.....</b>	<b>71</b>
▪ <b>7. Bibliografía.....</b>	<b>73</b>
▪ <b>8. Anexo.....</b>	<b>75</b>

## 1. RESUMEN Y PALABRAS CLAVE

### RESUMEN

El actual cambio climático producido por el calentamiento del sistema terrestre, es producido por un aumento en la atmósfera de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) producidos por las actividades humanas. Este es un problema que debemos afrontar entre todos por sus dramáticas consecuencias para la humanidad. Este cambio en el clima mundial supone la variación climática de muchas regiones mundiales y, consecuencia de ello, es la alteración de los patrones de lluvia en muchas zonas del planeta. Un mayor calentamiento del sistema tierra-océano-atmósfera supone una mayor tasa de evaporación y un aumento de las precipitaciones. Sin embargo, la desestabilización del clima supone una perturbación en los regímenes de precipitación de muchos territorios produciendo grandes brechas de desigualdad pluviométrica, siendo Europa uno de ellos. Mientras que los modelos climáticos indican un progresivo aumento de las precipitaciones en la mitad norte del continente a lo largo del siglo XXI, para el sur prevén una disminución moderada de las cantidades, así como la intensificación de los períodos de sequía. En Aragón, los modelos climáticos han comprobado una notable disminución de las lluvias en los últimos cincuenta años, sobre todo en los meses de invierno y verano. Además, diversos estudios indican que en muchas zonas del planeta, los eventos de precipitación serán cada vez más extremos, situación que ocurrirá con alta probabilidad en Aragón. Por tanto, la sociedad aragonesa deberá tomar medidas destinadas a la atenuación de impactos sociales, económicos y medioambientales provocados por la escasez de pluviometría y el aumento de eventos extremos de precipitación.

### PALABRAS CLAVE

*Cambio climático, escenarios de emisión, proyecciones regionalizadas, modelos climáticos, estaciones meteorológicas.*

## 2. INTRODUCCIÓN

Las sustancias y los procesos naturales y antropógenos que alteran el balance energético de la Tierra son impulsores del cambio climático. Es evidente que se está produciendo un forzamiento radiativo positivo, consecuencia del aumento de la concentración de gases de efecto invernadero (GEI), que está dando lugar a un calentamiento global. La influencia en el clima ha sido la causa dominante (con una probabilidad superior al 95%) de más de la mitad del aumento observado en la temperatura superficial media global en el período 1951-2010. Los gases de efecto invernadero (GEI) contribuyen al calentamiento entre 0,5°C y 1,3°C siendo el factor que más ha elevado la temperatura. Concretamente, el actor principal ha sido el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), cuya concentración ha aumentado en la atmósfera ininterrumpidamente desde 1750 a consecuencia de la quema imparable de combustibles fósiles por parte del ser humano (Panel Intergubernamental Contra el Cambio Climático (IPCC), 2013). Estos combustibles han sido y son utilizados en la actualidad mayoritariamente tanto para calentarse, como para producir electricidad, o mover un vehículo entre otras funciones.

Hay que decir que los cambios que se producirán en el ciclo global del agua, en respuesta al calentamiento durante el siglo XXI, no serán uniformes. Se acentuará el contraste en las precipitaciones estacionales medias entre las regiones húmedas y secas en la mayor parte de la Tierra con algunas excepciones. [\(Oficina Española Contra el Cambio Climático \(OECC\), 2013\)](#)

Así como en el caso de la temperatura todos los modelos indican que van a aumentar sin ningún género de duda en mayor o menor medida en todas las zonas del globo en el próximo siglo, la cantidad de lluvia registrada no ofrece datos tan claros en cuanto a su aumento o disminución a escala planetaria. Habrá regiones del planeta en las que las precipitaciones aumentarán muy claramente, sin embargo, otras se verán disminuidas claramente en cuanto a cantidad de lluvia se refiere. En cualquier caso, la evidencia afirma que las precipitaciones se repartirán de una manera más desigual entre unas zonas y otras. [\(OECC, 2013\)](#)

La verificación de este fenómeno no es fácil en ningún ámbito geográfico y tampoco lo es en Aragón, debido, entre otras cosas, al complejo reparto espacial que muestra la precipitación sobre el territorio, a las diferencias en cuanto a su reparto estacional y a su notable variabilidad interanual. [\(López, Cabrera y Cuadrat, 2007\)](#)

Es de vital importancia conocer las predicciones en cuanto a volúmenes de precipitación anuales que se registrarán en Aragón si continúa este escenario climático de calentamiento. Con un nivel de confianza alto, todo parece indicar que en el sur de Europa y por tanto, en la región aragonesa va a haber un claro descenso de las precipitaciones. [\(Dirección General de Calidad Ambiental y Cambio Climático del Gobierno de Aragón, 2009\)](#) El descenso de las precipitaciones también puede ir acompañado de una torrencialidad de las mismas y el aumento de eventos hidrometeorológicos extremos con el consiguiente aumento en el impacto económico en sectores estratégicos de Aragón como la agricultura o la ganadería.

Por tanto, la realización de una síntesis de las predicciones del cambio en las precipitaciones como consecuencia del cambio climático referido al ámbito de Aragón, es clave para entender los futuros retos que debe asumir la comunidad para afrontar los problemas que generará el cambio climático en la estructura productiva de este territorio así como la diversidad de problemas ambientales a resolver que tendrá la sociedad civil y las distintas administraciones públicas.

### **3. OBJETIVOS**

#### **Objetivo principal**

Actualmente existe una amplia cantidad de investigaciones dedicadas al estudio del comportamiento de las precipitaciones debido al efecto del cambio climático que está sufriendo el planeta. Los estudios realizados a una escala grande como puede ser la referida a todo un continente, ayudan a observar comportamientos de masas de aire o las diferencias de presión atmosférica entre territorios con el fin de realizar predicciones climáticas. Sin embargo, cada vez son más reclamados por gobiernos y entidades públicas los modelos regionales del clima, es decir, estudios climáticos a escala regionalizada que pueden predecir lo que ocurrirá en un ámbito regional determinado. Ya lo adelantaba el IPCC en su tercer informe del año 2001, ya que dichos modelos, son considerados como la técnica más prometedora para realizar proyecciones realistas de cambio climático a escala regional.

El objetivo principal de este Trabajo Fin de Grado (TFG) es realizar un análisis de los informes que aporten predicciones climáticas acerca de las variaciones de precipitación derivadas de modelos regionales realizados en la comunidad autónoma de Aragón, para el presente siglo, como consecuencia del cambio climático global según diversos escenarios de emisiones de GEI.

## Objetivos específicos

A través de los siguientes objetivos se pretende tanto introducir como desarrollar un cuerpo de narración que pretenda dar sostén al objetivo general indicado arriba. Los objetivos específicos son los siguientes:

- Explicar los escenarios de emisiones con los que trabaja el IPCC.
- Analizar las predicciones de variación de precipitación a escala mundial y europea, en la región mediterránea (sur de Europa) según distintos escenarios de emisiones.
- Analizar las predicciones de los eventos hidrometeorológicos extremos en el continente europeo.
- Conocer el clima de Aragón y su situación respecto a las precipitaciones.
- Elaborar unas efemérides de la variación de precipitación acumulada en la región aragonesa en el último medio siglo con el fin de conocer la tendencia de las precipitaciones hacia las próximas décadas. Para ello:
  - o Analizar los datos climatológicos referentes a precipitaciones disponibles en la página del Instituto Aragonés de Estadística.
- Elaborar una pequeña efemérides de precipitaciones extremas en algunas zonas de Aragón. Para ello:
  - o Analizar los datos climatológicos de Agencia Estatal de Meteorología a solicitud del autor de esta memoria.
- Analizar episodios de fuertes tormentas en Aragón en los últimos años, como foco de eventos hidrometeorológicos extremos de precipitación.
- Explicar el funcionamiento de los modelos regionales del clima. Utilización de la técnica de reducción de escala (*downscaling*).

## 4. MATERIAL Y MÉTODOS

El contenido del presente TFG es puramente bibliográfico, y no se han realizado investigaciones de campo ni pruebas experimentales en el laboratorio. Principalmente se ha realizado una revisión de la bibliografía existente más actualizada sobre predicción del contenido de precipitaciones en la comunidad de Aragón en el siglo XXI como consecuencia del cambio climático. Además, se realiza también la revisión de otro tipo de bibliografía para complementar el documento, como la referida a eventos hidrometeorológicos extremos, a técnicas de reducción de escala o a escenarios de emisiones. Como documento de referencia para la extracción de información se tiene el Quinto Informe de Evaluación (AR5) del IPCC, del año 2013. Dado que este informe es la herramienta bibliográfica más actualizada del IPCC, se procura también realizar comparaciones de cómo ha evolucionado su contenido sobre los temas en cuestión que ocupa este trabajo en relación con los informes anteriores AR4 (2007) o AR3 (2001).

Antes de comenzar a escribir la presente memoria, el autor ha estado muchas semanas recopilando bibliografía. Las fuentes principales de donde se ha extraído las referencias bibliográficas de este trabajo han sido las páginas web de gobiernos y de organizaciones climáticas de diferente ámbito territorial. También hay reseñas de libros encontrados en diferentes páginas web o artículos científicos de prestigiosos climatólogos, todo ello colocado en el apartado de bibliografía de presente TFG. Como motor de búsqueda de bibliografía poco relevante se ha utilizado Google, principalmente para acceder a las páginas web de gobiernos como el Autonómico de Aragón, y el de España o entidades como el IPCC o la Organización Meteorológica Mundial (OMM). En cuanto a motores de búsqueda más específicos y acreditados se ha utilizado Dialnet, las bases de datos del CSIC o *Science Direct* sobre todo para la búsqueda de artículos científicos de revistas y para consulta en capítulos de monografías.

Por último, en cuanto a cuestiones de formato del presente TFG, se han tomado las recomendaciones dadas por el personal de biblioteca de la Escuela Politécnica Superior de la Universidad de Zaragoza. Una de las principales ha sido el riguroso seguimiento del estilo de citación bibliográfica APA (*American Psychological Association*) recomendado en la plataforma virtual moodle por la biblioteca de la Universidad de Zaragoza. También, se ha seguido un estricto control de tutorización de la memoria realizada por el Director de este TFG y se han ido cumpliendo los plazos que se habían establecido para sacar adelante el trabajo que se ha estado realizando.

## 5. RESULTADOS

### 5.1 Escenarios de emisiones del IPCC

Para entender las predicciones climáticas de un lugar determinado los científicos emiten hipótesis de lo que ocurrirá en el futuro. Estas hipótesis se basan en un conjunto de factores que al darse generarán un escenario determinado.

Según el IPCC:

“Los escenarios son imágenes alternativas de lo que podría acontecer en el futuro, y constituyen un instrumento apropiado para analizar de qué manera influirán las fuerzas determinantes en las emisiones futuras, y para evaluar el margen de incertidumbre de dicho análisis” ([Fundación para la Investigación del Clima \(FIC\), 2009](#))

Las emisiones futuras de gases de efecto invernadero (GEI), principal motor del cambio climático, son el producto de muy complejos sistemas dinámicos, determinado por fuerzas tales como el crecimiento demográfico, el desarrollo socioeconómico o el cambio tecnológico. A partir de esto, el IPCC ha desarrollado cuatro líneas evolutivas/familias de escenarios que están basadas en políticas gubernamentales de los países del mundo, las cuales influyen en muy diverso grado sobre ciertos factores determinantes de las emisiones, como el cambio demográfico, el desarrollo social y económico, el cambio tecnológico, el uso de los recursos o la gestión de la contaminación. Hay que recalcar que ninguno de los escenarios del conjunto contiene las políticas adecuadas que aborden explícitamente el cambio climático. ([Panel intergubernamental de expertos sobre el cambio climático \(IPCC\), 2000](#))



**Figura 1:** Ilustración esquemática de los escenarios SRES.

Fuente: IPCC (2000)

Muchos de los estudios realizados sobre predicciones de temperatura y precipitación por el cambio climático, están contrastados a través de estas familias de escenarios

que elaboró el IPCC en el año 2000 en su “Informe Especial de Escenarios de Emisiones”. A lo largo del presente TFG se expondrán las predicciones climáticas de los territorios en estudio, basándose en estudios realizados sobre varios de estos escenarios de emisiones.

Cada una de las líneas evolutivas se basa en una dirección concreta de los acontecimientos futuros de una forma muy desigual, de esta manera las cuatro líneas difieren con un grado de irreversibilidad creciente. En su conjunto, muestran futuros divergentes que cuben una parte importante de las incertidumbres naturales a las principales fuerzas determinantes. Para entender en qué modelo de sociedad están basadas estas cuatro líneas evolutivas, a continuación se realiza una pequeña descripción:

#### Familia A1:

Contempla un futuro mundo con un rápido crecimiento económico, una población mundial que alcanza su valor máximo hacia mediados de siglo y disminuye posteriormente, y una rápida introducción de tecnologías nuevas y más eficientes. Las características principales son la convergencia entre regiones, la creación de capacidad y el aumento de las interacciones culturales y sociales, acompañadas de una notable reducción de las diferencias regionales en cuanto a ingresos por habitante. La familia de escenarios A1 se desarrolla a su vez, en tres grupos que describen direcciones alternativas del cambio tecnológico en el sistema de energía. Los tres grupos A1 se diferencian en su orientación tecnológica:

- Utilización intensiva de combustibles de origen fósil (A1FI)
- Utilización de fuentes de energía no de origen fósil (A1T)
- Utilización equilibrada de todo tipo de fuentes (A1B).

De forma general podría decirse que esta familia describe seguramente uno de los peores escenarios posibles a la hora de maximizar los efectos del cambio climático. Concretamente, la subfamilia A1FI, constata la utilización intensiva de combustibles de origen fósil, principales generadores de GEI y contribuyentes sustanciales al calentamiento del planeta.

#### Familia A2:

Describe un mundo muy heterogéneo. Sus características más distintivas son la autosuficiencia y la conservación de las identidades locales. Las pautas de fertilidad en el conjunto de las regiones convergen muy lentamente, con lo que se obtiene una población mundial en continuo crecimiento. Las regiones son motores del desarrollo

económico y del crecimiento económico por habitante. Además el cambio tecnológico está más fragmentado a nivel mundial y es más lento que en otras líneas evolutivas.

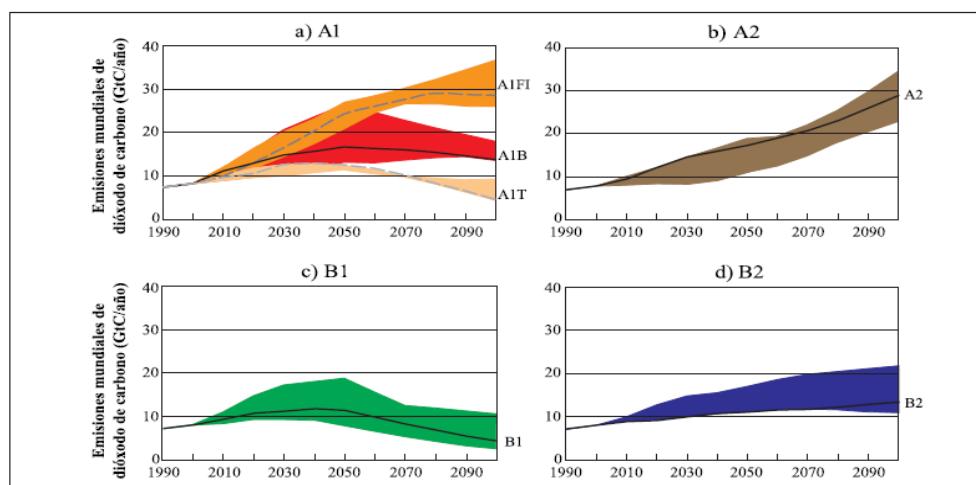
#### Familia B1:

Se describe un mundo convergente con una tendencia poblacional similar a la línea evolutiva A1, es decir, alcanza un máximo hacia mediados del siglo y desciende posteriormente, pero con rápidos cambios de las estructuras económicas orientados a una economía de servicios y de información, acompañados de una utilización menos intensiva de los materiales y de la introducción de tecnologías limpias con un aprovechamiento eficaz de los recursos. En esta familia se da prioridad a las soluciones de orden mundial encaminadas a la sostenibilidad económica, social y medioambiental, así como a una mayor igualdad, pero en ausencia de iniciativas adicionales en relación con el clima.

#### Familia B2:

La familia de líneas evolutivas y escenarios B2 describe un mundo en el que predominan las soluciones locales a la sostenibilidad económica, social y medioambiental. Es un mundo cuya población aumenta progresivamente a un ritmo menor que en A2, con unos niveles de desarrollo económico intermedios, y con un cambio tecnológico menos rápido y más diverso que en las líneas evolutivas B1 y A1. Aunque este escenario está también orientado a la protección del medio ambiente y a la igualdad social, se centra principalmente en los niveles local y regional. ([IPCC, 2000](#))

Para una mejor interpretación de los escenarios citados anteriormente es necesario conocer las predicciones de emisiones de GEI a las que van asociados, especialmente emisiones las de dióxido de carbono, principal gas responsable del cambio climático, en el próximo siglo. En la figura siguiente se observan las previsiones de emisión de CO<sub>2</sub> asociadas a las cuatro líneas evolutivas descritas.

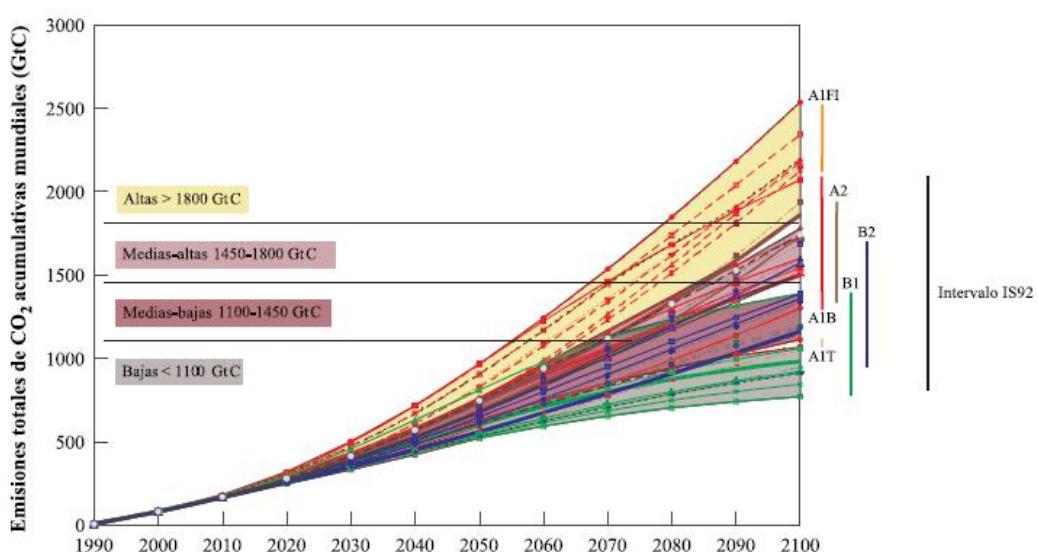


**Figura 2:** Emisiones anuales totales de CO<sub>2</sub> provenientes de todas las fuentes (energía, industria y cambio de uso de las tierras) entre 1990 y 2100 (en GtC/año) para las familias y los seis grupos de escenarios.

Fuente: IPCC (2000)

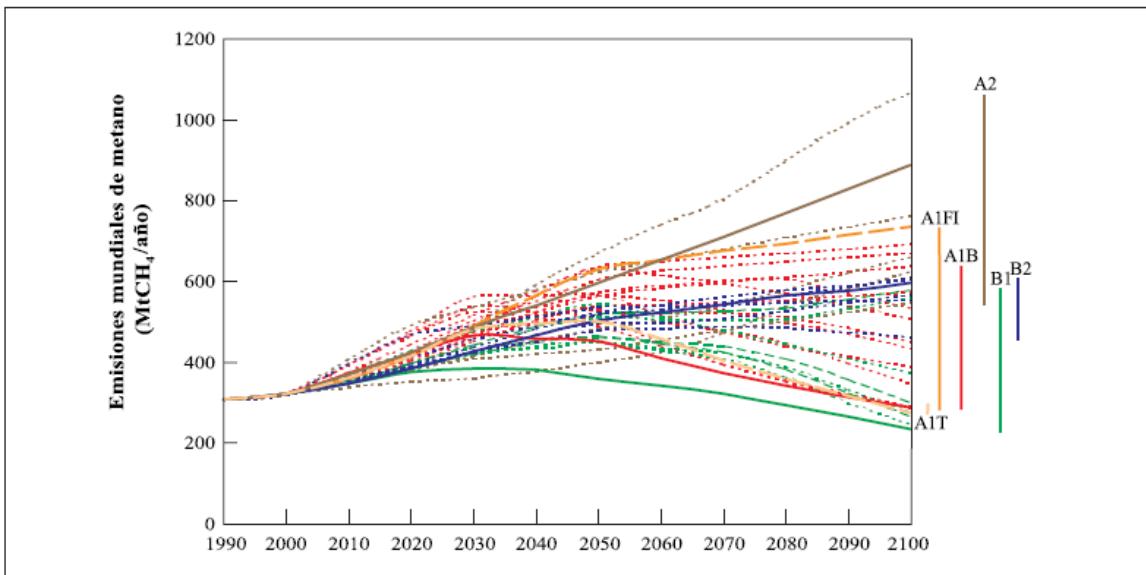
Como se observa, las familias evolutivas "A" son las que contemplan mayores incrementos de CO<sub>2</sub> excepto la línea evolutiva A1T que no prevé la utilización de fuentes de energía de origen fósil. Sin embargo, las familias evolutivas "B" serían las que prevén un desarrollo económico y social con generación de bajos niveles de dióxido de carbono, lo cual indica que A1T, B1 y B2 serían los escenarios más ideales de cara a minimizar los efectos del cambio climático en el planeta.

Pero el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) no solo es el único GEI importante que se produce en estos escenarios, el metano (CH<sub>4</sub>) y el óxido de nitroso (N<sub>2</sub>O) también se producen en estas familias de escenarios contribuyendo al calentamiento de la atmósfera, aunque eso sí, no en cantidades tan relevantes como se observa en las siguientes figuras.



**Figura 3:** Emisiones totales de CO<sub>2</sub> acumulativas mundiales (GtC) desde 1990 hasta 2100 según escenario SRES de emisiones  
**Fuente:** IPCC (2000)

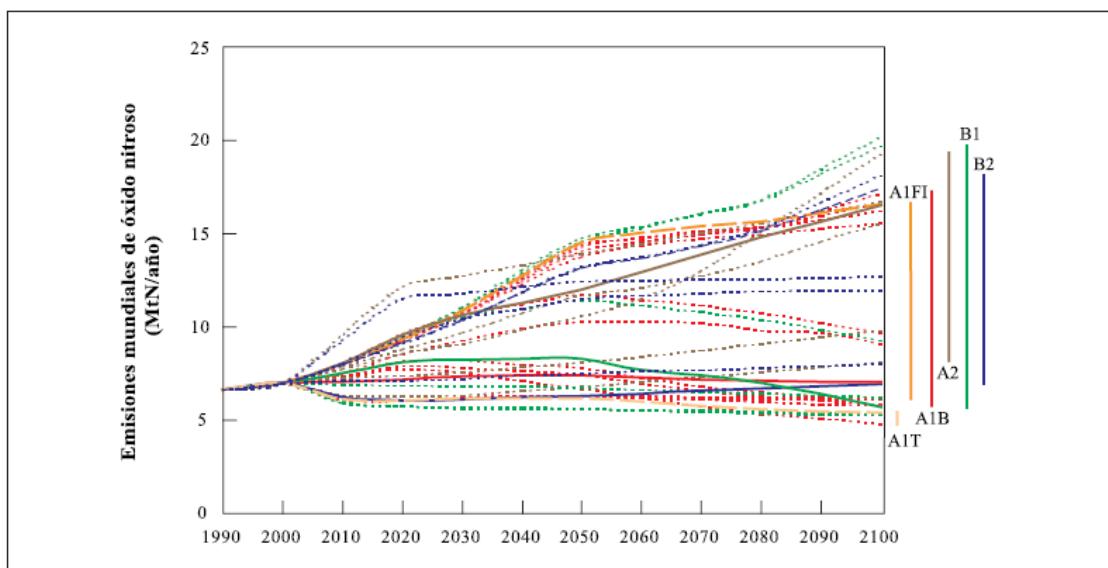
Como se puede comprobar, la familia A1FI y la familia A2 son los escenarios de mayores emisiones y, por tanto, se deduce que son los escenarios menos favorables en cuanto a la lucha contra el cambio climático. A pesar de los esfuerzos de la sociedad por ir a escenarios menos contributivos en cuanto a CO<sub>2</sub> se refiere como A1T o B1, las predicciones de la cantidad de emisiones acumulativas de CO<sub>2</sub> hacia 2100 serán sumamente altas respecto a la actualidad. Ciento es que la diferencia entre los "peores" escenarios y los "mejores" es abismal, pues si la sociedad toma el rumbo hacia un escenario A1FI la cantidad de CO<sub>2</sub> respecto a la actualidad, crecería de un modo exponencial.



**Figura 4:** Emisiones totales de metano ( $\text{CH}_4$ ) acumulativas mundiales (GtC) desde 1990 hasta 2100 según escenario SRES de emisiones

Fuente: IPCC (2000)

Se observa que las emisiones de gas metano crecen pero no de una manera tan brusca como las de  $\text{CO}_2$ . De las familias de escenarios contempladas, se observa que todas ellas predicen un crecimiento similar en las emisiones de metano con una desviación típica e incertidumbre muy grande. Parece que el escenario A2 sería el que más aumentaría las emisiones de este gas invernadero.



**Figura 5:** Emisiones normalizadas (con arreglo a los valores comunes para 1990 y 2000) anuales mundiales de óxido nitroso para los escenarios IE-EE (en  $\text{Mtn/año}$ ) según escenario SRES de emisiones

Fuente: IPCC (2000)

En cuanto al óxido nitroso, la incertidumbre es muy grande en cualquiera de las familias descritas, no hay una familia concreta a las que se les atribuyan mayores emisiones. La desviación típica de los escenarios es muy grande, aunque todos coinciden que habrá un incremento leve de las emisiones respecto a la actualidad.

En conclusión, las concentraciones atmosféricas de los gases de efecto invernadero, a saber, el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), el metano ( $\text{CH}_4$ ) y el óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), han aumentado desde 1750 debido a la actividad humana. En 2011, las concentraciones de estos gases de efecto invernadero eran de 391 ppm, 1.803 ppm y 324 ppm, respectivamente, valores que excedían los niveles preindustriales en aproximadamente el 40%, el 150% y el 20%, respectivamente.

Las concentraciones de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  y  $\text{N}_2\text{O}$  superan hoy considerablemente las concentraciones más altas registradas en los núcleos de hielo correspondientes a los últimos 800.000 años. Existe un nivel de confianza muy alto en cuanto a que las tasas promedio de aumento de las concentraciones atmosféricas durante el siglo pasado no han tenido precedentes en los últimos 22.000 años. [\(IPCC, 2013\)](#)

Trece años después de la elaboración del informe especial de emisiones del IPCC, se ha publicado el quinto informe de evaluación del IPCC, conocido como AR5. En este informe se vuelven a definir escenarios de emisiones pero esta vez son nuevos. Salen a la luz cuatro escenarios de emisión nuevos, elaborados por este comité científico, las denominadas **Trayectorias Representativas de Concentración** (RCP, de sus siglas en inglés).

Con estos nuevos escenarios de emisiones se han elaborado escasos estudios de predicción sobre cambio climático, debido a la cercana publicación del AR5 en cuanto a tiempo se refiere, no ha habido tiempo material para que organizaciones científicas como comités de expertos, universidades etc. promovidas por instituciones públicas, elaboren documentos de cierta relevancia basados en los nuevos escenarios. Por tanto, los estudios que se exponen en el siguiente TFG van a estar orientados hacia escenarios de emisiones de las familias evolutivas que el IPCC publicó en el año 2000, y no de los nuevos escenarios publicados en el AR5.

El principal factor que condiciona los distintos escenarios de emisión son los gases de efecto invernadero (GEI) y supone el principal punto de estudio a la hora de trabajar con un escenario u otro. Aunque los GEI son los forzamientos principales, no son los únicos y cada escenario engloba características sociales y económicas propias. [\(Fundación para la Investigación del Clima \(FIC\), 2009\)](#)

Los nuevos escenarios se identifican por su Forzamiento Radiativo (FR) total para el año 2100 que varía desde 2,6 a 8,5 W/m<sup>2</sup>. Los escenarios de emisión utilizados en el AR4 (denominados SRES, de sus siglas en inglés) que son los vistos en la **figura 1** no contemplan los efectos de las posibles políticas o acuerdos internacionales tendentes a mitigar las emisiones, representando posibles evoluciones socio-económicas sin restricciones en las emisiones. Por el contrario, las novedades de estos nuevos RCP pueden contemplar los efectos de las políticas orientadas a limitar el cambio climático del presente siglo XXI. ([OECC, 2013](#))

	FR	Tendencia del FR	[CO <sub>2</sub> ] en 2100
RCP2.6	2,6 W/m <sup>2</sup>	decreciente en 2100	421 ppm
RCP4.5	4,5 W/m <sup>2</sup>	estable en 2100	538 ppm
RCP6.0	6,0 W/m <sup>2</sup>	creciente	670 ppm
RCP8.5	8,5 W/m <sup>2</sup>	creciente	936 ppm

**Figura 6:** Trayectorias Representativas de Concentración (RCP)

Fuente: OECC (2013)

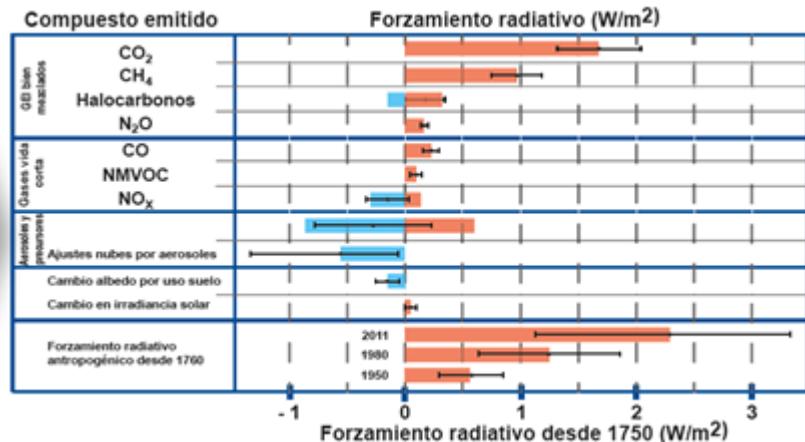
En las Trayectorias Representativas de Concentración se comenta el término “Forzamiento radiativo” el cual ha sido utilizado por el IPCC con el sentido específico de una perturbación externa impuesta al balance radiativo del sistema climático de la Tierra, que puede conducir a cambios en los parámetros climáticos. La definición exacta es:

*“Cambio en la irradiación neta vertical (expresada en Wm<sup>-2</sup>) en la tropopausa debido a un cambio interno o un cambio en el forzamiento externo del sistema climático (por ejemplo, un cambio en la concentración de dióxido de carbono o la potencia del Sol). ”*

*“Normalmente el forzamiento radiativo se calcula después de permitir que las temperaturas estratosféricas se reajusten al equilibrio radiativo, pero manteniendo fijas todas las propiedades troposféricas en sus valores sin perturbaciones”.*

[\(Wikipedia, 2015\)](#)

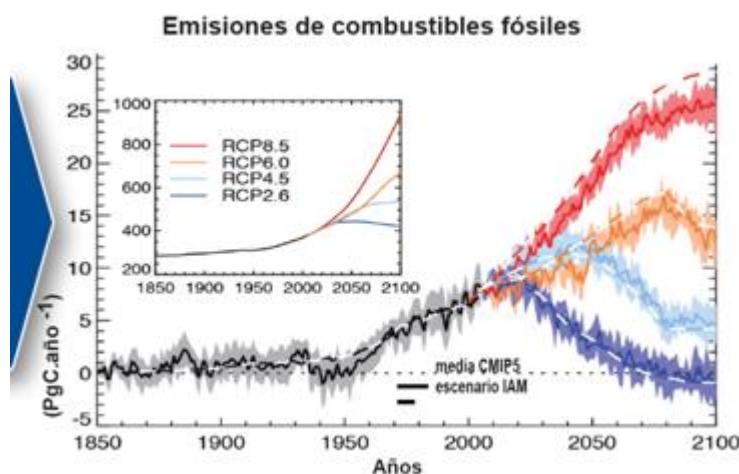
Por tanto, vista la anterior definición, la **figura 6** se basa en un incremento del FR en este caso, debido a un cambio externo del sistema climático, es decir, un cambio de concentración de CO<sub>2</sub>, con lo que el forzamiento radiativo es positivo aumentando acorde con el incremento del nivel de CO<sub>2</sub> en la atmósfera u otros GEI. En la siguiente figura se puede ver el FR de diferentes gases y compuestos desde el inicio de la revolución industrial.



**Figura 7:** Contribución de diferentes factores al forzamiento radiativo terrestre  
(En  $\text{W/m}^2$ )

**Fuente:** OECC (2013)

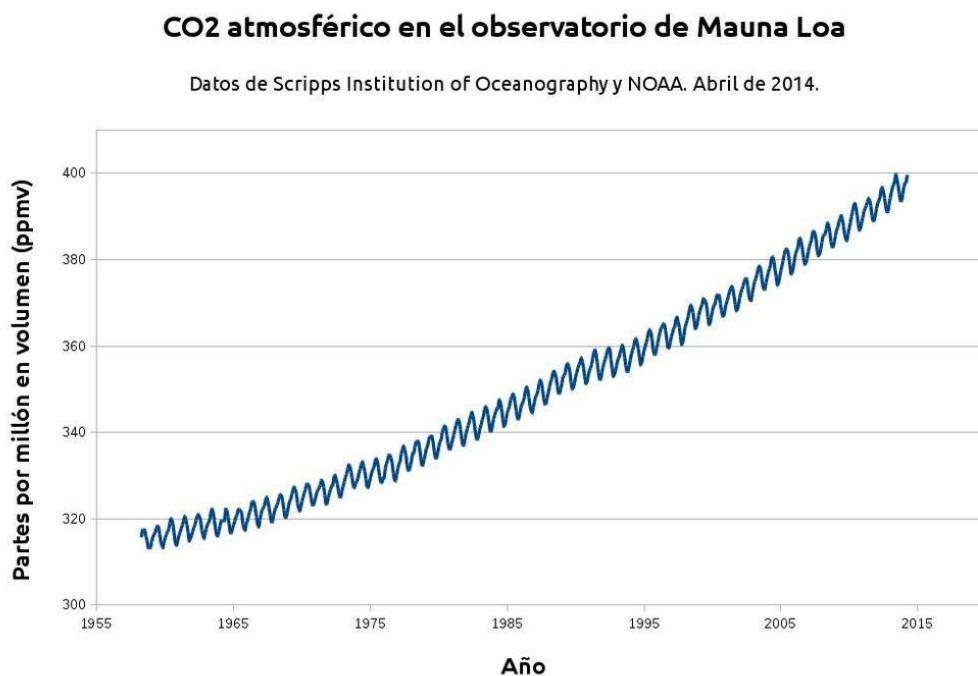
Como es bien sabido, el carácter antropogénico de este forzamiento es indudable. El  $\text{CO}_2$  es el mayor generador de forzamiento radiativo positivo debido en las grandes cantidades que ha sido expulsado a la atmósfera fundamentalmente por actividades referidas a quema indiscriminada de combustibles fósiles. En el siguiente gráfico se ve la clara relación entre los peores escenarios y un aumento de emisiones por la quema de combustibles fósiles.



**Figura 8:** Evolución mundial de las emisiones procedentes de combustibles fósiles  
**Fuente:** OECC (2013)

Como se ha descrito en las figuras anteriores, el FR de los GEI no ha parado de crecer en el planeta y eso se debe a un aumento de sus concentraciones en la atmósfera. El  $\text{CO}_2$  se sabe que ha crecido su concentración desde el período de la revolución industrial. Sin embargo, los datos más fiables se tienen desde los últimos cincuenta años en el momento que aparecieron las tecnologías de medición de estos gases, y el nivel tecnológico ayudó en la toma de muestras atmosféricas. Uno de los observatorios más famosos de análisis de la concentración del  $\text{CO}_2$  atmosférico en

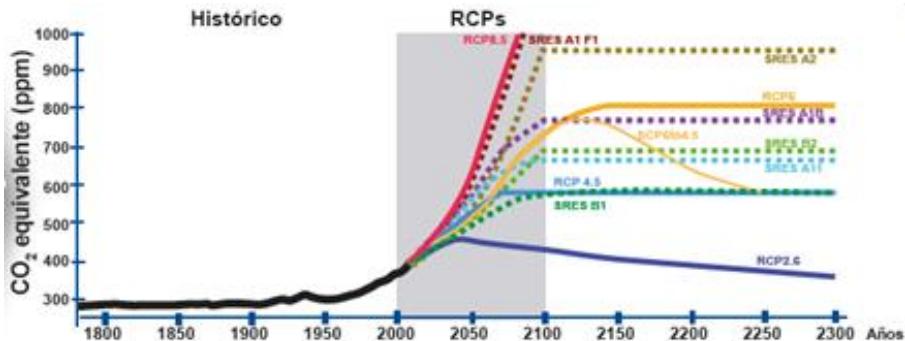
Mauna Loa, Hawái (EEUU). La siguiente figura es una gráfica llamada curva *Keeling* que representa los cambios en la concentración atmosférica de dióxido de carbono en España desde 1958.



**Figura 9:** Evolución reciente de la concentración de CO<sub>2</sub> (ppm) en la atmósfera (Curva *Keeling*)  
**Fuente:** Wikipedia (2015)

A través de la curva *Keeling* (figura 9) se muestra claramente el incremento sostenido de los niveles de dióxido de carbono en la atmósfera desde el año 1958 hasta el 2010. En los últimos cincuenta años la concentración no ha parado de aumentar siendo en un principio de poco más de 300 ppm y llegar según datos del 2015 a superar la barrera de los 400 ppm, es decir, un 0,04% de concentración atmosférica. Por tanto, en algo más de cincuenta años, la cantidad de CO<sub>2</sub> ha aumentado en 80 ppm, de seguir en la misma línea, para el año 2100 habría 150 ppm más que en la actualidad, es decir, 550 ppm que según las Trayectorias Representativas de Concentración superaría el escenario 4.5, un escenario “moderado”.

Para relacionar la concentración de CO<sub>2</sub> equivalente entre los nuevos escenarios de emisión del AR5 (RCP) y los escenarios (familias evolutivas SRES) dados por el IPCC en el año 2000 se explica en la siguiente figura.



**Figura 10:** Concentración de CO<sub>2</sub> equivalente para distintos escenarios de emisión

Fuente: OECC (2013)

El escenario RCP 8.5 de “máximas emisiones” iría ligado con la familia SRES A1FI que sería aquella que prevé un modelo de sociedad desarrollado a partir de utilización masiva de combustibles de origen fósil. Los escenarios RCP 4.5 y 6.0 englobarían la práctica totalidad de las familias evolutivas SRES. El RCP 2.6, que incluso, prevé un retroceso de la concentración de CO<sub>2</sub>, no se aproxima a ninguna de las familias SRES. Los escenarios RCP 2.6 y 8.5 seguramente son los más improbables, el primero debido a que no va a haber una disminución de la actividad humana radical para que se mantengan los niveles de concentración de dióxido de carbono que hay actualmente, y el segundo también lo es ya que se prevé que la sociedad avance hacia una utilización de energías limpias y una progresiva disminución de combustibles fósiles.

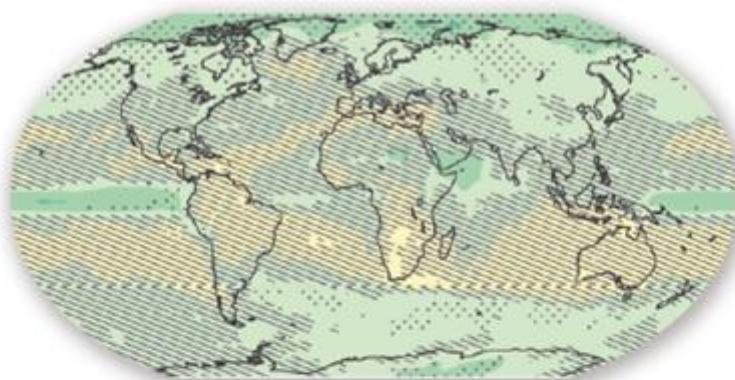
Las emisiones continuadas de GEI causan un calentamiento adicional al actualmente existente. Unas emisiones iguales a las tasas actuales o superiores inducirán cambios en todos los componentes del sistema climático, algunos de ellos sin precedentes en cientos o miles de años. Los cambios tendrán lugar en todas las regiones del globo, incluyendo cambios en la tierra y el océano, en el ciclo del agua, en la círosfera, en el nivel del mar, en algunos episodios extremos y en la acidez de los océanos. Muchos de estos cambios persistirán durante muchos siglos. **La limitación del cambio climático requerirá reducciones substanciales y sostenidas de las emisiones de CO<sub>2</sub>.**

Las proyecciones para las próximas décadas de muchas magnitudes muestran cambios similares a los ya observados. **El cambio climático proyectado basado en las Trayectorias Representativas de Concentración es similar al mostrado en el AR4. (OECC, 2013)**

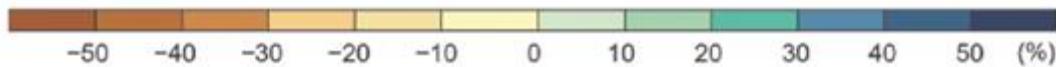
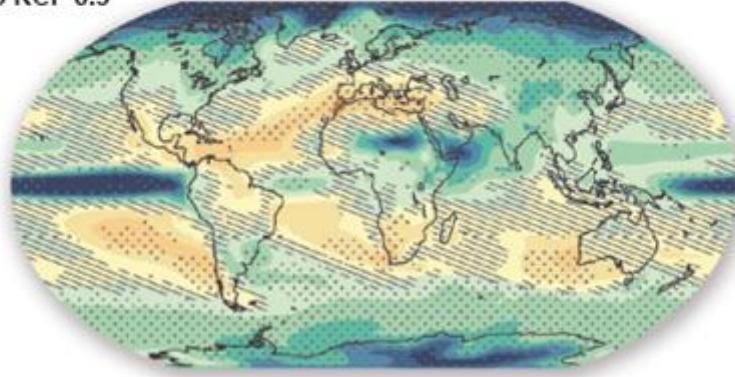
## 5.2 Evolución de la precipitación en el planeta y en Europa

Según el informe de evaluación AR5 la variación de precipitación media en el planeta sería según los escenarios de emisión RCP 2.6 y 8.5, es decir, el escenario de menos emisiones y el de máximas emisiones, de la manera que se indica en la figura que viene a continuación.

**Escenario RCP 2.6**



**Escenario RCP 8.5**



**Figura 11:** Cambio de precipitación media mundial según RCP 2.6 y RCP 8.5  
(Diferencia entre los períodos de 1986-2005 y 2081-2100)

**Fuente:** IPCC (2013)

Como se ha comentado en los apartados anteriores, estos dos escenarios son bastante improbables, ya que parece difícil que en el 2100 haya 421 ppm de CO<sub>2</sub> según la RCP 2.6 (actualmente supera los 400 ppm) o que haya más de 1000 ppm a final de siglo, como sucede en el RCP 8.5. Sin embargo, esta figura va muy bien a la hora de analizar el comportamiento de la precipitación a nivel mundial comparando estos dos escenarios, ya que así se puede predecir un escenario de emisiones intermedias, que es el que seguramente se dará (ya sea alguno que se parezca a un RCP 4.5 o 6.0).

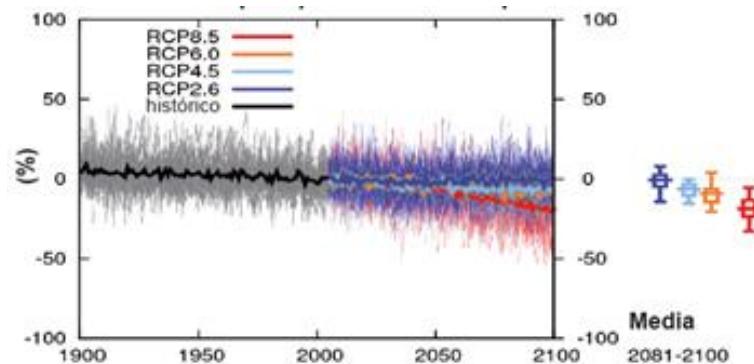
Si nos fijamos en la **figura 11** concretamente en el escenario RCP 2.6 vemos unos cambios de precipitación media muy tenues en comparación con el escenario de máximas emisiones (RCP 8.5) en el cual las desigualdades de precipitación entre regiones mundiales se disparan.

Se pueden hacer dos observaciones de aumento y disminución de precipitaciones. Mientras que tanto en las zonas ecuatoriales como en las zonas polares las precipitaciones aumentan, en las zonas tropicales y latitudes medias disminuyen. La radiografía se ve muy bien en el continente europeo ya que mientras en el norte de Europa (países escandinavos, islas británicas) las precipitaciones aumentan, la zona mediterránea que es la que se encuentra en el Sur de Europa (península ibérica, itálica, islas griegas), registrará unos mayores descensos de precipitación. Se podría decir que cuanto más ascendemos o descendemos de latitud en el continente europeo las diferencias en futuras cantidades de precipitaciones a final de siglo, se agravarán.

Lo que se puede sacar en claro de la anterior figura es que a nivel europeo van a producirse cambios significativos en el régimen de precipitaciones aunque no se sabe con certeza como serán, ya que va a depender del escenario de emisiones que se produzca.

En el presente TFG se pretende estudiar los cambios de precipitaciones producidos en Aragón así como las predicciones de los modelos más actualizados sobre final de siglo. A escala europea, se ha visto como hay dos regiones bien diferenciadas, la norte y la Sur. Aragón se sitúa en la región mediterránea, dentro de la Península Ibérica.

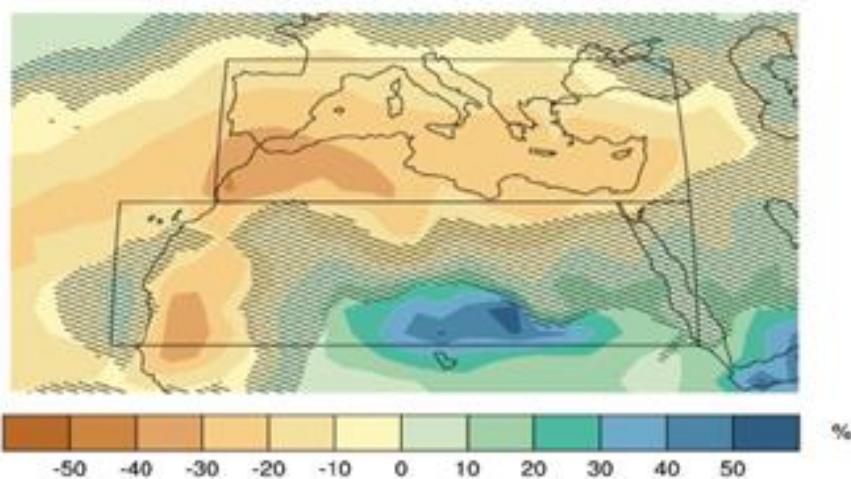
Según el informe de evaluación AR5, dependiendo de los nuevos escenarios de emisiones que se tomen, hay una reducción de las precipitaciones en el sur de Europa, es decir, en los países que son bañados por el Mediterráneo. Según la figura siguiente, la incertidumbre aun así, es muy grande por tanto la desviación típica también lo es.



**Figura 12:** Cambio estimado de la precipitación anual media en el sur de Europa y la Región Mediterránea para distintos escenarios de emisión.

Fuente: OECC (2013)

Según la **figura 12** no hay un claro cambio en la precipitación en el sur de Europa. Todo apunta a que las precipitaciones van a disminuir pero con matices. Tanto en los escenarios 2.6; 4.5; y 6.0 las precipitaciones disminuyen muy ligeramente (menos de un 10%) sin haber una progresividad si subimos a escenarios de emisiones más altos. En el escenario 8.5 las precipitaciones sí se desmarcan de los anteriores escenarios hacia una menor precipitación de forma clara, en torno al 25% de la del periodo actual. Dicho escenario se puede ver de manera más nítida en la siguiente figura:



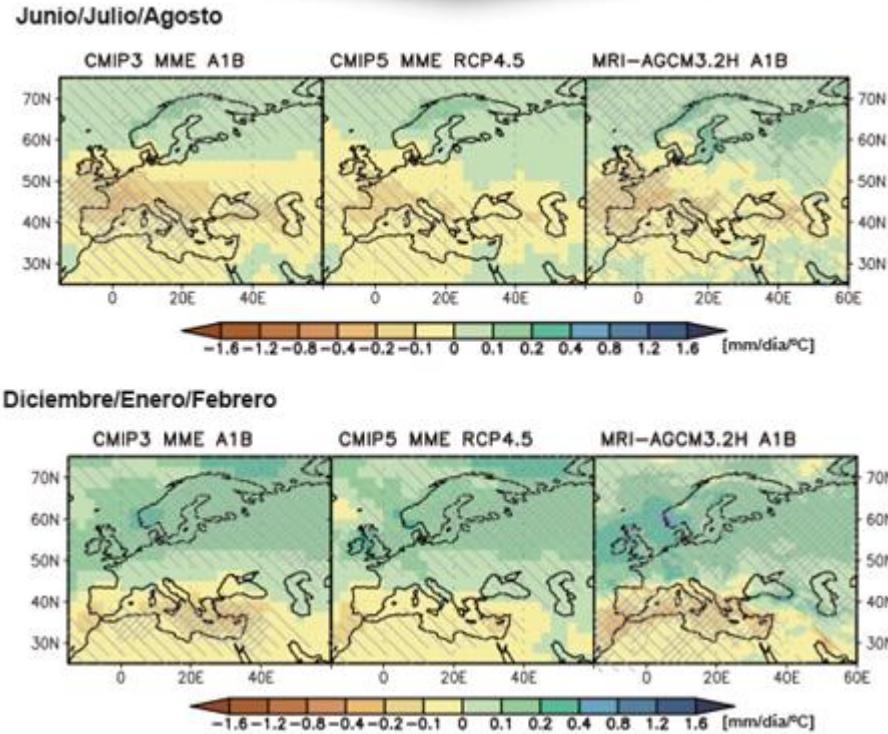
**Figura 13:** Cambio estimado de la precipitación anual media para finales del siglo XXI (promedio entre 2081 y 2100) respecto a la actualidad (promedio entre 1986 y 2005) para el escenario RCP 8.5.

**Fuente:** OECC (2013)

Se observa como las zonas más al sur de la región mediterránea tendrían los descensos pluviométricos más grandes, concretamente las zonas más cercanas al continente africano como pueden ser el sur de la península Ibérica contemplarían los mayores descensos de lluvia.

Tras ver que el último informe del IPCC deja claro los cambios de precipitaciones en el continente europeo, a continuación se va a comparar con otros informes y modelos realizados para ver si efectivamente coinciden o no con el AR5. Los elegidos han sido el AR4, anterior informe de evaluación del IPCC y un ENSEMBLE basado en un modelo MRI con alta resolución. Este último es un proyecto europeo que ha protagonizado la investigación en cambio climático del 6º Programa Marco de la Unión Europea.

[\(FIC, 2009\)](#)



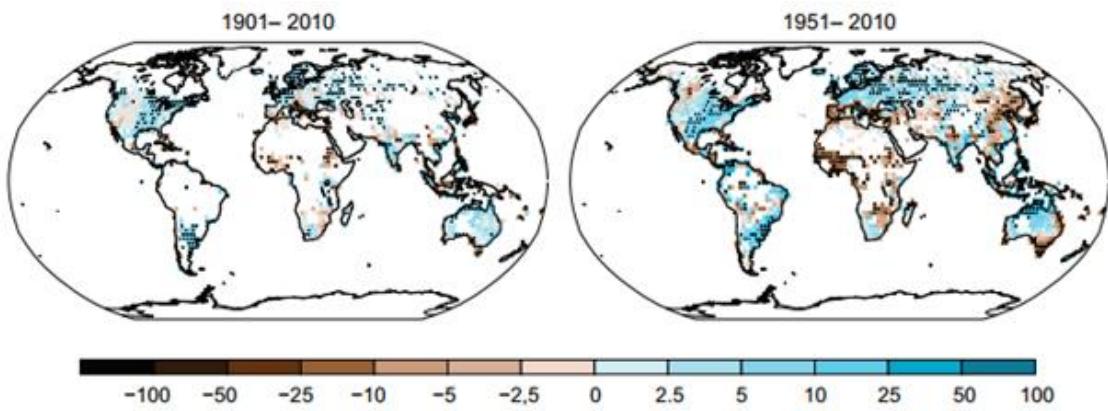
**Figura 14:** Cambio estimado (2081-2100 respecto 1986-2005) de la precipitación estival (gráfico superior) e invernal (gráfico inferior) estimada por el AR4 (izquierda), el AR5 (centro), y por un ensemble basado en un modelo (MRI) con alta resolución.

**Fuente:** OECC (2013)

Como se ha dicho anteriormente, la figura anterior es muy interesante ya que compara los futuros escenarios del periodo 2081-2100 en Europa sobre los cambios en precipitaciones en tres informes, el AR4, AR5 y por un ensemble basado en un modelo (MRI) con alta resolución. Se observa como la disminución de la precipitación en los meses invernales es marcadamente menor que la disminución en los meses estivales, además, todos los modelos coinciden en una disminución de precipitación en el sur de Europa y un aumento de la misma en latitudes más altas, a pesar de que todavía no puede proyectar con gran confianza si las trayectorias de las tormentas van a cambiar.

Según el AR5 y de un modo general, en toda Europa los inviernos serán, más húmedos y los veranos más secos. Además, habrá diferencias de cambio en toda Europa, con condiciones más secas en el sur de Europa y más húmedas en el norte de Europa. ([Norwegian Meteorological Institute, 2013](#))

Las predicciones del IPCC sobre el presente siglo indican en Europa una disminución de las cantidades de lluvia en la región mediterránea. Sin embargo, es necesario conocer qué ha ocurrido en estos últimos años para valorar las predicciones futuras. Tal como recoge la figura siguiente, a nivel mundial ha habido descensos y ascensos de precipitación muy repartidos en todas las partes del mundo.



**Figura 15:** Cambios observado en la precipitación anual sobre el planeta entre los períodos 1901 y 2010, y entre 1951 y 2010 (en mm/año por decenio)

Fuente: IPCC (2013)

Al igual que pronosticaban las predicciones hacia los últimos veinte años del presente siglo, lo que ya ha ocurrido ofrece un diagnóstico parecido. En el último medio siglo, ha disminuido la cantidad de lluvia en el sur de Europa y por el contrario ha aumentado en el norte, diferencias que se acentúan más si estudiamos solo los últimos sesenta años tal como recoge la **figura 15**.

A nivel mundial, hay muchas más zonas que han aumentado sus precipitaciones respecto zonas que han bajado sus promedios; y es que como se ve, las lluvias tienden a aumentar en un mundo más cálido. En conclusión, el calentamiento global afecta lo más probablemente al ciclo hidrológico, principalmente en términos de aumento de las tasas de evaporación asociada con la temperatura más alta. Las desigualdades entre territorios se acentúan. ([IPCC, 2013](#))

La utilización de múltiples modelos conjuntos de proyecciones climáticas, muestran aumentos de lluvia en promedio a nivel mundial a lo largo del siglo XXI. Sin embargo, los escenarios de precipitación muestran un fuerte desfase, entre regiones y diferencias anuales. En Europa, existe un marcado contraste entre el cambio futuro de precipitación entre el invierno y el verano. Se espera que los inviernos sean más húmedos en todo el continente a excepción de la región del Mediterráneo, en muchos lugares menos nieve y más lluvia, mientras que en verano, el norte de Europa será más húmedo, y por el contrario, el sur de Europa, será más seco, según lo que se proyecta. ([Norwegian Meteorological Institute, 2013](#))

A pesar de que múltiples modelos auguren aumentos de precipitación en promedio a nivel mundial hacia final del siglo XXI, hay un nivel de confianza medio en que las sequías se intensifiquen en el siglo XXI en algunas zonas y estaciones del año, debido a la disminución de las precipitaciones y/o al aumento de la evapotranspiración. Es el caso de las regiones del **sur de Europa y la zona mediterránea**, Europa central, la zona central de América del Norte, América Central y México, el noreste de Brasil y África

meridional. Los aspectos relativos a las definiciones, la falta de suficientes datos de observación y la imposibilidad de que los modelos incluyan todos los factores que influyen en las sequías impiden asignar un nivel de confianza superior al medio en las proyecciones sobre las mismas.

### 5.3 Eventos hidrometeorológicos extremos en Europa

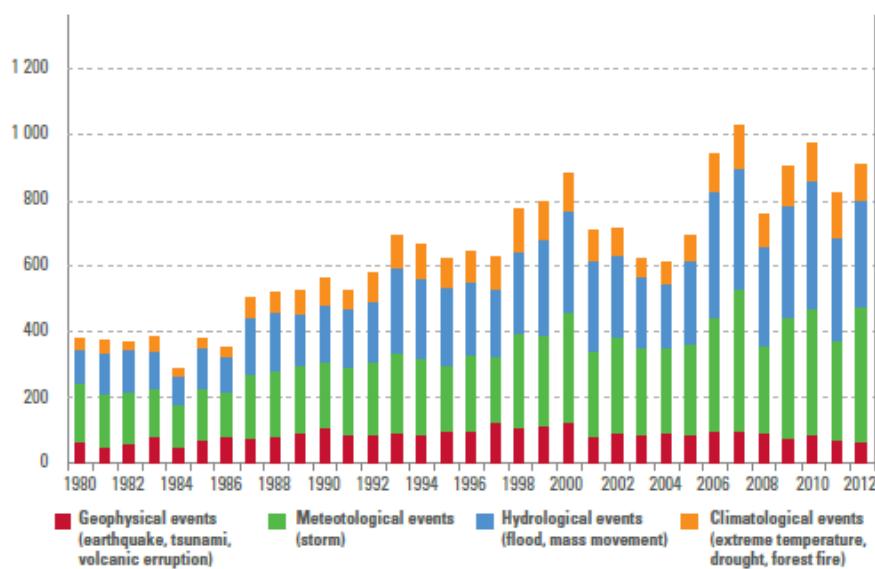
“Los eventos extremos en la naturaleza y la sociedad son, por definición, escasos, pero pueden tener un importante impacto físico y socioeconómico en las personas y países en las regiones afectadas (Albeverio et al., 2006)”. ([Sura P., 2011](#)). A nivel mundial, “es muy probable que los extremos calientes, olas de calor y los eventos de fuertes precipitaciones tenderán a ser más frecuentes”. Esta es una conclusión común a todos los informes de evaluación del IPCC. ([Millán, 2014](#)). Los eventos de precipitaciones extremas para el fin de siglo tienen una tendencia claramente menor que la temperatura. Sin embargo, “los escenarios climáticos proyectados en Europa sugieren una disminución global de precipitación total y un aumento significativo en la duración de períodos de sequía, en particular durante el otoño y la primavera, y un aumento de las precipitaciones intensas (Costa et al., 2011)”. ([Norwegian Meteorological Institute, 2013](#)). Estudios indican que hay alguna evidencia de un aumento general de las observaciones sobre precipitaciones extremas, mientras que no hay indicios claros de tendencias crecientes significativas a mayor escala regional o nacional. Aunque hay evidencia en la literatura científica de las tendencias de precipitación observada extrema y la descarga de inundaciones en los últimos años, el uso de las proyecciones de los modelos climáticos muestra un probable impacto de estos eventos hidrometeorológicos extremos en el siglo XXI en Europa. ([Madsen, Lawrence, Lang, Martinkova, y Kjeldsen, 2014](#))

Lo que sí se conoce con certeza es que habrá de forma más frecuente, eventos de alta intensidad de precipitación (aumento de mm/h) y menos eventos de precipitación moderada o baja en el futuro. “En los últimos 50 años, han aumentado los eventos intensos de precipitación en la mayor parte de regiones extratropicales (Groisman et al., 2005; Trenberth et.al, 2007)”. ([Norwegian Meteorological Institute, 2013](#))

“Es probable que durante el siglo XXI la frecuencia de precipitaciones intensas o la proporción de lluvias totales derivadas de precipitaciones intensas aumente en muchas zonas del mundo”. Sobre todo es el caso de regiones situadas en latitudes septentrionales, y en latitudes tropicales, y en invierno en las latitudes medias del hemisferio norte. ([IPCC, 2012](#))

Además, hay evidencia de que algunos fenómenos climáticos extremos han cambiado como resultado de la influencia antropógena, entre otros, el aumento de las concentraciones atmosféricas de gases de efecto invernadero. Existe un nivel medio de confianza en que la influencia antropógena ha contribuido a intensificar las precipitaciones extremas a escala mundial. ([IPCC, 2012](#))

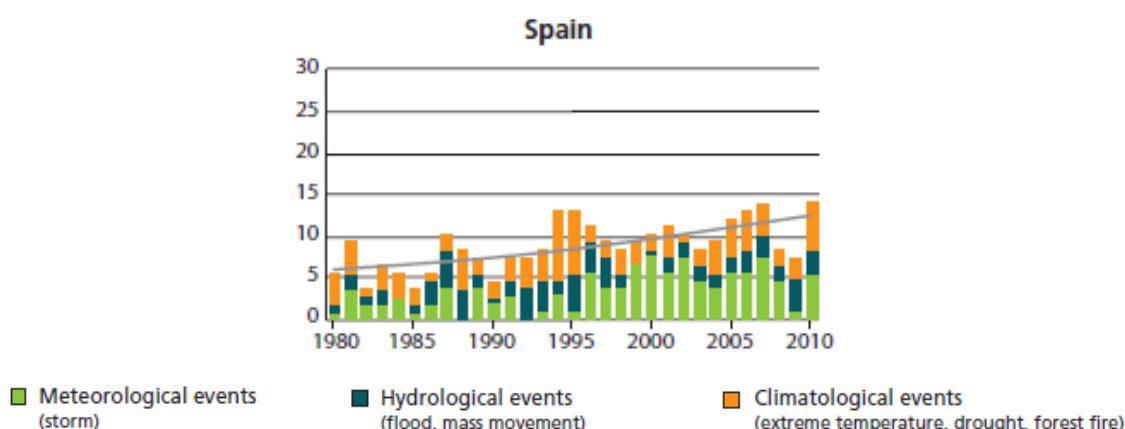
Como puede observarse en la figura siguiente, el número de desastres naturales en el mundo no ha cesado de aumentar desde 1980 hasta la actualidad. Los eventos meteorológicos y climatológicos como son las precipitaciones torrenciales están entre ellos.



**Figura 16:** Número de desastres naturales en el mundo. Período 1980-2010

Fuente: World meteorological organization (2011)

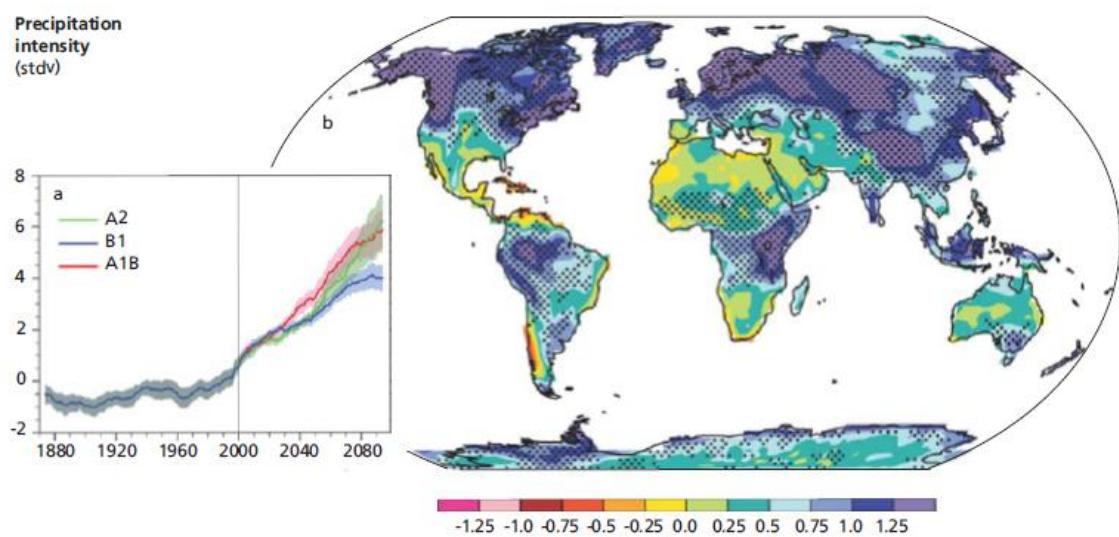
En la siguiente figura se expone lo mismo que en la figura anterior pero a nivel de España y sin los eventos geofísicos. Como se observa se ha notado un leve aumento en el número de desastres naturales en las últimas décadas.



**Figura 17:** Número de desastres naturales en España. Período 1980-2010

Fuente: Norwegian Meteorological Institute (2013)

“Se ha argumentado de manera heurística que los eventos extremos de precipitación se incrementarán durante el cambio climático debido a que la superficie de la Tierra es más caliente y la altura de la troposfera es más baja (Trenberth et al., 2003; Giorgi et al., 2011; Trenberth, 2011)”. Este argumento heurístico se basa en el hecho de que la capacidad de la atmósfera para contener vapor de agua aumenta en un 7% por grado centígrado en que se aumenta la temperatura de la atmósfera. Por tanto, el incremento es mayor para temperaturas más altas. Los aumentos en la humedad del aire alimentan sobre todo tormentas las cuales serán las que descarguen altas cantidades de precipitación en poco tiempo”. ([Norwegian Meteorological Institute, 2013](#))



**Figura 18:** Cambios en los patrones espaciales de intensidad de la precipitación (definida como la precipitación total anual dividido por el número de días de lluvia) sobre la tierra, basado en simulaciones multi-modo de nueve modelos globales del clima, junto

Fuente: Norwegian Meteorological Institute (2013)

En Europa, el aumento de la intensidad de la precipitación domina sobre todo en el norte del continente, esto es debido a un aumento de la temperatura ligado a la ya de por sí zona húmeda que es el norte de Europa. En el sur aumenta el tamaño de los períodos secos mientras que las precipitaciones intensas también aumentan pero de una manera más leve, ya que a pesar de que hay más evaporación, la cantidad de humedad en el aire como en el norte de Europa no es tan alta, esto es debido a que la humedad transportada en esta parte de Europa se debe a regiones remotas del Atlántico Norte. ([Norwegian Meteorological Institute, 2013](#))

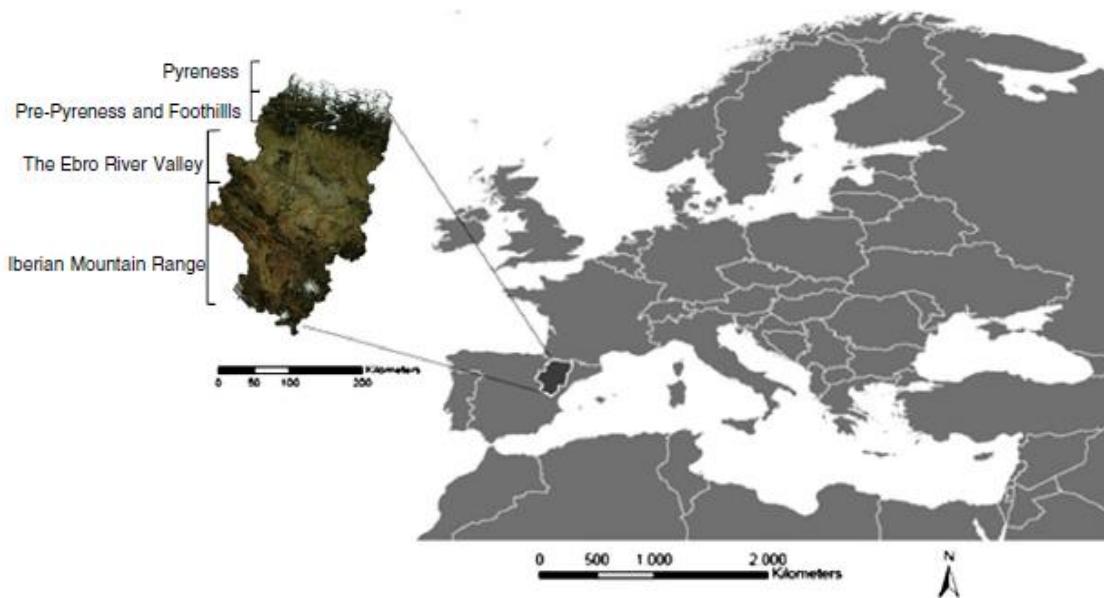
A modo de conclusión y cerrando este capítulo, según el quinto informe de evaluación (AR5) del IPCC, para la Región Mediterránea se pueden hacer las siguientes consideraciones, las cuales serán objeto de estudio sobre el territorio de Aragón:

- Una reducción de la precipitación anual sobre la península Ibérica, que será más acusada cuanto más al sur. Las precipitaciones se reducirán fuertemente en los meses estivales.
- Para el escenario RCP 8.5 y para finales del siglo XXI, la Región Mediterránea experimentará reducciones medias de precipitación de 12% y de 24% en los meses invernales y estivales, respectivamente.
- Un aumento de los extremos relacionados con las precipitaciones de origen tormentoso.

[\(IPCC, 2013\)](#)

## 5.4 La variación de lluvias en Aragón en los últimos 50 años

El área de estudio es el ámbito territorial de la comunidad autónoma de Aragón, que se puede ver en la siguiente imagen:



**Figura 19:** Situación de Aragón sobre el continente europeo  
**Fuente:** Ribalaygua et al. (2013)

El clima en Aragón destaca fundamentalmente por su originalidad. Es fruto por una parte de factores atmosféricos y geográficos comunes al conjunto de la península Ibérica y, circunstancias intrínsecas a la región. El clima está influenciado tanto por la propia atmósfera regional como por la interferencia de rasgos oceánicos y mediterráneos. Pero, los aspectos más sobresalientes del clima de Aragón se relacionan sobre todo con su posición interior dentro de la Península Ibérica, el contrastado relieve entre la montaña y el llano y su especial configuración topográfica.

[\(Quadrat, 2004\)](#)

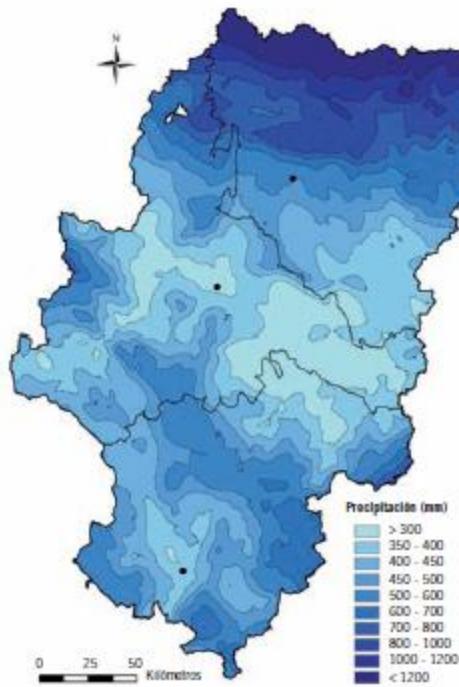
Por su latitud, se encuentra en el límite meridional del dominio templado de la circulación de vientos del Oeste, en contacto con la zona de altas presiones subtropicales. Por ello, buena parte del año, la región está gobernada por los mecanismos propios del área templada, como son la presencia de masas de aire polar y las típicas borrascas atlánticas con sus frentes asociados; mientras que, a medida que se aproximan los meses estivales, se aprecia una disminución de esta influencia y el progresivo dominio de las masas de aire cálido y de las células anticiclónicas de las regiones subtropicales, más concretamente del anticiclón de las Azores. ([Cuadrat, 2004](#))

Dicho lo cual, Aragón, quedaría incluido dentro del denominado clima Mediterráneo continentalizado, caracterizado por unas escasas precipitaciones, localizadas fundamentalmente en primavera y otoño, y un claro ritmo térmico anual, con veranos cálidos e inviernos frescos. ([López, Cabrera, y Cuadrat, 2007](#))

En conjunto, Aragón es un territorio con lluvias poco abundantes (la media anual es tan sólo de 549 mm anuales, frente a los 665 mm anuales de la media española), sujetas a una fuerte irregularidad y con un predominio claro de días sin precipitación. Ésta acusada irregularidad de la distribución pluviométrica en Aragón refleja dos hechos relacionados: la difícil penetración de los frentes atmosféricos y la dependencia constante de la topografía. El promedio anual de lluvias difícilmente alcanza los 400 mm en el interior de la cubeta del Ebro y en las depresiones del Jalón y Jiloca Alcañiz, 381 mm; Calatayud, 336 mm; Teruel, 369 mm). Además, en una amplia franja del sector centro-oriental de Aragón la sequedad es aún más extrema al recibir una precipitación media inferior a los 350 mm (Zaragoza, 315 mm; Fraga, 303 mm; Caspe, 318 mm). ([López et al. 2007](#))

Resulta especialmente destacable el hecho de que más del 60% de Aragón recibe totales anuales de precipitación por debajo de los 500 mm así como que 2/3 del territorio registren valores inferiores a la media de 548,8 mm. Únicamente en el Pirineo y aunque en menor medida también en el Sistema Ibérico las precipitaciones alcanzan valores importantes. Aquí, la decisiva influencia del relieve, favorecedor de las lluvias de inestabilidad y orográficas y la mejor exposición de estas áreas montañosas a los frentes lluviosos, crea un verdadero cinturón húmedo al Norte y Sur de la región, con precipitaciones más cuantiosas. ([López et al. 2007](#))

En absoluto se puede pensar que Aragón constituye un espacio climático homogéneo. Por el contrario, característica fundamental del clima regional son la variedad y los contrastes, porque tan representativa es la sequedad de las estepas que rodean Zaragoza como el intenso frío de los glaciares de los macizos de la Maladeta o el Aneto. ([López et al. 2007](#))



**Figura 20:** Precipitación total anual en Aragón

Fuente: López et al. (2007)

En la figura anterior, se pueden distinguir al menos cuatro grandes zonas:

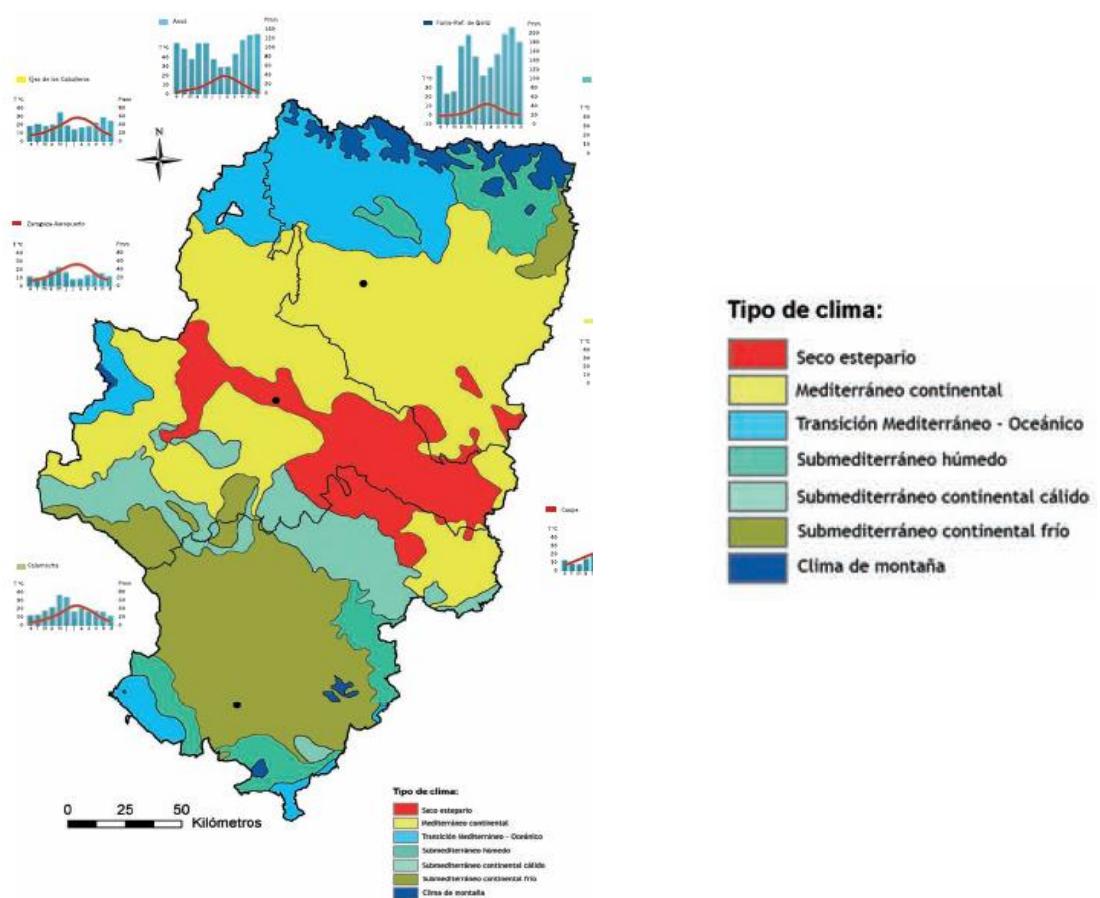
- El centro de la cubeta del Ebro y las depresiones del Jalón y Jiloca son el espacio más seco, con menos de 400 mm anuales de precipitación.
- En los somontanos y hacia los bordes montañosos se produce la gradual y moderada transición entre la sequedad del centro de Aragón y las más altas precipitaciones de los relieves marginales.
- En la cordillera Ibérica las cantidades son mayores, pero por su compartimentación y escasa altitud sólo se aproximan a los 1.000 mm anuales en las vertientes más lluviosas de las sierras del Moncayo o Albarracín.
- Únicamente en el Pirineo las precipitaciones alcanzan valores importantes, por la decisiva influencia del relieve y la mejor exposición a los frentes atmosféricos.

[\(Dirección General de Calidad Ambiental y Cambio Climático del Gobierno de Aragón, Departamento de Medio Ambiente, 2009\)](#)

Si el volumen de precipitaciones recogidas es ya muy significativo para conocer la imagen pluviométrica de Aragón, de mayor interés es conocer el ritmo con que estas se producen, es decir, su distribución y régimen estacional. A la indigencia pluviométrica de buena parte del territorio se une un régimen francamente

equinoccial, con dos cortos períodos de lluvias, primavera y otoño, separados por dos acentuados mínimos, verano e invierno. ([López et al., 2007](#))

La heterogeneidad absoluta de este territorio da lugar a una gran diversidad de climas. Su diversidad topográfica y su situación geográfica dan lugar a una multitud de escenarios climáticos que se pueden observar en la siguiente imagen:



**Figura 21:** División climática de Aragón

Fuente: López et al. (2007)

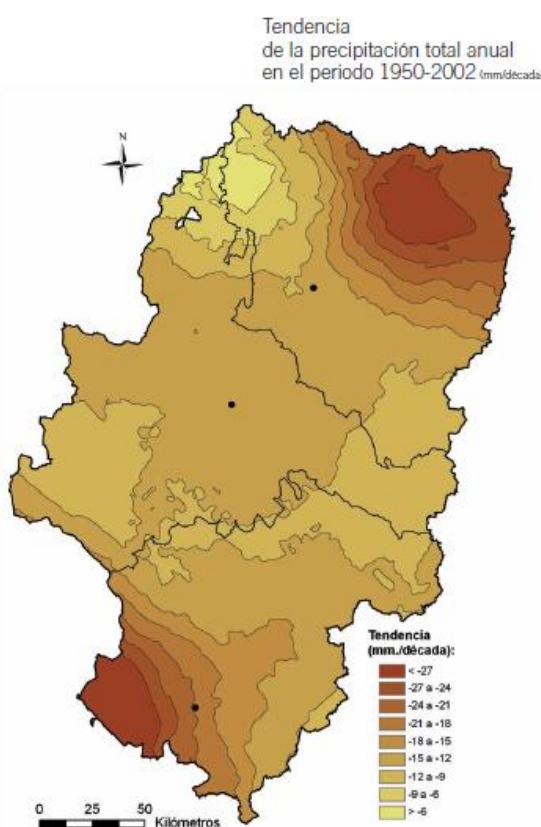
Como se observa, gran parte del territorio presenta un clima árido asociado a regímenes de lluvia anuales escasos. Se puede decir que únicamente se puede decir que cae abundantes precipitaciones en las zonas más al norte de Pirineo y puntos de la serranía ibérica como la Sierra de Gúdar y Javalambre en Teruel, Albarracín, o el Moncayo en Zaragoza.

Como se ha visto anteriormente, el IPCC ha alertado de unas posibles disminuciones de lluvia hacia final de siglo especialmente en la región mediterránea/sur de Europa en la que se encuentra Aragón. Sin embargo, la verificación de este fenómeno en esta región no es fácil debido principalmente a factores como el complejo reparto espacial que muestra la precipitación sobre el

territorio, a las diferencias en cuanto a su reparto estacional y a su notable variabilidad interanual.

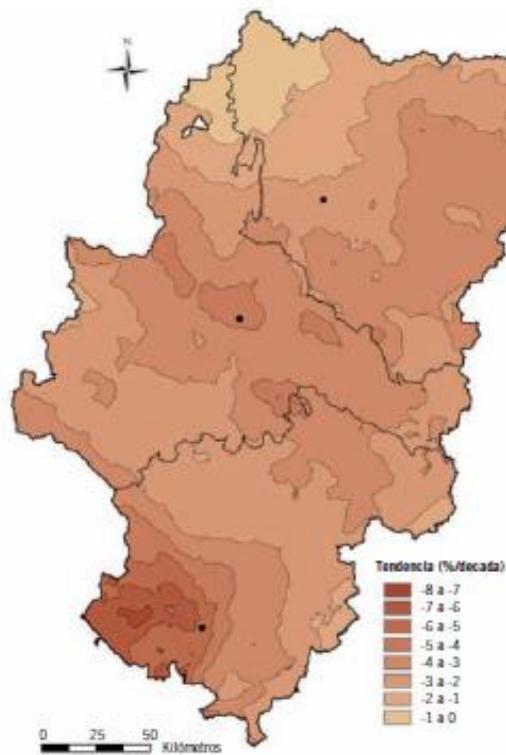
En cualquier caso, la densa red de observatorios utilizados en este atlas y la longitud de las series disponibles ha permitido realizar una cartografía de la tendencia de los totales anuales y estacionales de precipitación, de forma absoluta y porcentual, en Aragón durante la segunda mitad del siglo XX, en concreto en el periodo 1950-2002.

El periodo analizado es más extenso que el utilizado para cartografiar los valores medios de los distintos elementos del clima, teniendo en cuenta la necesidad que existe de observar un fenómeno como las tendencias en periodos más prolongados. Estas tendencias se calculan mediante regresiones lineales, ofreciendo el valor de pendiente de la recta resultante del modelo una cuantificación de la tendencia positiva o negativa que la variable ha experimentado año a año teniendo en cuenta los datos de todo el periodo. Para simplificar la lectura, los mapas se presentan en tendencias absolutas o porcentuales por década.



**Figura 22:** Tendencia de la precipitación en el periodo 1950-2002 (mm/década) respecto a los totales anuales.

Fuente: López et al. (2007)



**Figura 23:** Tendencia de la precipitación en el período 1950-2002 (%/década) respecto a los totales anuales.

**Fuente:** López et al. (2007)

Como se observa en las **figura 22** y **23**, es evidente que ha habido en el último medio siglo una disminución evidente de la cuantía de precipitación. Los mayores descensos se han producido en la Sierra de Albarracín y en la zona oriental del pirineo mientras que los menores descensos se han producido en la zona occidental del pirineo y ciertos sectores del valle del Ebro.

Según el Atlas Climático de Aragón, en los últimos cincuenta años la precipitación media ha disminuido cerca del 12%, aunque la tendencia futura de las precipitaciones está sujeta a una gran incertidumbre que impide realizar predicciones fiables sobre precipitaciones. ([Dirección General de Calidad Ambiental y Cambio Climático del Gobierno de Aragón, Departamento de Medio Ambiente, 2009](#)) Desde el año 1950, el descenso pluviométrico anual medio en Aragón se evalúa en 12,7 mm por década. Por estaciones del año los descensos se establecen en -6,2 mm/década, -0,98 mm/década, -6,4 mm/década, -0,5 mm/década de las estaciones invierno, primavera, verano y otoño, respectivamente. ([Cuadrat, Serrano, Saz y Marín, 2011](#))

En lo que respecta a la nieve igualmente se ha venido registrando una tendencia negativa significativa en la acumulación, ligada a la disminución de precipitaciones contabilizadas en el área pirenaica durante los meses de invierno, en particular febrero

y marzo. Esto constituye además una de las razones fundamentales del retroceso glaciar (pérdida de superficie, espesor y volumen), junto con el aumento de las temperaturas y el descenso de las precipitaciones de invierno-primavera. ([Dirección General de Calidad Ambiental y Cambio Climático del Gobierno de Aragón, Departamento de Medio Ambiente, 2009](#))

Pero en este TFG no solo se pretende recopilar información bibliografía sobre la variabilidad de las precipitaciones en el territorio aragonés. A continuación se van a analizar y discutir datos climatológicos de precipitación en la comunidad autónoma Aragón que hay disponibles en el Instituto Aragonés de Estadística y que pretende demostrar las tesis que se muestran de reducción de precipitaciones tanto en el Atlas Climático de Aragón como en otros documentos.

Se realiza un análisis de un paquete Excel de datos climáticos llamado “Valores normales de precipitación mensual y anual por comarcas, municipios y estaciones medidoras en los períodos 1961-1990 y 1981-2010” y en el que salen multitud de municipios con su correspondiente estación meteorológica. Los resultados analizados se exponen a continuación.

Comarcas aragonesas	Municipio – Estación meteorológica	1961-1999 1º período (38 años)	1981-2010 2º período (29 años)	Diferencia pluviométrica
La Jacetania	Ansó	1194,3	1104,4	<b>-89,9</b>
	Canfranc (Los Arañones)	1870,2	1839,4	<b>-30,8</b>
	Jaca	856,6	767,5	<b>-89,1</b>
Alto Gállego	Sabiñanigo	839,5	818,6	<b>-20,9</b>
	Biescas	1231,9	1160,9	<b>-71</b>
	Sallent de Gállego	1307,9	1312,3	<b>+4,4</b>
Sobrarbe	Gistaín	1372,3	1246,5	<b>-125,8</b>
	Boltaña	1040,1	917,8	<b>-122,3</b>
	Aínsa-Sobrarbe	872,6	801,3	<b>-71,3</b>
La Ribagorza	Sesué central	1004,4	1020	<b>+15,6</b>
	Monesma y Cajigar	454,2	413,3	<b>-40,9</b>
	Sahún (Eriste central)	1110,2	1056,9	<b>-53,3</b>
La Hoya de Huesca	Loarre	745,7	715,7	<b>-30</b>
	Nueno	745,5	660,2	<b>-85,3</b>
	Huesca (Apiés)	690,8	650	<b>-40,8</b>
Somontano de Barbastro	Berbegal	480,5	438,7	<b>-41,8</b>
	Santa María de Dulcis (Huerta de Vero)	571,8	520,2	<b>-51,6</b>
	Alquezar (Radiquero)	716,8	637,6	<b>-79,2</b>
La Litera	Altorricón	407,7	378,8	<b>-28,9</b>

	San Esteban de Litera	460,4	413,3	<b>-47,1</b>
	Esplús Ráfales 1	379,6	341,3	<b>-38,3</b>
<b>Los Monegros</b>	Bujaraloz (Petris)	399,4	341,1	<b>-55,3</b>
	Lanaja	463,5	389	<b>-74,5</b>
	Grañén (montesusín)	497	414,8	<b>-82,2</b>
<b>Bajo Cinca</b>	Mequinenza	398,2	396,7	<b>-1,5</b>
	Belver de Cinca (Julia)	425,7	361,4	<b>-64,3</b>
	Candasnos	363,1	330	<b>-33,1</b>
<b>Cinco Villas</b>	Uncastillo	569,2	533,7	<b>-35,5</b>
	Ejea de los Caballeros (El Bayo)	476,9	398,5	<b>-78,4</b>
	Marracos	531,3	442,1	<b>-89,2</b>
<b>Zaragoza D.C</b>	Zaragoza Aeropuerto	314,2	322	<b>+7,8</b>
	Zuera "Casa Pérez"	414,5	385,8	<b>-28,7</b>
	Fuentes de Ebro	359,8	333,6	<b>-26,2</b>
<b>Ribera baja del Ebro</b>	Pina de Ebro PFE	358,5	322,1	<b>-36,4</b>
	Sástago "La Balsa"	387,8	334,8	<b>-53</b>
<b>Bajo Aragón Caspe</b>	Caspe "ayuntamiento"	302,4	307,9	<b>+5,5</b>
	Fabara	338,9	313,6	<b>-25,3</b>
	Maella DGA	424,8	351,6	<b>-73,2</b>
<b>Valdejalón</b>	Calatorao cooperativa	387,6	356,1	<b>-31,5</b>
	Almunia de Doña Godina "Frigorífico"	413,4	380,7	<b>-32,7</b>
	Ricla	392,4	369	<b>-23,4</b>
<b>Campo de Cariñena</b>	Longares 2	407,1	382	<b>-25,1</b>
	Paniza	429,9	431,5	<b>+1,6</b>
	Aguarón PFE	554,8	511,6	<b>-43,2</b>
<b>Campo de Belchite</b>	Azuara (Moneva-Embalse)	402,3	362,7	<b>-40</b>
<b>Comunidad de Calatayud</b>	Calatayud Aguas	360,9	329	<b>-31,9</b>
	Cetina	360,5	336,8	<b>-23,7</b>
	Monterde PFE	415,8	382,1	<b>-33,7</b>
<b>Campo de Daroca</b>	Atea	483,2	433,6	<b>-49,6</b>
	Mainar	522,1	454,7	<b>-67,4</b>
	Las Cuerlas (gasolinera)	485,9	386,4	<b>-99,5</b>
<b>Bajo Martín</b>	La Puebla de Híjar	348,1	305,4	<b>-42,7</b>
	Azaila	322,2	304,7	<b>-17,5</b>
	Jatiel	383,6	316,1	<b>-67,5</b>
<b>Bajo Aragón</b>	Torrevelilla	446,8	471	<b>+24,2</b>
	Alcorisa	445,9	440,9	<b>-5</b>

Matarraña	Valderrobres	564,4	500,4	-64
	Monroyo	532,6	532,4	-0,2
	Beceite	679,6	650,9	-28,7
Andorra-Sierra de Arcos	Oliete cueva foradada embalse	386,8	364,2	-22,6
Cuencas mineras	Palomar de arroyos	528,6	504,4	-24,2
Jiloca	Cucalón	540,8	490,2	-50,6
	Ojos negros	462	421,3	-40,7
	Bañón	483,6	479,9	-3,7
Sierra de Albarracín	Albarracín (PFE)	477,6	462	-15,6
	Guadalaviar	982,9	986,2	+3,3
	Ródenas	493,3	456,2	-37,1
Comunidad de Teruel	Teruel (San Blas)	373,7	365	-8,7
	Argente	430,8	472,3	+41,5
	Ababuj	454,5	395,6	-58,9
Gúdar-Javalambre	Rubielos de Mora	520,9	490,2	-30,7
	Manzanera (PFE)	447	512	+65
	Alcalá de la Selva	533,9	576,4	+42,5

**Tabla 1:** Comparación de la cantidad de precipitación registrada entre dos períodos de estudio en diferentes poblaciones de Aragón

Fuente: Elaboración propia – Datos IAEST (2015)

Se ha analizado una muestra de 73 municipios escogidos homogéneamente por el territorio aragonés. Contando con que según datos oficiales en Aragón hay 731 municipios, tenemos una muestra aproximada del 10%. Los resultados son evidentes:

- **86% de los municipios analizados** (63 municipios) los valores de precipitación fueron menores en el segundo período que en el primero, por tanto, **disminuyó la precipitación**.
- **El 14% restante** (10 municipios) las cantidades recogidas son mayores en el segundo período que en el primero, por tanto **aumenta la precipitación**.
- Sólo en cuatro municipios de los diez en que suben las precipitaciones, aumenta significativamente la cantidad de precipitación (>20 mm). Todos ellos ubicados en la provincia de Teruel.
- Si ponemos la misma barrera que el anterior punto (20 mm) pero en sentido inverso, es decir, si contamos los municipios que disminuye la cantidad de lluvia por debajo de 20 mm el número sube a cincuenta y cinco de sesenta y cinco. Esto supone casi un 85% de los municipios que disminuye.
- **En un tercio de los municipios que disminuye la precipitación** (21 municipios de 63) **lo hace más de 50 mm**.
- Los mayores descensos se producen en los pueblos más septentrionales de la comunidad como Ansó (-89,9 mm), Jaca (-89,1 mm), incluso superando

descensos de más de 100 mm como Gistaín (-125,8 mm) o Boltaña (-122,3 mm).

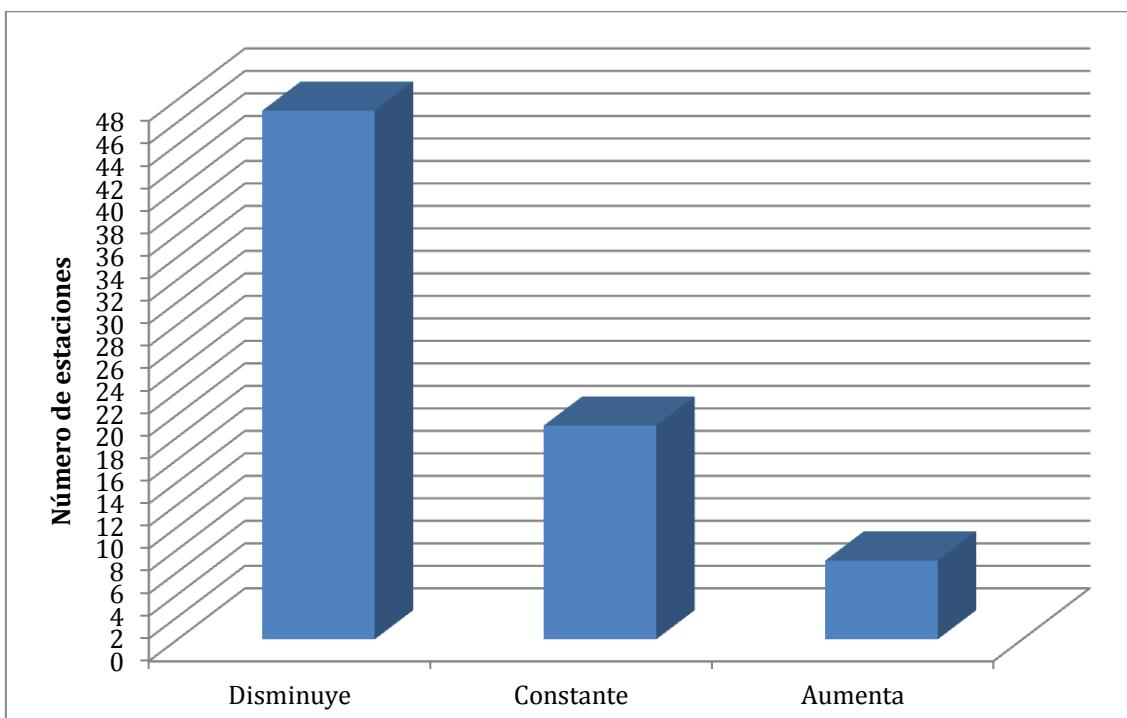
A continuación, se realiza un nuevo análisis de un paquete Excel de datos climáticos llamado “Precipitaciones y temperaturas medias mensuales y anuales en las estaciones climatológicas seleccionadas en el Atlas Climático de Aragón, por estación y año disponible”. Aquí se pretende estudiar la variación de la precipitación en el período elegido 1955-2005 mediante la interpretación de la línea de tendencia facilitada por la herramienta ofimática Excel. En la siguiente tabla se encuentran los municipios de estudio ordenados alfabéticamente por comportamiento de la línea de tendencia.

<b>7 Municipios con línea de tendencia de precipitación ascendente</b>	Alcalá de la Selva (Gúdar-Javalambre); <b>Ariza</b> (Comunidad de Calatayud); <b>Biel</b> (Cinco Villas); <b>Cucalón</b> (Jiloca); <b>Lécera</b> (Campo de Belchite); <b>Mequinenza</b> (Bajo Cinca); <b>Oliete</b> (Andorra)
<b>19 Municipios con línea de tendencia de precipitación constante</b>	Arcos de Salinas (Gúdar-Javalambre); <b>Argente</b> (Comunidad de Teruel); <b>Borja</b> (Campo de Borja); <b>Bujaraloz</b> (Monegros); <b>Calatorao</b> (Valdejalón); <b>Canfranc</b> (La Jacetania); <b>Griegos</b> (Sierra de Albarracín); <b>Maella</b> (Bajo Aragón Caspe); <b>Mainar</b> (Campo de Daroca); <b>Paniza</b> (Campo de Cariñena); <b>Panticosa</b> (Alto Gállego); <b>Ricla</b> (Valdejalón); <b>Rubielos de mora</b> (Gúdar-Javalambre); <b>Sabiñanigo</b> (Alto Gállego); <b>Sallent de Gállego</b> (Alto Gállego); <b>Sástago</b> (Ribera baja del Ebro); <b>Zaragoza-Aeropuerto</b> (Comarca de Zaragoza); <b>Valle de Hecho</b> (La Jacetania); <b>Villanúa</b> (La Jacetania)
<b>47 Municipios con línea de tendencia de precipitación descendente</b>	<b>Atea</b> (Campo de Daroca); <b>Ababuj</b> (Comunidad de Teruel); <b>Albarracín</b> (Sierra de Albarracín); <b>Alcañiz</b> (Bajo Aragón); <b>Alcorisa</b> (Bajo Aragón); <b>Almunia de Doña Godina</b> , La (Valdejalón); <b>Alquézar</b> (Somontano de Barbastro); <b>Ayerbe</b> (Hoya de Huesca); <b>Azaila</b> (Bajo Martín); <b>Barbastro</b> (Somontano de Barbastro); <b>Berbegal</b> (Somontano de Barbastro); <b>Belver de Cinca</b> (Bajo Cinca); <b>Bielsa</b> (Sobrarbe); <b>Broto</b> (Sobrarbe); <b>Calatayud</b> (Comunidad de Calatayud); <b>Caspe</b> (Bajo Aragón Caspe); <b>Castiello de Jaca</b> (La Jacetania); <b>Cella</b> (Comunidad de Teruel); <b>Cetina</b> (Comunidad de Calatayud); <b>Daroca</b> (Campo de Daroca); <b>Ejea de</b>

	<b>los Caballeros</b> (Cinco Villas); <b>Grañen</b> (Monegros); <b>Huesca</b> (Hoya de Huesca); <b>Jaca</b> (La Jacetania); <b>Lanaja</b> (Monegros); <b>Luna</b> (Cinco Villas); <b>Marracos</b> (Cinco Villas); <b>Monegrillo</b> (Monegros); <b>Monreal del campo</b> (Jiloca); <b>Monterde</b> (Comunidad de Calatayud); <b>Monzón</b> (Cinca medio); <b>Morata de Jalón</b> (Valdejalón); <b>Pedrola</b> (Ribera Alta del Ebro); <b>Perdiguera</b> (Monegros); <b>Pina de Ebro</b> (Ribera Baja del Ebro); <b>Plan</b> (Sobrarbe); <b>Ródenas</b> (Sierra de Albarracín); <b>Sádaba</b> (Cinco Villas); <b>Sahún</b> (Ribagorza); <b>San Esteban de Litera</b> (La Litera); <b>Sariñena</b> (Monegros); <b>Tamarite de Litera</b> (La Litera); <b>Teruel</b> (Comunidad de Teruel); <b>Tornos</b> (Jiloca); <b>Valderrobres</b> (Matarraña); <b>Villar del Cobo</b> (Sierra de Albarracín); <b>Zuera</b> (Comarca Zaragoza)
--	--

**Tabla 2:** Comprobación de la evolución de la línea de tendencia de la cantidad de precipitación registrada entre el período 1955-2005.

**Fuente:** Elaboración propia – Datos IAEST (2015)



**Figura 24:** Comportamiento de la línea de tendencia de las precipitaciones de los municipios de la tabla 2 en el período de estudio 1955-2005.

**Fuente:** Elaboración propia - Datos IAEST (2015)

En la **tabla 2** hay exactamente el mismo número de municipios que en la **tabla 1**, sin embargo, se han cambiado algunas estaciones para dar más fiabilidad a los resultados.

Como se aprecia en la **figura 24**, los datos no pueden ser más reveladores. La precipitación ha bajado en 47 municipios, es decir, que tienen línea de tendencia descendente, 19 municipios tienen línea estable y 7 línea ascendente. Esto indica que hay una disminución de la precipitación de una manera incuestionable.

Las gráficas elaboradas a partir de la herramienta ofimática Excel se ofrecen en el [anexo](#) del presente TFG dada la imposibilidad de poner aquí todas ellas. Sin embargo, tres de ellas se van a presentar a continuación para mostrar cómo se han realizado. Van a ser tres localidades de cada provincia, una constante, otra descendente y otra ascendente.

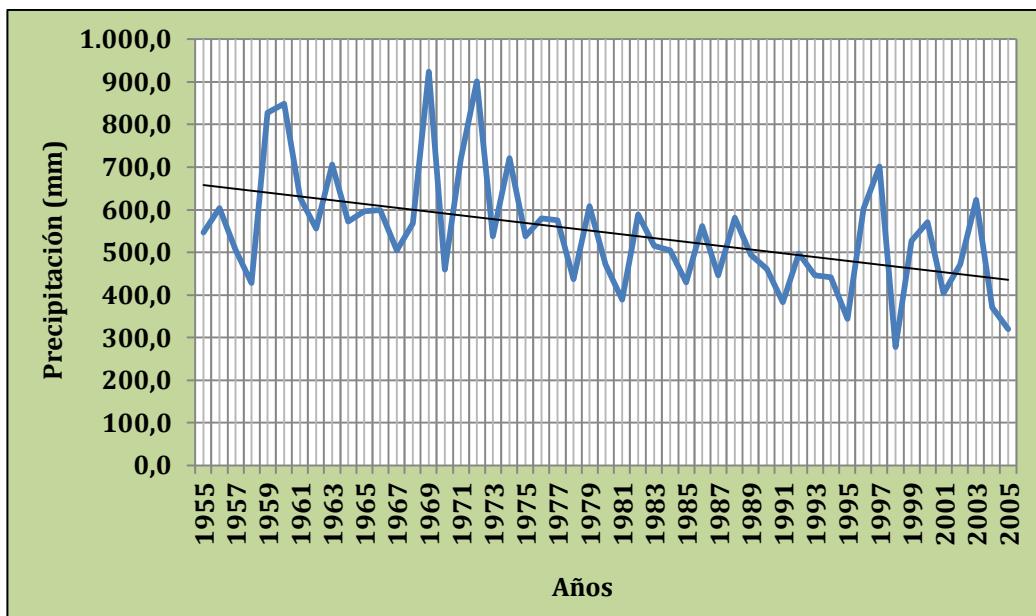
- Línea de tendencia constante:



**Figura 25:** Precipitación anual acumulada en el aeropuerto de Zaragoza en el período 1955-2005

**Fuente:** Elaboración propia - Datos IAEST (2015)

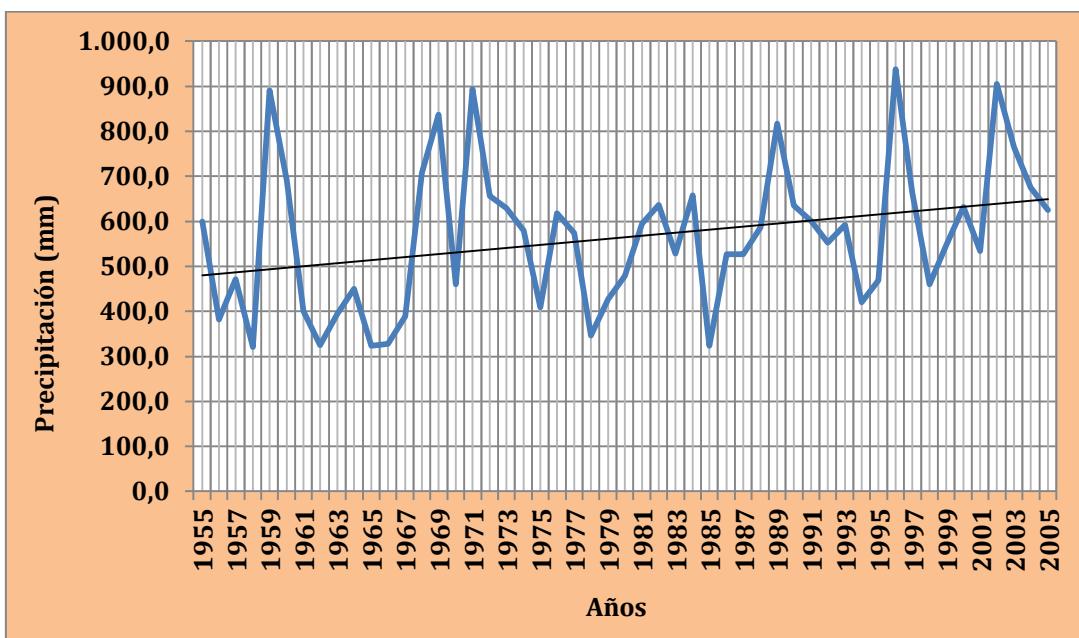
- Línea de tendencia descendente:



**Figura 26:** Precipitación anual acumulada en Huesca en el período 1955-2005

**Fuente:** Elaboración propia – Datos IAEST (2015)

- Línea de tendencia ascendente:



**Figura 27:** Precipitación anual acumulada en Alcalá de la Selva en el período 1955-2005

**Fuente:** Elaboración propia – Datos IAEST (2015)

### Evolución de la estacionalidad de las precipitaciones, período 1955-2005

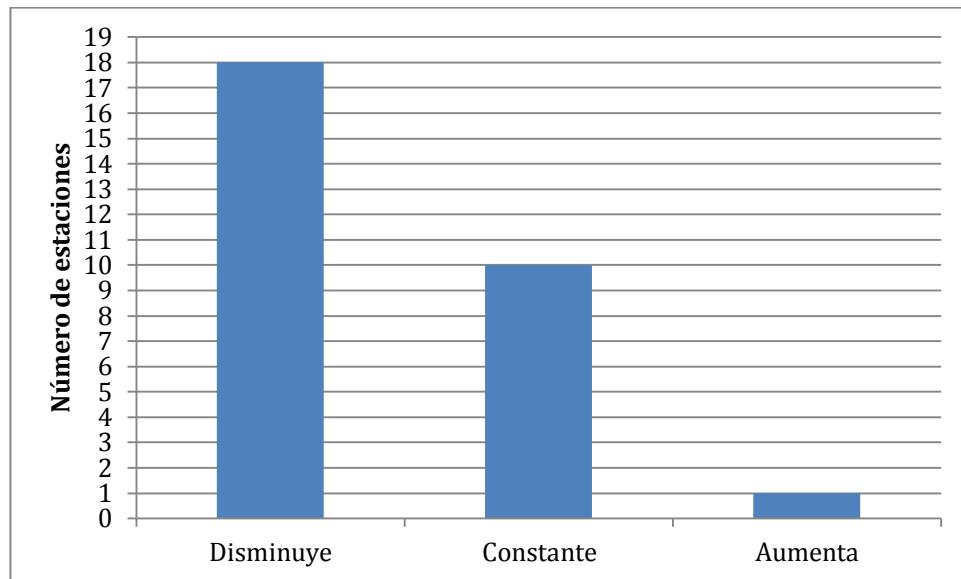
Se han analizado 29 estaciones meteorológicas de otros tantos municipios cuyos nombres se exponen en la tabla siguiente. En el [anexo](#) se encuentran los gráficos elaborados con la herramienta ofimática Excel. Se ha elegido este número puesto que se ha escogido una estación por comarca aragonesa. Las comarcas Tarazona y el Moncayo, Aranda, el Maestrazgo y Ribera Alta del Ebro no han sido analizadas puesto que no se ha encontrado ninguna estación meteorológica en el archivo de datos empleado.

Estación meteorológica/municipio	Comarca
Albarracín PFE	Sierra de Albarracín
Alcalá de la Selva	Gúdar-Javalambre
Alcorisa	Bajo Aragón
Beceite Peña Embalse	Matarraña
Berbegal	Somontano de Barbastro
Boltaña	Sobrarbe
Borja (ayuntamiento)	Campo de Borja
Canfranc Los Arañones	La Jacetania
Caspe Forcaballes	Bajo Aragón Caspe
Ejea de los Caballeros	Cinco Villas
Jatiel	Bajo Martín
Lanaja	Los Monegros
Lécera	Campo de Belchite
Mainar	Campo de Daroca
Mequinenza	Bajo Cinca
Monflorite-Lascasas	Hoya de Huesca
Monreal del Campo DGA	Jiloca
Monterde PFE	Comunidad de Calatayud
Monzón (silo)	Cinca medio
Morata de Jalón	Valdejalón
Oliete cueva foradada embalse	Andorra Sierra de Arcos
Palomar de arroyos	Cuencas mineras
Pina de Ebro PFE	Ribera baja del Ebro
Sabiñanigo	Alto Gállego
San Blas	Comunidad de Teruel
San Esteban de Litera	La Litera
Sesué-central	La Ribagorza
Tosos	Campo de Cariñena
Zaragoza-aeropuerto	Comarca de Zaragoza

**Tabla 3:** Municipios elegidos para el estudio sobre la evolución de la precipitación en las estaciones del año de las siguientes estaciones meteorológicas en el período 1955-2005

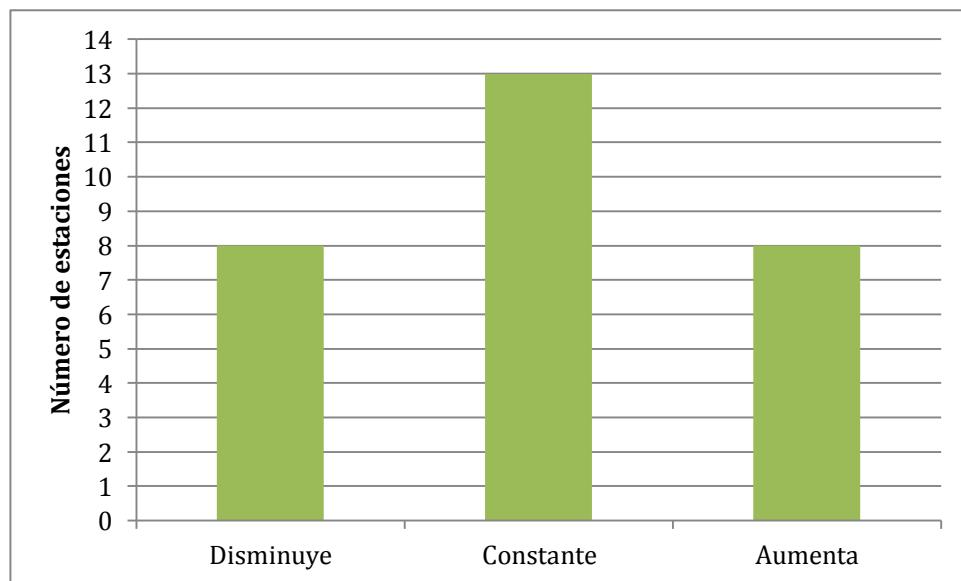
**Fuente:** Elaboración propia

El resultado de la línea de tendencia en cada una de las estaciones del año de los siguientes municipios se representa en las siguientes figuras.



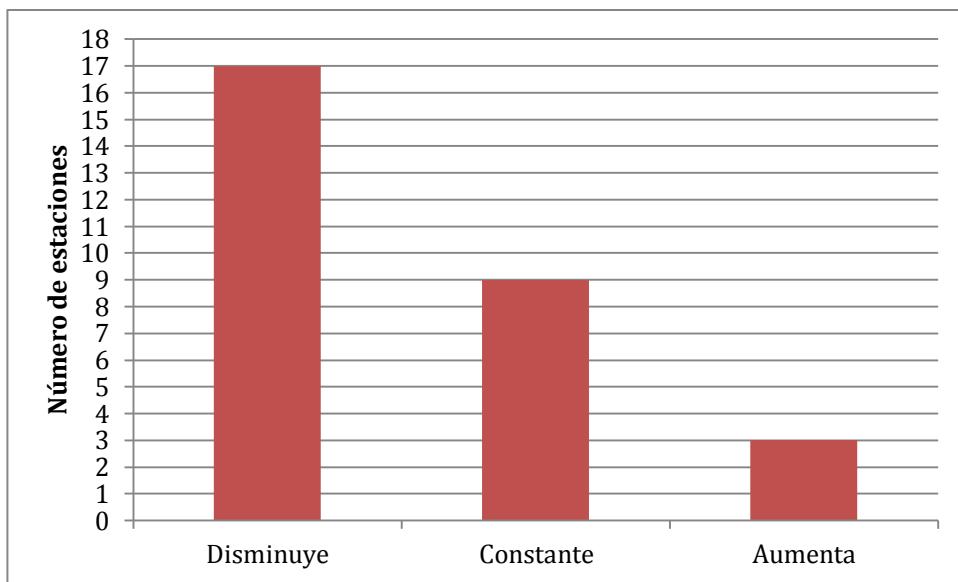
**Figura 28:** Número de estaciones y estado de la línea de tendencia en los meses de invierno (Diciembre-Enero-Febrero).

**Fuente:** Elaboración propia – Datos IAEST (2015)



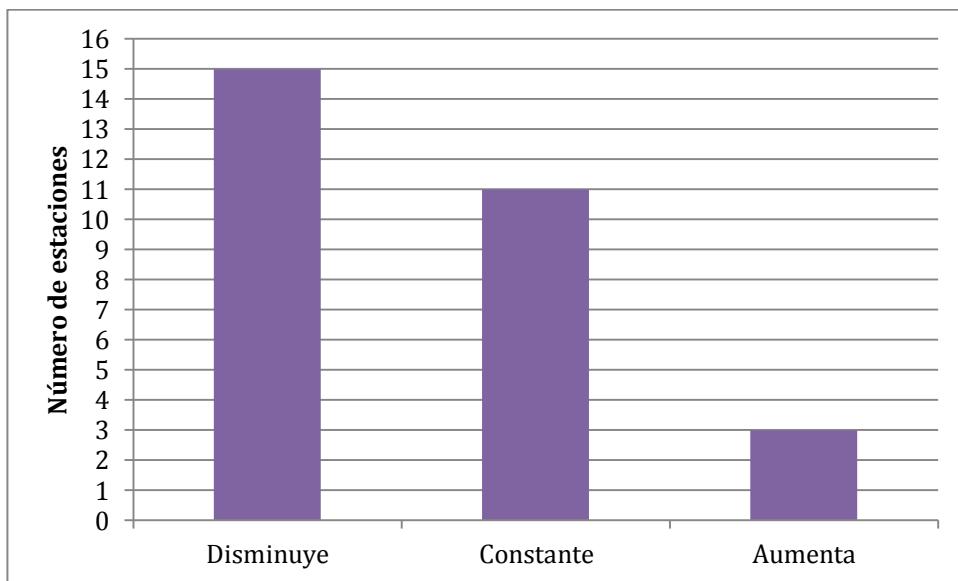
**Figura 29:** Número de estaciones y estado de la línea de tendencia en los meses de primavera (Marzo-Abril-Mayo).

**Fuente:** Elaboración propia – Datos IAEST (2015)



**Figura 30:** Número de estaciones y estado de la línea de tendencia en los meses de verano (Junio-Julio-Agosto).

**Fuente:** Elaboración propia – Datos IAEST (2015)



**Figura 31:** Número de estaciones y estado de la línea de tendencia en los meses de otoño (Septiembre-Octubre-Noviembre).

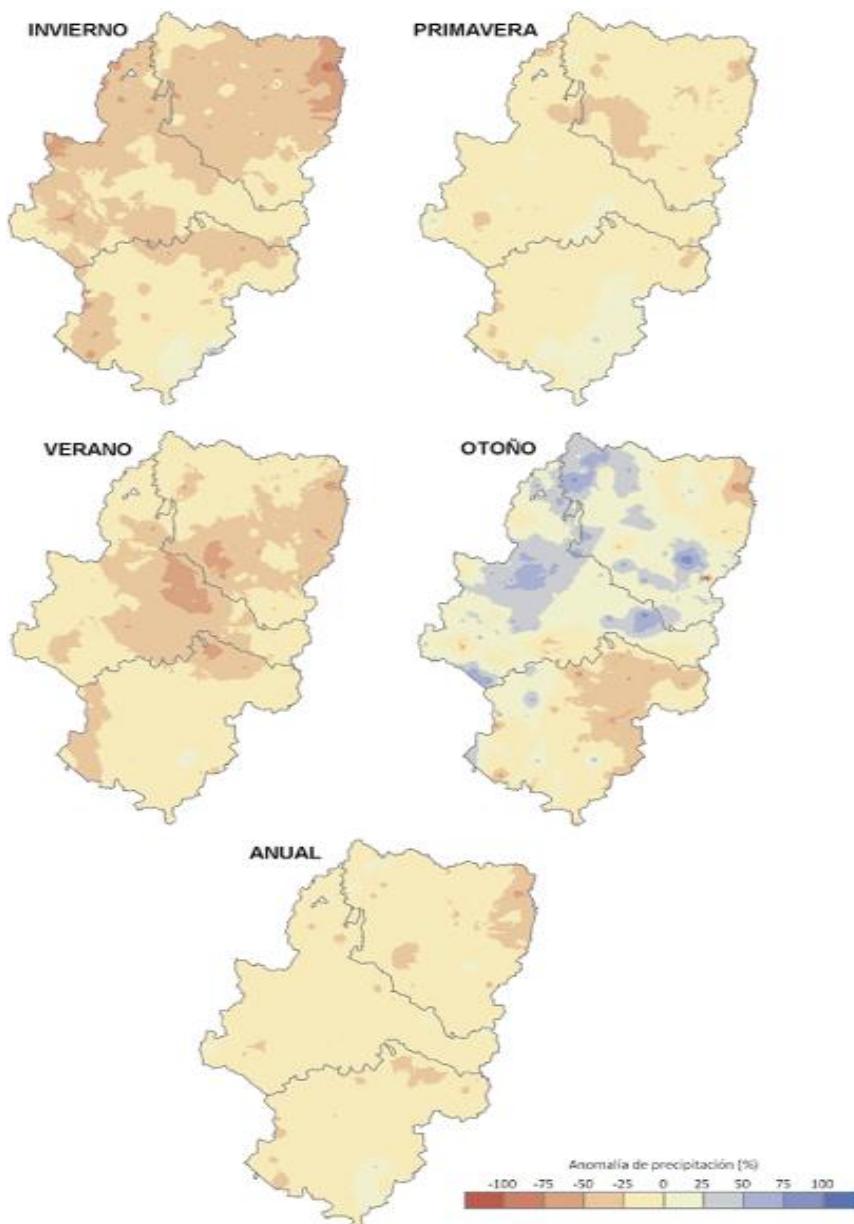
**Fuente:** Elaboración propia – Datos IAEST (2015)

El pequeño análisis hecho nos muestra que los mayores descensos de precipitación se han dado tanto en invierno como en verano, después el otoño es la estación que mayor número de estaciones registran descensos, y por último, la primavera, está equilibrada en el número de estaciones que disminuye, aumenta o permanece constante la precipitación.

“Este comportamiento se corresponde en buena medida con el observado por De Luís et al. (2007) en su investigación sobre la cuenca del Ebro, o los más amplios realizados por Nieto y Rodríguez-Puebla (2006) y Rodríguez-Puebla y Brunet (2008) sobre la península Ibérica, donde coinciden en señalar para el ámbito aragonés la disminución mayor de las lluvias en los meses de invierno y verano, siendo el periodo otoñal el de descensos menos significativos. En primavera, el descenso es más moderado”.  
[\(Cuadrat et al. 2011\)](#)

En la estación otoñal difieren estos dos análisis, pero hay que decir que en el estudio de Cuadrat et al. 2011, el número de estaciones meteorológicas revisadas fueron 122 frente a las 29 (**tabla 3**) que se han analizado en el presente TFG, por ello, es de muchísima más fiabilidad y rigor el análisis hecho por estos autores en el año 2011.

Los mapas elaborados por su trabajo se presentan a continuación.



**Figura 32:**  
 Anomalías de las  
 precipitaciones de  
 1981-2010 respecto de  
 1951-1980  
**Fuente:** Cuadrat et al. (2011)

Además de la evolución de la estacionalidad de la precipitación, el resultado de la comparación de las precipitaciones de 1981-2010 respecto de 1951-1980 muestra una clara tendencia hacia el descenso de las cantidades totales anuales como se observa en la **figura 32**, con porcentajes de cambio moderados y pocas diferencias territoriales.

“Este descenso se cree que se debe a una pérdida de importancia de los sistemas frontales procedentes del Atlántico, principales responsables de las lluvias invernales, como sugieren Paredes et al (2006) o Nieto y Rodríguez Puebla (2006), y con cambios en verano en los sistemas advecivos mediterráneos y el reforzamiento de las condiciones anticiclónicas, como apuntan Fernández García y Martín Vide (2004). En sentido opuesto, el aumento de los eventos extremos podría explicar ciertos contrastes espaciales y sobre todo los valores más altos de la estación otoñal (Vicente Serrano et al, 2007)”. [\(Cuadrat et al, 2011\)](#)

## 5.5 Eventos hidrometeorológicos extremos en Aragón

El IPCC ha declarado lo siguiente:

“Existe un nivel de confianza medio en que aumenten las precipitaciones intensas en algunas regiones, a pesar de que en ellas se proyecte una disminución en el total de las precipitaciones de dichas regiones.”

Por tanto, en Aragón como ya se ha visto se ha producido una disminución y se va a proyectar todavía menos cantidad de lluvia hacia final de siglo, por tanto, existe entre un 66% y 100% de posibilidad de que aumenten las precipitaciones intensas.

Además, el IPCC alega que:

“Con base en los diversos escenarios de emisiones (B1, A1B, A2), es probable (con una probabilidad de resultado de 66-100% de ocurrencia) que la cantidad máxima anual de precipitación diaria registrada una vez cada 20 años pase a producirse con una frecuencia de una vez cada 5 años a una vez cada 15 años en muchas regiones a finales del siglo XXI y, en la mayoría de ellas, los escenarios con mayores emisiones (A1B y A2) presentan una mayor disminución proyectada en el período de retorno”. [\(IPCC, 2012\)](#)

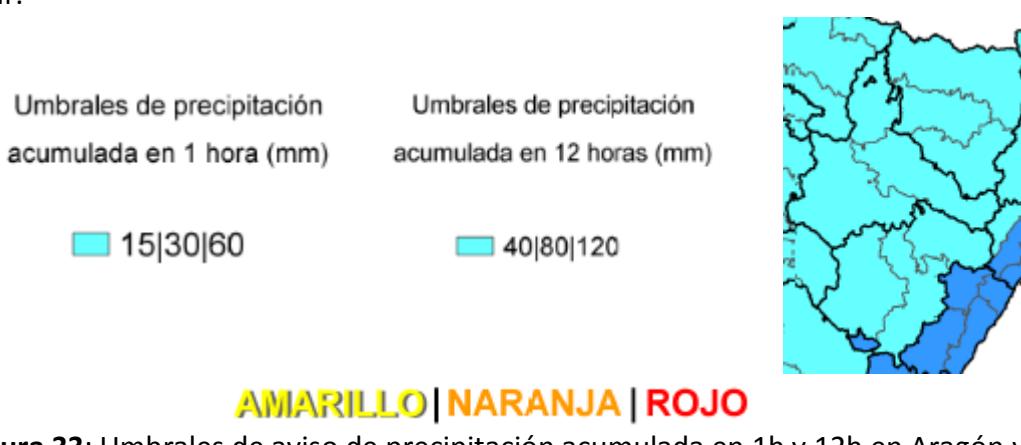
Dicho lo cual, el Atlas Climático de Aragón, señala que en una proporción notable del solar aragonés (cerca del 85%) se han registrado en algún momento del periodo analizado precipitaciones superiores en 24 horas a los 80 mm. La mayor torrencialidad de la precipitación suele estar asociada a perturbaciones generadas en el tramo final del verano o primeras semanas de otoño en el Mar Mediterráneo, una inestabilidad

que se ve acentuada por la acción del relieve. El efecto de la topografía sobre la intensidad de la precipitación es claro en este mapa y así es al pie de los Puertos de Beceite y de los macizos pirenaicos de Monte Perdido, Posets, Aneto y Maladeta, donde se registran los valores máximos, superiores a los 160 mm en un solo día. La orla mediterránea ofrece una mayor torrencialidad, descendiendo de forma clara los valores máximos hacia el oeste. ([López et al. 2007](#)) “Desde tiempos remotos, la precipitación en el sur de Europa (y tal como ocurre en la mayor parte de Aragón), se basa más en la evaporación regional que en la humedad (Trenberth et al., 2003; Trenberth, 2011) que viene transportada por frentes desde otras regiones más húmedas”. ([Norwegian Meteorological Institute, 2013](#))

Las predicciones por tanto, parecen indicar que cuanto más avancen los años en el presente siglo, mayores episodios de eventos hidrometeorológicos extremos van a ocurrir y por lo visto en Aragón asociados a carácter más tormentoso. Aun así, las previsiones para este territorio no son del todo las peores teniendo en cuenta que en el continente Europeo donde más parece que van a aumentar estos eventos hidrometeorológicos extremos es en el norte de Europa, según la **figura 18**.

En este apartado, se va a realizar un pequeño estudio sobre eventos de precipitación intensa en algunas localidades de Aragón en las últimas décadas así como una pequeña observación de la actividad tormentosa de la comunidad en estos últimos años. Se pretende obtener algún dato concluyente concordante con lo escrito párrafos más arriba.

La Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) ofrece a disposición del público, unos determinados umbrales de precipitación acumulada en 1h y 12h sobre un territorio concreto que marca un nivel de alerta por una determinada torrencialidad de precipitación, y por tanto, marcan la peligrosidad de un evento extremo de precipitación intensa para avisar a la población sobre la que previsiblemente va a ocurrir.



**Figura 33:** Umbrales de aviso de precipitación acumulada en 1h y 12h en Aragón y escala de peligrosidad de riesgo.  
Fuente: AEMET (2015)

A continuación se estudian tres municipios de Aragón, concretamente de la provincia de Huesca. Se han escogido en zonas climáticamente diferentes para ver lo que ha sucedido y si realmente se ha producido un aumento en el número y en la intensidad de los eventos extremos de precipitación. Los municipios son Jaca (clima de mediterráneo de transición a oceánico), Huesca (clima mediterráneo continental) y Sariñena (seco estepario) según el Atlas Climático de Aragón. Los datos para el estudio han sido solicitados a AEMET en varios pedidos meteorológicos que se han hecho. El período de estudio ha sido desde el año 1990 al 2014, es decir, 25 años.

Los datos del municipio de **Jaca** son los siguientes:

Cantidad de precipitación	Tiempo	Nivel de aviso	Fecha
20,9 mm	1h	Amarillo	08/09/1992
57,9 mm	12h	Amarillo	04/11/1994
45,8 mm	12h	Amarillo	22/01/1996
23,1 mm	1h	Amarillo	26/07/1996
49,1 mm	12h	Amarillo	26/07/1996
52,0 mm	12h	Amarillo	05/12/1996
21,1 mm	1h	Amarillo	14/05/1999
18,4 mm	1h	Amarillo	13/10/2005
16,8 mm	1h	Amarillo	29/10/2005
19,5 mm	1h	Amarillo	22/09/2006
21,2 mm	1h	Amarillo	23/09/2006
49,7 mm	12h	Amarillo	23/09/2006
17,4 mm	1h	Amarillo	21/04/2007
18 mm	1h	Amarillo	01/10/2009
37,8 mm	1h	Naranja	19/10/2012
131,1 mm	12h	Rojo	19/10/2012
72,6 mm	12h	Amarillo	20/10/2012
19,1 mm	1h	Amarillo	18/06/2013
55,1 mm	12h	Amarillo	18/06/2013
37,1 mm	1h	Naranja	11/07/2013
31,5 mm	1h	Naranja	16/08/2013
41,7 mm	12h	Amarillo	16/08/2013
46,1 mm	1h	Naranja	04/10/2013
89,1 mm	12h	Naranja	04/10/2013

**Tabla 4:** Avisos registrados en la ciudad de Jaca en el período 1990-2014

**Fuente:** Elaboración propia. Datos pedido meteorológico privado AEMET (2015)

Como se ha ido viendo en la **tabla 4**, los fenómenos extremos no han parado de crecer en los últimos años y concretamente también aquellos relacionados con precipitaciones extremas. Como se puede ver en la figura anterior, casi la mitad de los avisos registrados en un período de 25 años, en concreto 10 de 24 en total (41%) han sido registrados entre los años 2010 y 2014. De estos diez registrados 4 han sido

amarillos, 5 naranjas y 1 rojo. Si se comprueba en el resto de años hasta el año 90 todos han sido de nivel amarillo. Hay que destacar sobre todo el nivel de aviso **rojo** que se llegó a materializar tras caer 131,1 mm de precipitación en 12h el día 19 de octubre de 2012, ese mismo día se correspondió también al aviso naranja que hubo de 37,8 mm en 1h como manifiesta la **tabla 4**. Las precipitaciones de octubre de 2012, sobre todo en el norte de la comunidad (zona pirenaica) han sido objeto de estudio por parte de diversos autores como forma de evaluar la respuesta hidrológica que se dio en los principales cursos fluviales pirenaicos y trabajar en la gestión del riesgo.

El episodio de precipitaciones puede calificarse de extremo, principalmente en la cuenca alta del río Aragón, por los elevados volúmenes de precipitación y caudal registrados, pero en absoluto puede considerarse excepcional. Hay importantes antecedentes de precipitaciones intensas en el pirineo aragonés. Como la ciudad de Jaca, en Aragón hay numerosos núcleos de población expuestos a las inundaciones fluviales. Las intensas precipitaciones acumuladas dieron lugar a importantes crecidas en las cuencas del Aragón, Arba, Gállego y Cinca. Los daños generados por la crecida de río Aragón fueron el derribo de dos pequeñas casas de huerta aguas debajo de Castiello, la erosión del talud de la carretera N-330 y la generación de daños en Canfranc, Villanúa y Jaca. ([Acín V. et. al. 2012](#)) Dicho esto, un aumento de fenómenos extremos en partes de Aragón como la zona pirenaica conlleva un gran aumento del riesgo dado la vulnerabilidad de las poblaciones que allí se asientan.

Los datos del municipio de **Huesca** son los siguientes:

Cantidad de precipitación	Tiempo	Nivel de aviso	Fecha
18,3 mm	1h	Amarillo	23/05/1990
27,8 mm	1h	Amarillo	15/10/1990
17 mm	1h	Amarillo	22/10/1990
45,1 mm	12h	Amarillo	22/10/1990
21 mm	1h	Amarillo	25/09/1991
17,9 mm	1h	Amarillo	08/08/1992
21,1 mm	1h	Amarillo	09/08/1992
15,8 mm	1h	Amarillo	09/09/1992
48,1 mm	12h	Amarillo	22/09/1992
16,3 mm	1h	Amarillo	28/10/1993
57,4 mm	12h	Amarillo	28/10/1993
26,2 mm	1h	Amarillo	23/09/1994
92,8 mm	12h	Naranja	23/09/1994
56,8 mm	12h	Amarillo	05/12/1996
28,4 mm	1h	Amarillo	28/07/1997
18,5 mm	1h	Amarillo	08/10/2002
19,4 mm	1h	Amarillo	09/10/2003
41,1 mm	12h	Amarillo	20/03/2003
30,5 mm	1h	Naranja	12/10/2003

20,2 mm	1h	Amarillo	09/10/2003
31 mm	1h	Naranja	07/05/2006
51,5 mm	1h	Naranja	19/07/2006
60,3 mm	12h	Amarillo	19/07/2006
20,4 mm	1h	Amarillo	27/07/2006
24 mm	1h	Amarillo	19/05/2007
31,2 mm	1h	Naranja	06/06/2010
19,6 mm	1h	Amarillo	16/06/2010
44,6 mm	12h	Amarillo	16/06/2010
53,1 mm	1h	Naranja	02/09/2010
64,8 mm	12h	Amarillo	02/09/2010
25,1 mm	1h	Amarillo	09/10/2010
47,4 mm	12h	Amarillo	09/10/2010
21,5 mm	1h	Amarillo	04/07/2012
28,2 mm	1h	Amarillo	29/08/2012
18,9 mm	1h	Amarillo	20/10/2012
50,7 mm	12h	Amarillo	20/10/2012
32,2 mm	1h	Naranja	20/05/2014
16,4 mm	1h	Amarillo	07/09/2014

**Tabla 5:** Avisos registrados en la ciudad de Huesca en el período 1990-2014

Fuente: Elaboración propia. Datos pedido meteorológico privado AEMET (2015)

En la tabla anterior se observa que un tercio de los avisos registrados se han producido en el último lustro de estos 25 años de estudio. Concretamente han sido 13 avisos de 38 (**34%**). Además, casi la mitad de los avisos de intensidad naranja se han producido en este período. No se han producido avisos rojos.

Los datos del municipio de **Sariñena** son los siguientes:

Cantidad de precipitación	Tiempo	Nivel de aviso	Fecha
18,7 mm	1h	Amarillo	30/06/1992
44,8 mm	12h	Amarillo	17/11/1996
19,7 mm	1h	Amarillo	5/12/1996
57,6 mm	12h	Amarillo	5/12/1996
16,4 mm	1h	Amarillo	23/10/2000
53,4 mm	12h	Amarillo	23/10/2000
29,8 mm	1h	Amarillo	08/08/2009
24 mm	1h	Amarillo	15/03/2011
47,2 mm	12h	Amarillo	15/03/2011
21,8 mm	1h	Amarillo	24/09/2011
47,2 mm	12h	Amarillo	29/11/2014

**Tabla 6:** Avisos registrados en la ciudad de Huesca en el período 1990-2014

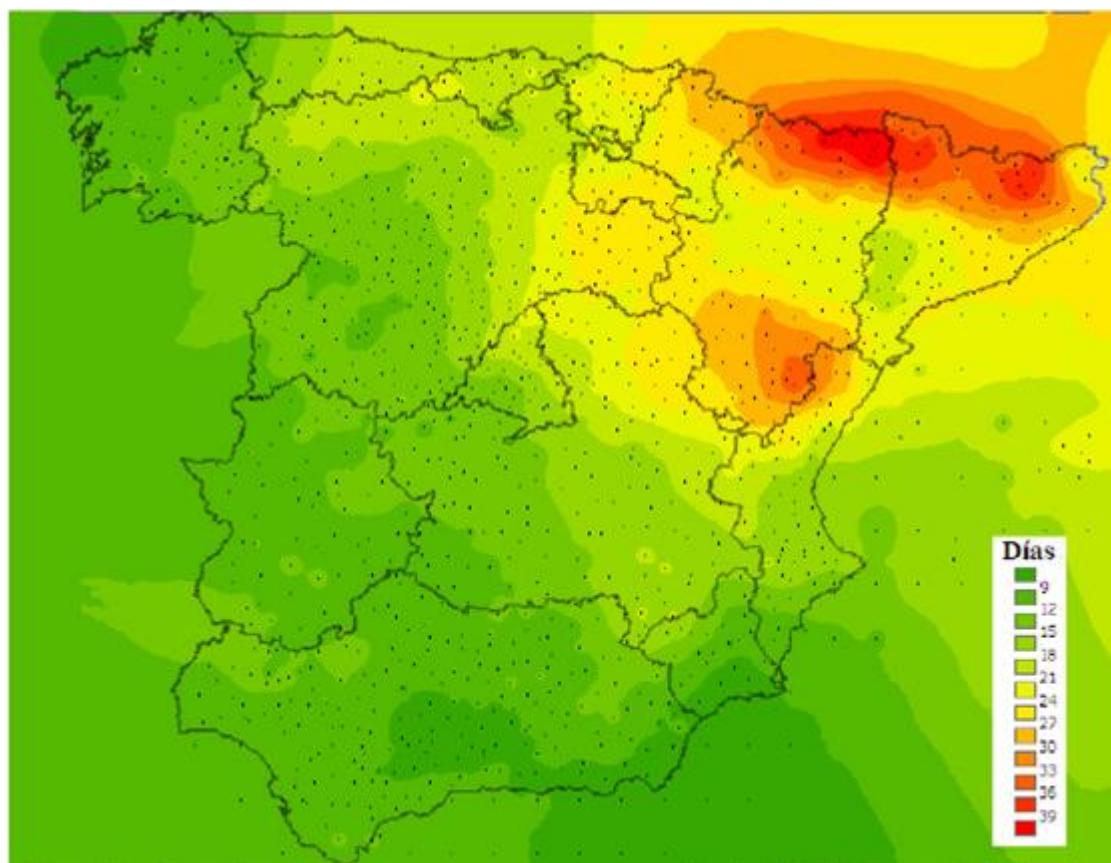
Fuente: Elaboración propia. Datos pedido meteorológico privado AEMET (2015)

Un tercio (**33%**) de los avisos se han producido en los últimos cinco años de este período de estudio de 25 años. Es importante destacar la importancia de la aparición de estos fenómenos de precipitación extrema en una zona tan árida pluviométricamente hablando.

De las **tablas 4, 5 y 6** con sus correspondientes tres municipios, Jaca, Huesca y Sariñena se concluye:

- Aumenta el número de avisos en los últimos años del período de estudio.
- Aumenta la intensidad de los avisos en los últimos años del período de estudio.
- Hay una correspondencia entre un aumento de los eventos extremos de precipitación a medida que avanzamos en el presente siglo y los años son más cálidos.

En la región mediterránea de Europa, el quinto informe de evaluación del IPCC (AR5) vaticina un aumento de los extremos relacionados con las precipitaciones de origen tormentoso. Como se ve en el mapa siguiente Aragón es una de las comunidades autónomas de España con más actividad tormentosa, es decir, con un mayor número de días al año con tormenta.



**Figura 34:** Número de días de tormenta al año en España  
**Fuente:** González (2006) – Datos AEMET y Stormwatch (meteored)

Especialmente tormentosa es la zona pirenaica y también el sistema ibérico, especialmente la sierra de Gúdar turolense y demás sierras próximas al mar Mediterráneo. La cuenca del Ebro y el sur de Huesca como la zona de Monegros están entre las zonas menos tormentosas, sin embargo, están por encima de la media en número de tormentas sobre la media española, como se puede ver en la **figura 34**.

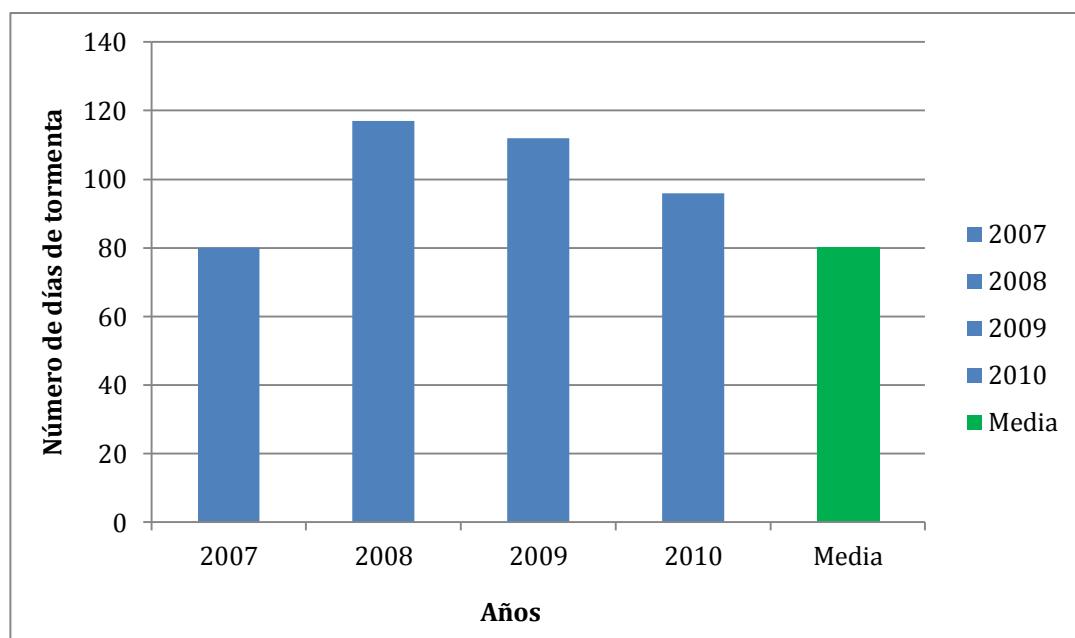
La actividad tormentosa en España sigue un desplazamiento anual del centro de máxima actividad desde el mar a la tierra. La actividad ceráunica sigue unas pautas de estacionalidad por el territorio de la siguiente manera:

- La actividad comienza débilmente en primavera en las comarcas atlánticas del golfo de Cádiz y de Vizcaya y se va extendiendo hacia el interior por los sistemas montañosos de la mitad norte y por ambas mesetas.
- En el inicio del verano llega a Aragón y al cuadrante nordeste peninsular, la actividad máxima se centra en los sistemas montañosos de la cuenca del Ebro y continúa desplazándose durante el verano hacia el este, hasta que al final de la estación, por la captación de energía del Mediterráneo, el máximo se centra sobre el mar, frente al delta del Ebro.
- En el otoño, la actividad ceráunica alcanza su máximo sobre el mar Balear y el número de días con fenómenos eléctricos va remitiendo lentamente al mismo tiempo que se va enfriando la superficie marítima afectada hasta que, avanzado el invierno prácticamente se iguala la actividad marítima atlántica con la mediterránea. ([Pérez y Zancajo, 2008](#))

Dicho esto, la estación con mayor actividad tormentosa y por tanto, que presenta un mayor riesgo de que se produzcan precipitaciones intensas en Aragón es el verano.

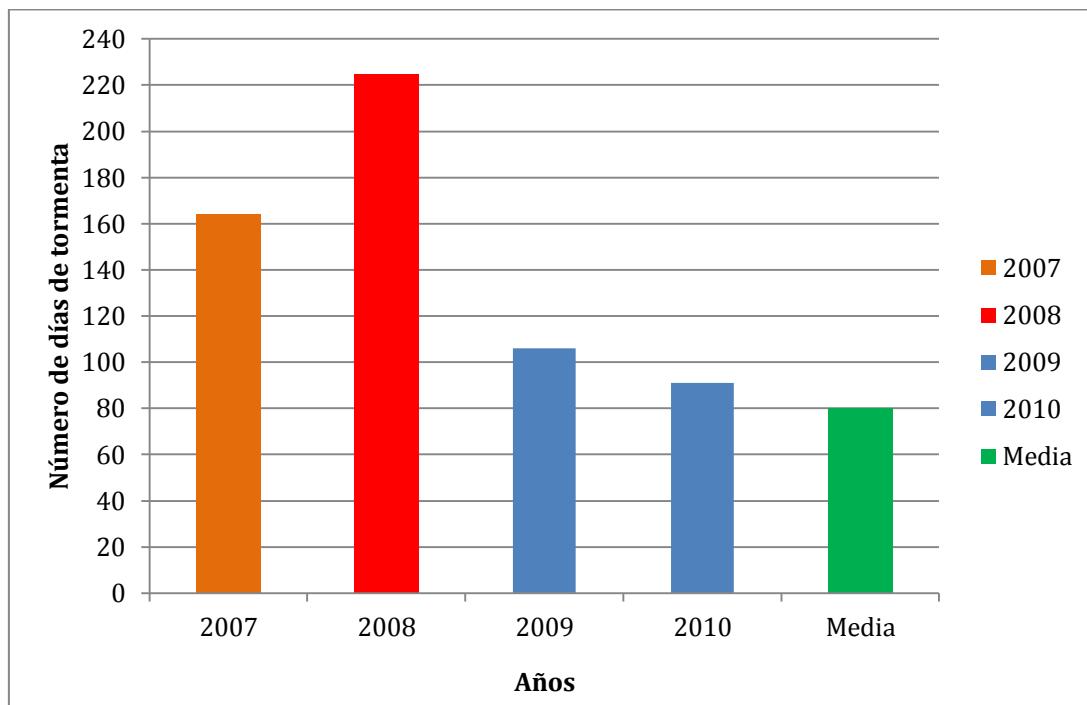
Se ha realizado un pequeño examen de la actividad tormentosa en las tres capitales de provincia de la comunidad así como en cada uno de los territorios provinciales. Para ello se ha contado con datos del IAEST sacados de su web, concretamente del archivo “Número de días de tormenta eléctrica por provincia y observatorios”. Años 2006-2011. Los años 2006 y 2011 están incompletos así que sólo se ha analizado el número de días de los años 2007, 2008, 2009 y 2010.

### Estudio de actividad tormentosa por territorios provinciales de Aragón



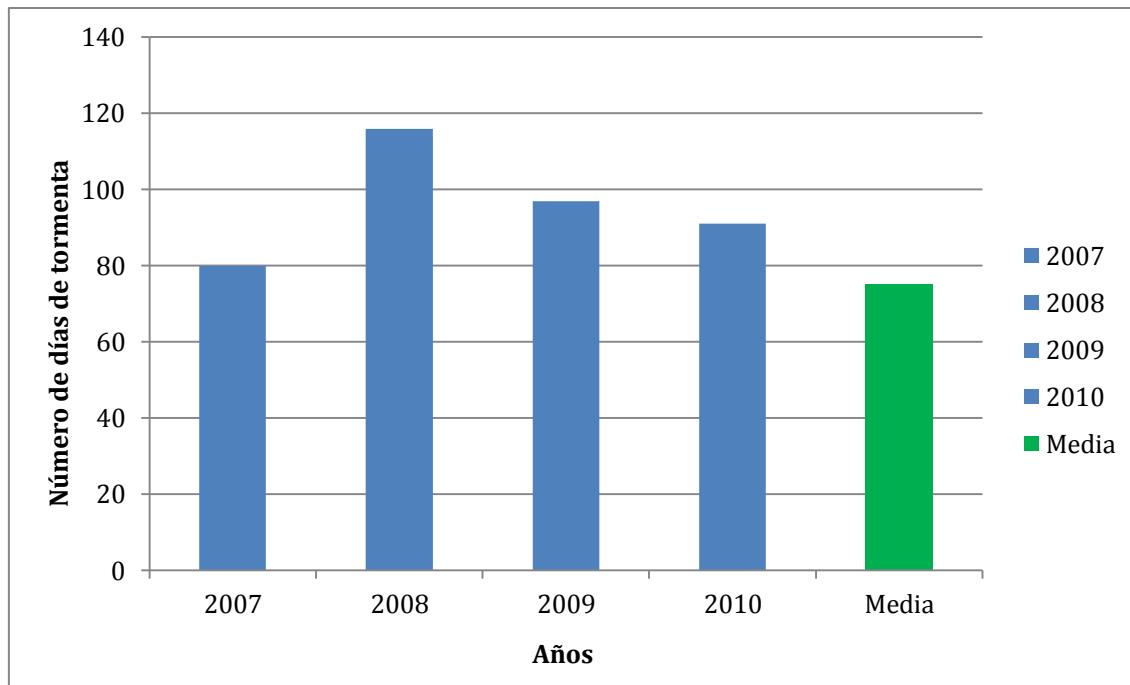
**Figura 35:** Número de días de tormenta eléctrica por año en la provincia de Huesca en el período 2007-2010

Fuente: Elaboración propia – Datos IAEST (2015)



**Figura 36:** Número de días de tormenta eléctrica por año en la provincia de Teruel en el período 2007-2010

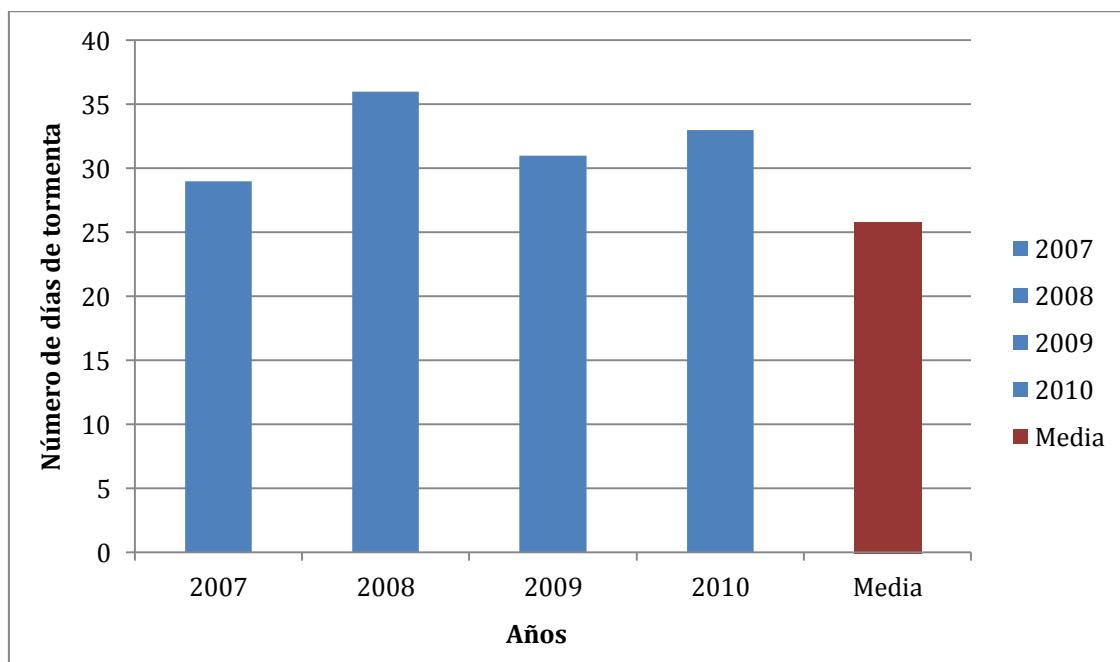
Fuente: Elaboración propia – Datos IAEST (2015)



**Figura 37:** Número de días de tormenta eléctrica por año en la provincia de Zaragoza

Fuente: Elaboración propia – Datos IAEST (2015)

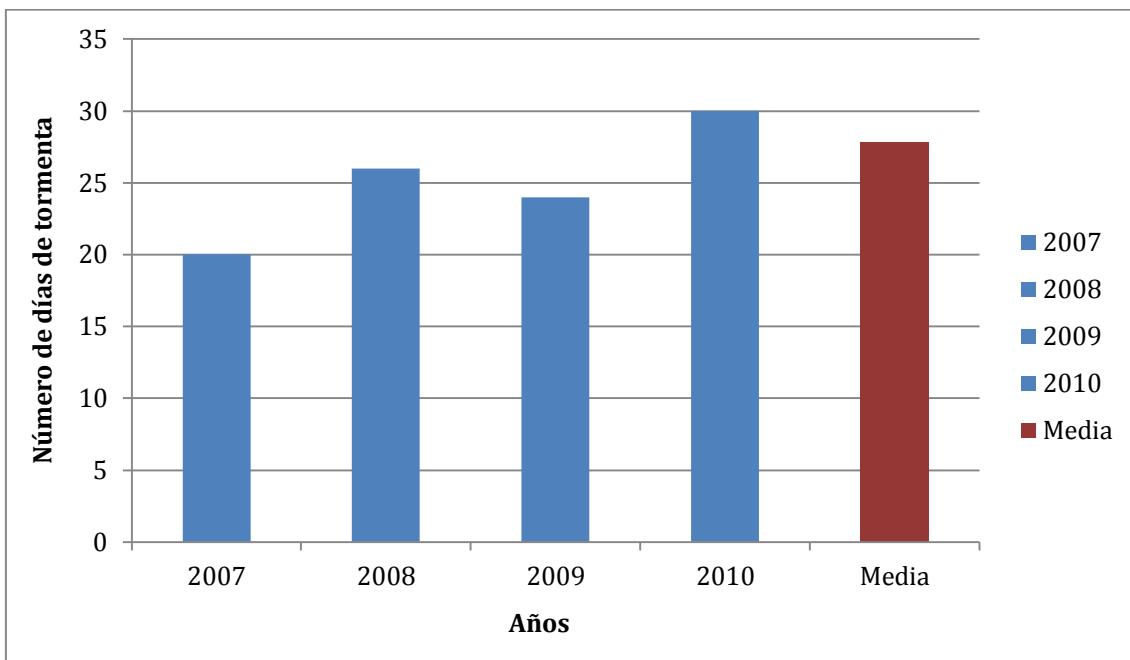
#### Estudio de actividad tormentosa por capitales de provincia de Aragón



**Figura 38:** Número de días de tormenta eléctrica por año en la ciudad de Huesca

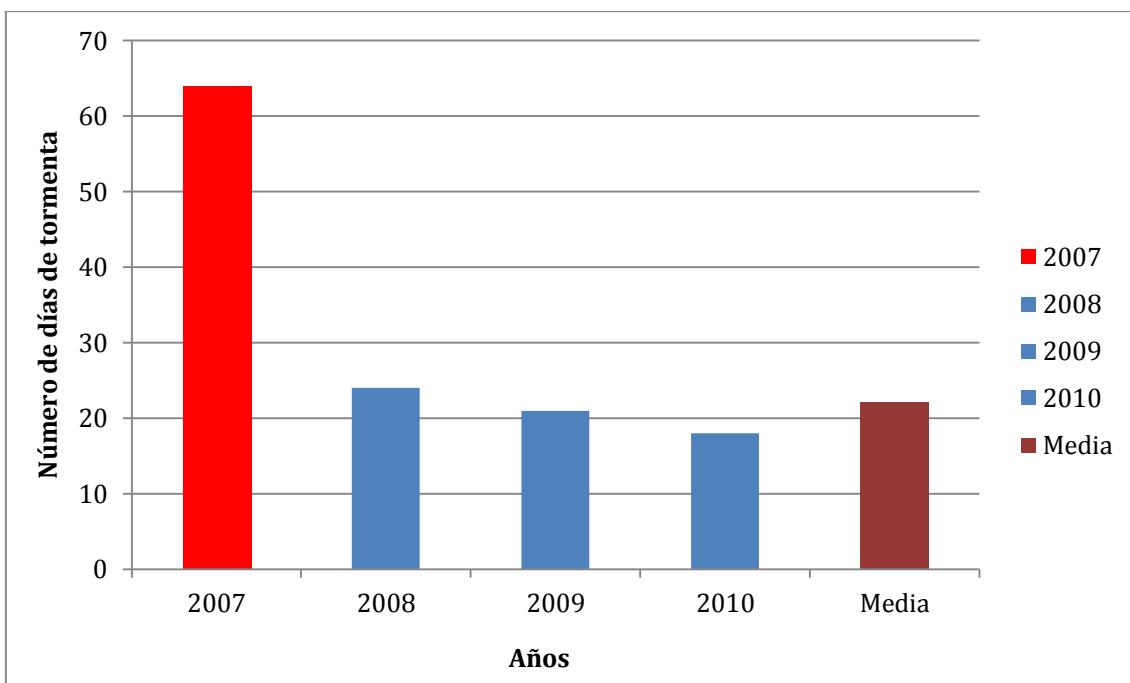
(2007-2010)

Fuente: Elaboración propia - Datos IAEST (2015)



**Figura 39:** Número de días de tormenta eléctrica por año en la ciudad de Teruel (2007-2010)

**Fuente:** Elaboración propia – Datos IAEST (2015)



**Figura 40:** Número de días de tormenta eléctrica por año en la ciudad de Zaragoza (2007-2010)

**Fuente:** Elaboración propia – Datos IAEST (2015)

\*Las medias han sido extraídas del documento Climatología de tormentas en España (Jorge Gonzalez Márquez)

Para finalizar este apartado se concluye lo siguiente de las **figuras 35 a la 40** en relación con la actividad tormentosa y los eventos hidrometeorológicos extremos en Aragón:

- De los cuatro años de estudio de cada capital de provincia aragonesa (12 años), solo en uno se registra un número de días de tormenta anual muy por encima de los valores normales de la media anual. Concretamente este se sitúa en la provincia de Zaragoza, en el año 2007 cuando se produjeron más de 60 días de tormenta al año, esto es tres veces la media (20 días).
- De los cuatro años de estudio de cada territorio provincial de Aragón (12 años) solamente en dos se han producido anomalías. Estos han sido la provincia de Teruel en los años 2007 y 2008 donde se han producido respectivamente más de 160 tormentas al año y casi 240 tormentas al año (la media está en 80).
- En ningún caso se ha producido en los años estudiados, ninguna anomalía de tormentas a la baja, por el contrario, si se han producido anomalías, ha sido al alza.
- Los resultados son de una validez escasa pues no se analiza un número alto de años y esto es debido por la poca información pública existente que se ha encontrado.

## 5.6 Las técnicas de reducción de escala (*downscaling*)

Hasta ahora se han utilizado modelos globales que daban un patrón de las pautas de precipitación a escala planetaria y se ha podido estudiar de una manera efectiva lo que ocurrirá en este siglo en el continente europeo. Sin embargo, si profundizamos en un territorio concreto, es decir, si disminuimos la escala de estudio, por ejemplo, hacemos referencia a Aragón serán necesarias la utilización de otras técnicas que produzcan datos de predicción más concretos y detallados ya que obviamente la utilización de los anteriores modelos no sirve para el estudio a largo plazo de un territorio concreto localizado. Según el IPCC en su tercer informe del año 2001, los modelos regionales del clima (en adelante, RCM) son considerados como la técnica más prometedora para realizar proyecciones realistas de cambio climático a escala regional. ([Oficina Española de Cambio Climático y Universidad de Castilla La Mancha, 2005](#))

Existe una demanda creciente de proyecciones regionalizadas de cambio climático consecuencia de los distintos escenarios de emisión a la atmósfera de GEI, para ser utilizadas como entradas en modelos de análisis de impactos en ecosistemas y sectores económicos y sociales sensibles a las condiciones climáticas. ([Petisco de Lara, S. E., 2008](#))

Todas estas proyecciones se construyen a partir de la información suministrada por modelos climáticos globales que tratan de reproducir el comportamiento del sistema climático en función de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera, derivadas de diversos escenarios de emisión. [\(Petisco de Lara, S. E., 2008\)](#)

No obstante, hay que tener en cuenta que la actual resolución de los modelos climáticos no es suficientemente fina como para suministrar datos climáticos en alta resolución espacial o en puntos geográficos localizados, que en realidad son los que interesan en un análisis de impactos. Se hace, pues, necesario emplear técnicas o procedimientos que permitan inferir, en base a los datos de baja resolución mejor simulados por los modelos climáticos, información localizada de parámetros de interés para el analista de impactos. Esto se trata de conseguir mediante las **técnicas de mejora de resolución o regionalización o *downscaling*** según la nomenclatura inglesa. [\(Petisco de Lara, S. E., 2008\)](#)

Existen dos tipos básicos de *downscaling*:

- **Downscaling estadístico:** Se basa en encontrar relaciones empíricas y/o estadísticas entre las variables mejor simuladas (presión, geopotencial, temperatura o parámetros derivados) en baja resolución por los modelos climáticos, y las variables de interés en la zona de estudio. Estas relaciones se buscan en una base de datos de referencia observados y después se aplican a los datos simulados por los modelos obteniéndose así estimaciones de las variables climáticas en la zona de interés, siempre bajo la hipótesis de que las relaciones obtenidas siguen manteniéndose válidas.
- **Downscaling dinámico:** Se basa en el aumento de resolución de los modelos en el área donde se sitúan las zonas de estudio. Esto puede hacerse aumentando directamente la resolución en dicha área, o bien anidando en el modelo climático de baja resolución un modelo de área limitada de alta resolución. La aplicación conjunta de ambos procedimientos (dinámico y estadístico) en un *downscaling* dinámico-estadístico puede aprovechar las ventajas de los dos tipos de *downscaling*. [\(Petisco de Lara, S. E., 2008\)](#)

La dificultad para realizar una síntesis global y con carácter comparativo de los resultados obtenidos en los diversos análisis y estudios sobre las tendencias recientes de las variables climáticas en un territorio como Aragón es evidente. Entre las razones que explican este alto esfuerzo destacan la utilización de distintos períodos de observación, la variedad de métodos con que se aborda el tratamiento estadístico de los datos, la diferente cobertura espacial y la propia complejidad del territorio. Por ejemplo, a escala española, no cabe duda que la temperatura ha aumentado

notablemente en el último cuarto de siglo, sin embargo, la precipitación no ha mostrado un patrón definido en el conjunto del Estado. ([Petisco de Lara, S. E., 2008](#))

Precisamente las irregularidades espaciales y temporales que se aprecian en los cambios proyectados en las precipitaciones indican la mayor incertidumbre que presentan, si se comparan con los obtenidos para el caso de las temperaturas. Esto se debe esencialmente a que la ocurrencia de precipitación en cualquier lugar y momento está ligada a procesos físicos que resultan más difíciles de simular correctamente por los modelos. Mientras que los procesos que determinan la temperatura del aire junto al suelo están más condicionados por la estacionalidad de la radiación solar que llega al planeta a lo largo del año, cuyo cálculo se realiza con mucha certidumbre. ([OECC y UCLM, 2005](#))

El procedimiento más razonable para reducir la incertidumbre de las proyecciones de cambios en las precipitaciones es considerar los resultados proporcionados por un conjunto de Modelos AOGCM (del inglés *Atmosphere-Ocean General Circulation Model*) que son los Modelos de Circulación General de la atmósfera. ([OECC y UCLM, 2005](#))

Aunque los resultados de proyecciones de clima obtenidos con diversos AOGCM presentan razonables semejanzas a escala global, cuando se consideran escalas regionales las distribuciones de temperatura y, sobre todo, de precipitación muestran notables discrepancias.

## 5.7 Proyecciones de precipitación para Aragón hacia final de siglo

Los estudios realizados de cambio climático a escala estatal son una manera importante de entender la climatología que va a suceder en la península ibérica como consecuencia del cambio climático. Son un espejo importante para conocer las predicciones de las variables importantes que cambian a lo largo del tiempo, como consecuencia del cambio climático, como la precipitación o la temperatura. Los estudios más importantes realizados que se van a tener en cuenta a la hora de evaluar las proyecciones en Aragón han sido principalmente dos informes, que se van a tratar a continuación.

Según el informe realizado por el ministerio de medio ambiente en el año 2005 “Evaluación Preliminar de los Impactos en España por Efecto del Cambio Climático” basado en el AR3 del IPCC del año 2001, las conclusiones más relevantes resumidas de manera esquemática se presentan en el siguiente cuadro. Para ello, se ha considerado el grado de consenso entre los diversos modelos climáticos disponibles, de manera

que la certeza más elevada se asigna a aquellos cambios en los que todos los modelos coinciden disminuyendo el grado de certidumbre a medida que lo haga el número de modelos coincidentes. La certeza más baja corresponde a cuando solo un grupo minoritario de modelos ofrecen resultados similares. ([OECC y UCLM, 2005](#))

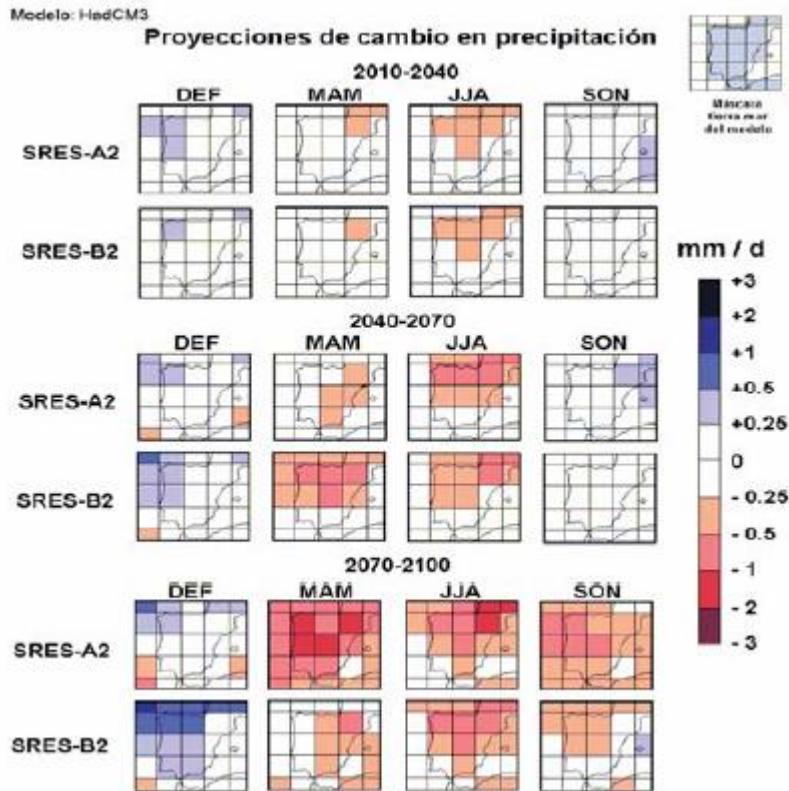
Certidumbre	Cambios climáticos más relevantes proyectados en España
*****	Tendencia progresiva al incremento de las temperaturas medias a lo largo del siglo
*****	La tendencia al calentamiento es más acusada en el escenario de emisiones más aceleradas (SRES-A2)
*****	Los aumentos de temperatura media son significativamente mayores en los meses de verano que en los de invierno, con valores intermedios en los demás.
****	El calentamiento en verano es superior en las zonas del interior que en las cercanas a las costas o en las islas
****	Tendencia generalizada a una menor precipitación acumulada anual en ambos escenarios de emisiones a lo largo del siglo
***	Mayor amplitud y frecuencia de anomalías térmicas mensuales en relación al clima actual
***	Más frecuencia de días con temperaturas extremas en la Península, especialmente en verano
***	La mayor reducción de precipitación en la Península se proyecta en los meses de primavera en ambos escenarios de emisiones
**	Aumento de precipitación en el oeste de la Península en invierno y en el noreste en otoño.
**	Los cambios de precipitación tienden a ser más significativos en el escenario de emisiones más aceleradas (SRES-A2)

(\*\*\*\*\* certeza muy alta, \*\*\*\* certeza alta, \*\*\* certeza media, \*\* certeza baja)

**Figura 41:** Cambios climáticos más relevantes proyectados en España  
**Fuente:** OECC y UCLM (2005)

Como se puede observar, hay una **probabilidad alta** de que la precipitación acumulada anual para cualquier escenario de emisiones a final de siglo sea menor. Sin embargo, la probabilidad disminuye a **media** cuando se afirma que la mayor reducción de precipitación en la Península se proyecta en los meses de primavera en ambos escenarios de emisiones. Además, muy pocos modelos coinciden en que los cambios de precipitación tiendan a ser más significativas en el escenario de emisiones más aceleradas (SRES-A2), presentando esto una probabilidad **baja**. Hay que contar que en este informe en su publicación (año 2005) las tecnologías de regionalización no eran aún muy utilizadas y que en años posteriores se realizan importantes avances para la concreción de las predicciones en un territorio mediante estas técnicas.

Por tanto, en la **figura 41** se presentan los cambios absolutos proyectados en las precipitaciones estacionales a lo largo del siglo con respecto al periodo climatológico 1960-1990, expresados en mm/día. Para deducir los cambios en la precipitación acumulada en cada estación habría que multiplicar los valores en mm/día por el número de días de dicho periodo, es decir 90, pues en las simulaciones con modelos climáticos los años se consideran con una duración uniforme de 360 días.



**Figura 42:** Proyecciones de cambio de precipitación media (en mm / día), promediadas para cada estación del año (DEF invierno, MAM primavera, JJA verano y SON otoño), correspondientes a tres períodos del siglo 21: 2010-2040 2040-2070 y 2070-2100, y a dos escenarios SRES de emisiones (A2 y B2). Las simulaciones se realizaron con el modelo HadCM3 y los resultados se tomaron del IPCC-DDC.

Fuente: OECC y UCL (2005)

Como se observa en la **figura 42**, el cambio en la precipitación se representa igualmente mediante comparaciones promediadas anual y mensualmente para tres períodos de 30 años que abarcan desde 2011 hasta 2100. Como en el caso de la temperatura, la discusión se restringe al comportamiento de los valores medios tanto anuales como mensuales. ([Brunet et al., 2009](#))

Como se observa en la **figura 42** el cuadrado nordeste de la península ibérica que engloba el territorio aragonés, parte del catalán y navarro, para ambos escenarios de emisiones estudiados las precipitaciones disminuyen principalmente en la estación de primavera y en período estival y en segunda mitad de siglo. También se contemplan bajadas de precipitación en los últimos treinta años del siglo en la estación otoñal. Como escenario de mayor emisiones el A2 respecto al B2 hay una relación entre una mayor bajada de precipitación con escenarios de más emisiones. En este modelo se indica que en los meses invernales prácticamente no hay diferencia de precipitaciones.

En el informe siguiente llamado “Generación de Escenarios regionalizados de cambio climático en España” como su propio nombre indica, el informe presenta en su sección 6 los resultados de las proyecciones regionalizadas (por comunidades autónomas) que se generan en el marco de este proyecto. Es muy novedoso este trabajo pues realiza las primeras proyecciones de las distintas regiones de España sobre la influencia del cambio climático a través de sus parámetros climáticos (temperatura y precipitación).

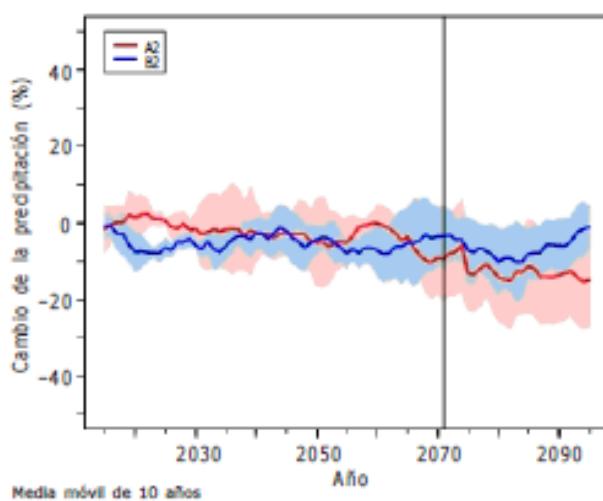
En él se utilizan las técnicas de regionalización por reducción de escala con el método estadístico. Se utilizan análogos sinópticos del antiguo Instituto Nacional Meteorológico como de la Fundación de Investigación del Clima. Los escenarios de emisión SRES utilizados son el A2 y el B2 y para aplicar la técnica de regionalización, a diferencia del anterior trabajo este utiliza cuatro modelos de circulación general por tanto sus resultados serán mucho más concretos y fiables que el anterior informe. Todo lo anterior mencionado se expone en la figura siguiente.

Métodos empíricos	Modelos globales				
	ECHAM4	HadCM3	HadAM3H	CGCM2	HadCM2SUL
Analog(FIC)	A2, B2		A2,B2	A2,B2	
Analog(INM)	A2, B2		A2	A2,B2	IS92a
SDSM		A2,B2			
Índices	A2,B2		A2	A2,B2	IS92a

**Figura 43:** Proyecciones regionalizadas con los métodos estadísticos utilizados. Los datos diarios de las proyecciones se refieren al período 2011-2100 y el período de control al período 1961-1990 y a las variables: precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima.

**Fuente:** Brunet M. et al. (2009)

Los resultados de estos modelos globales asociados a las diferentes metodologías empíricas aplicadas y contrastados con el período de control 1961-1990 de las estaciones meteorológicas estudiadas ubicadas en territorio aragonés, arroja la siguiente gráfica de cambio de precipitación (%) referida al período 2011-2100 en el ámbito de la comunidad autónoma de Aragón.



**Figura 44:**  
Cambio de la precipitación (%) en Aragón en el horizonte de 2100  
**Fuente:** Brunet M. et al. (2009)

Las proyecciones basadas en el escenario de emisión SRES B2 no muestran comportamientos significativamente diferentes en cuanto a estructuras, no así en cuanto a valores, de las mostradas para el escenario A2. ([Brunet M. et al., 2009](#)). En un escenario de mayores emisiones (A2) respecto al escenario (B2) menores emisiones de GEI los cambios en precipitación son significativamente mayores en cuanto a descensos. Sin embargo, claramente se concluye como la precipitación disminuye en incertidumbres más pesimistas en torno a un 20%. Claramente también, se visualiza como la precipitación disminuye y en ningún de los dos escenarios de emisión parece que aumenten las lluvias hacia final de siglo en la región aragonesa.

Pero sin duda, el informe que ofrece un exhaustivo análisis sobre los impactos del cambio climático en Aragón es el publicado en diciembre del 2009 titulado “Generación de escenarios de cambio climático en Aragón” y que concretará mejor sus resultados en el artículo científico publicado en julio 2013 titulado *“Climate change scenarios and precipitation in Aragón (Spain)”*

Los resultados dados, generan algunas dudas en torno a la precipitación. Los métodos de reducción de escala (*downscaling*) generan una incertidumbre asociada a los escenarios de precipitación, la cual es común para todos ellos. Esto es debido a la dificultad encontrada con la variable precipitación debido a su alta variabilidad espacial (diferencia topográfica en el territorio aragonés muy significativa) y heterogeneidad temporal. Además, parte de la precipitación causada por estructuras atmosféricas de pequeña escala (en el espacio y el tiempo), como pueden ser acciones tormentosas, no se puede resolver en la resolución de la MCG, por tanto, el resultado de verificación de las estaciones con una mayor actividad convectiva se espera que sea mucho más pobre que los de estaciones con menos precipitación convectiva. También es posible que un GCM específico podría proporcionar mejores resultados para algunas áreas que para otros (por ejemplo, para las estaciones en una ladera de una montaña, si ese GCM representa mejor las condiciones atmosféricas provocando lluvias en esa pendiente, por ejemplo, sistemas frontales en una cierta latitud). Por consiguiente, los resultados de las precipitaciones se deben usar con mucha mayor cautela que por ejemplo, los resultados de las temperaturas.

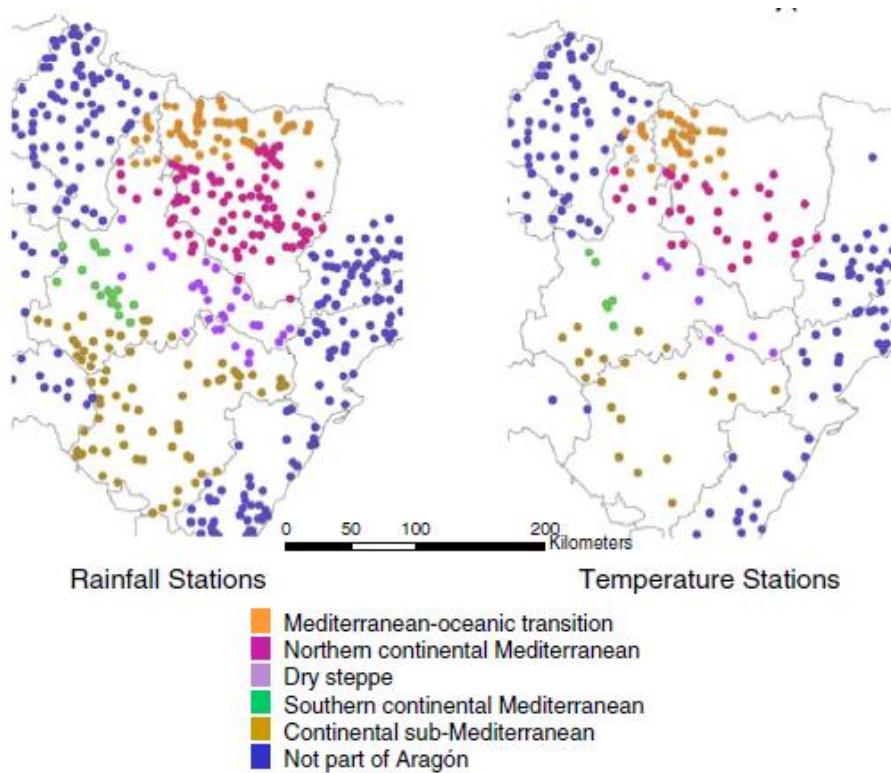
En este informe se aplica una técnica de reducción de escala estadística doble (análogo/regresión) la cual es desarrollada por la Fundación para la Investigación del Clima. En algunos de estos proyectos, esta metodología se utiliza con otras tecnologías de reducción de escala como la dinámica. La comparación de estas, origina una excelente verificación de los resultados. ([Ribalaygua et al. 2013](#))

Uno de los puntos fuertes de este estudio es el uso de bases de datos meteorológicos largas y estandarizados registros meteorológicos, que datan de aproximadamente 50 años y sumado a ello se le proporcionó 267 estaciones de temperatura y 563 estaciones de precipitación a partir de la Agencia Española de Meteorología (AEMET) y el Gobierno de Aragón. En las figuras siguientes se puede observar los puntos en las que están situadas todas ellas además de la clasificación que realiza el estudio sobre la ubicación climática que se ubican.

	Temperatura	Precipitación
Transición Mediterránea	33	56
Mediterráneo Norte	34	90
Mediterráneo Sur	6	18
Submediterráneo Continental	21	72
Seco Estepario	10	31
<b>Total Aragón</b>	<b>104</b>	<b>267</b>
<b>Total Aragón y provincias limítrofes</b>	<b>257</b>	<b>563</b>

**Figura 45:** Número de estaciones usadas en el estudio

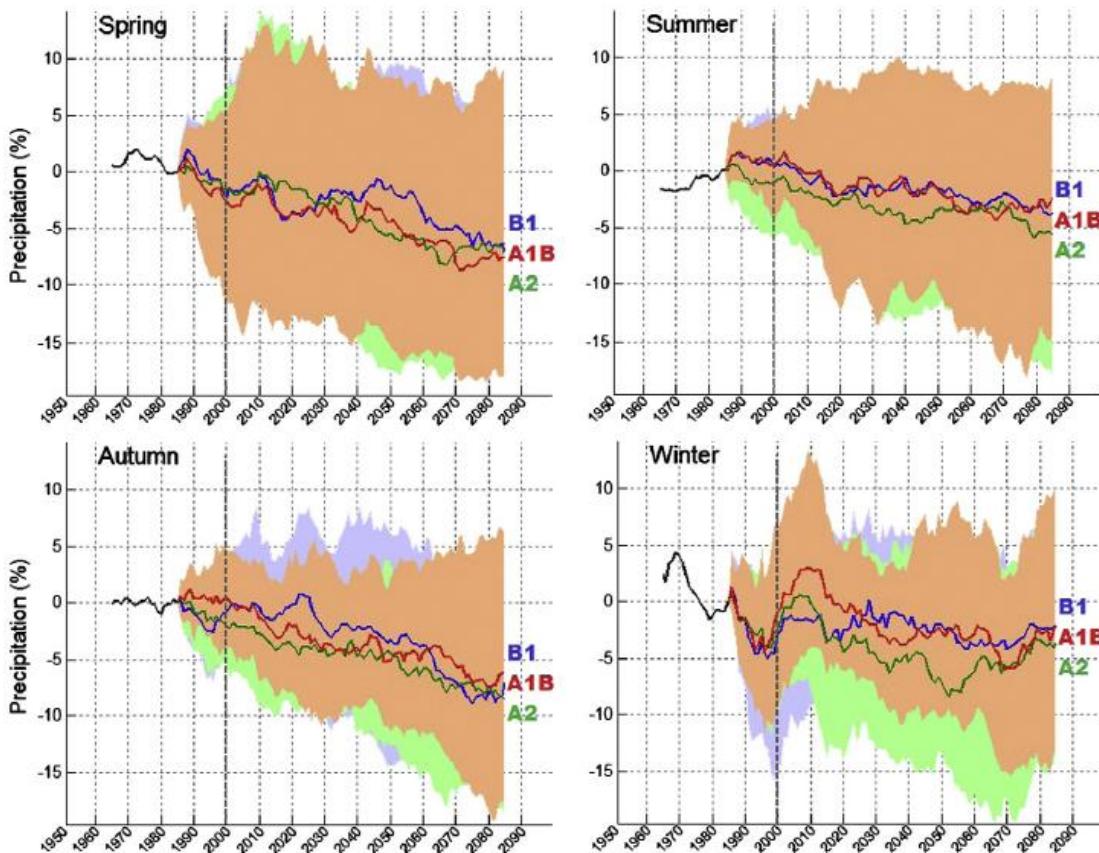
Fuente: Fundación para la Investigación del Clima (2009)



**Figura 46:** Ubicación de las estaciones meteorológicas de temperatura (267) y precipitaciones (563) utilizado en el estudio, y la zona climática a la que pertenecen. Estaciones de la periferia de Aragón se muestran en azul oscuro.

Fuente: Ribalaygua et al. (2013)

En este documento se estudian tres escenarios SRES de emisiones, el B1, A1B y A2. Los tres escenarios sugieren un descenso moderado de las precipitaciones a lo largo del siglo XXI, **especialmente en otoño** (en aproximadamente un 9%), **seguido por la primavera** (7%) y en muy pocas cantidades tanto en verano como en invierno (menos de 5%). Tal como se comenta, estos descensos no siguen un patrón tan claro como el de la temperatura. Tanto la primavera y el otoño, que son las estaciones más húmedas de Aragón parece claro que disminuirá en ambas de manera clara. En términos de precipitación anual total, las zonas submediterránea norte y continental experimentarán mayores disminuciones que en el sur, donde se prevé una disminución también pero con una ligera compensación debido a un pequeño aumento en las lluvias de verano. [\(Ribalaygua et al. 2013\)](#) En la figura siguiente se visualizan los descensos de precipitación según estación del año y escenario de emisiones a lo largo del siglo XXI.



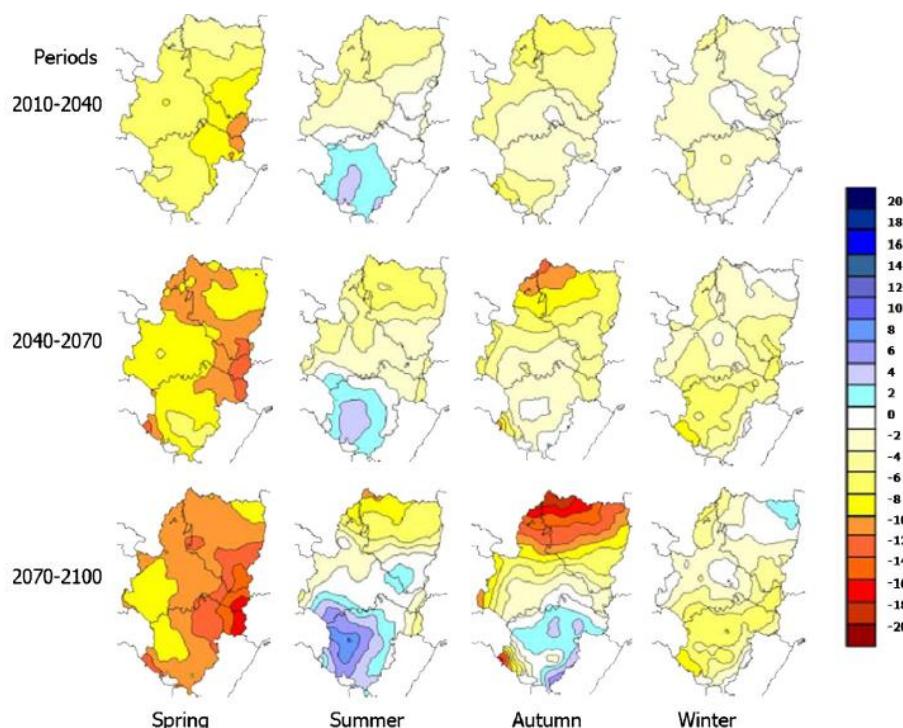
**Figura 47:** Los cambios esperados en las precipitaciones de la temporada del año y para cada uno de los escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero de tres elegidos. El aumento esperado se muestra como una media (Línea) junto con la desviación estándar (sombreado en el mismo color).

Fuente: Ribalaygua et al. (2013)

\* Las zonas sombreadas expresan los márgenes de incertidumbre y corresponden a  $\pm$  una desviación típica en torno al valor medio.

Las simulaciones derivadas de la reducción de escala de los tres escenarios utilizados en el proyecto resultado (A1, B1 y A1B) son sorprendentemente bastante similares. Todas las simulaciones indican la disminución de las precipitaciones, aunque en diferentes magnitudes. Lo curioso de los tres escenarios es su comportamiento de manera bastante similar ya que no muestran el cambio en las tendencias que se observaron para la temperatura. Este cambio de dirección en la precipitación va acorde con los resultados de la validación de la precipitación de los procesos descritos anteriormente. [\(Ribalaygua et al. 2013\)](#)

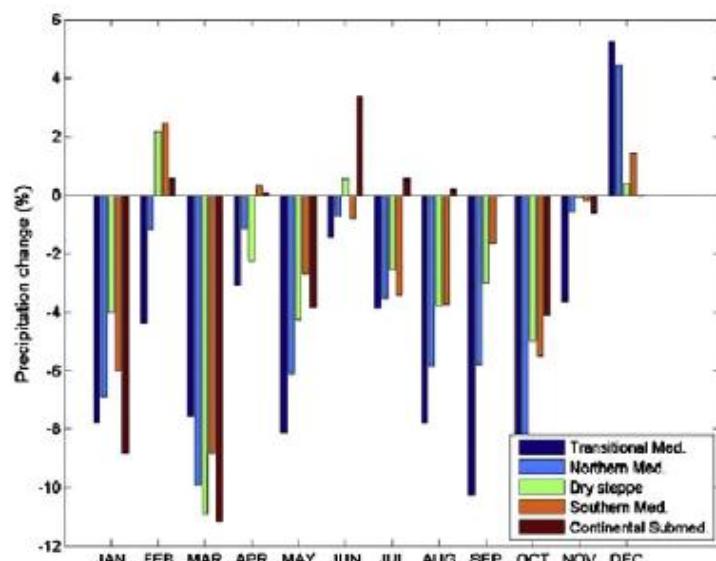
El área central de Aragón en la que se sitúa el valle del Ebro, tendrá variaciones generalmente menos significativas en la precipitación. Esto de por sí ya es evidente dada la escasa pluviometría existente que encontramos en la zona. Por el contrario, este estudio indica que la primavera será mucho más seca que actualmente en la región. La parte norte de Aragón (descrita como Transición Mediterráneo) y Áreas mediterráneas continentales del Norte podrían sufrir más de disminución de las precipitaciones en todas las estaciones, sobre todo en otoño, con un máximo a 12% menos de precipitación, seguido por la primavera (aproximadamente 8%) y ligeramente menor en verano. No hay ningún cambio claro en invierno. [\(Ribalaygua et al. 2013\)](#) La figura siguiente, explica lo mencionado anteriormente.



**Figura 48:** Representación geográfica del porcentaje de variación de precipitación en Aragón durante el siglo XXI  
**Fuente:** Ribalaygua et al. (2013)

Como se aprecia en la **figura 48**, los descensos pluviométricos son generalizados en la totalidad del territorio de Aragón salvo en ciertas zonas de Teruel. Los mayores descensos se dan en la primavera en todo el territorio, probablemente asociados a la disminución de frentes atmosféricos que barren la comunidad durante la estación debido a un aumento de las condiciones anticiclónicas. Seguidamente, el otoño tendría los descensos más acusados, sobre todo al norte de la comunidad (zona pirenaica) y muy notablemente en toda la provincia de Huesca y en la comarca de Cinco Villas, en la provincia de Zaragoza. Por el contrario, a final de siglo, las precipitaciones aumentarían homogéneamente en la provincia turolense en los meses estivales y otoñales seguramente debido al tradicional carácter convectivo que tiene la provincia referido a las tormentas. Este aumento estaría asociado a más intensos aguaceros debido a fenómenos hidrometeorológicos extremos de carácter tormentoso. Con toda seguridad, estas estaciones estarán más marcadas por el aumento de la evaporación regional marcada por el incremento de la temperatura en el planeta que por la presencia de masas de aire húmedas que provengan del océano Atlántico o del Mediterráneo. Además, como se percibe en la **figura 48**, la estación que sufriría menos cambios en las precipitaciones sería el invierno que no contemplaría grandes cambios, salvo descensos moderados en zonas de la provincia de Teruel.

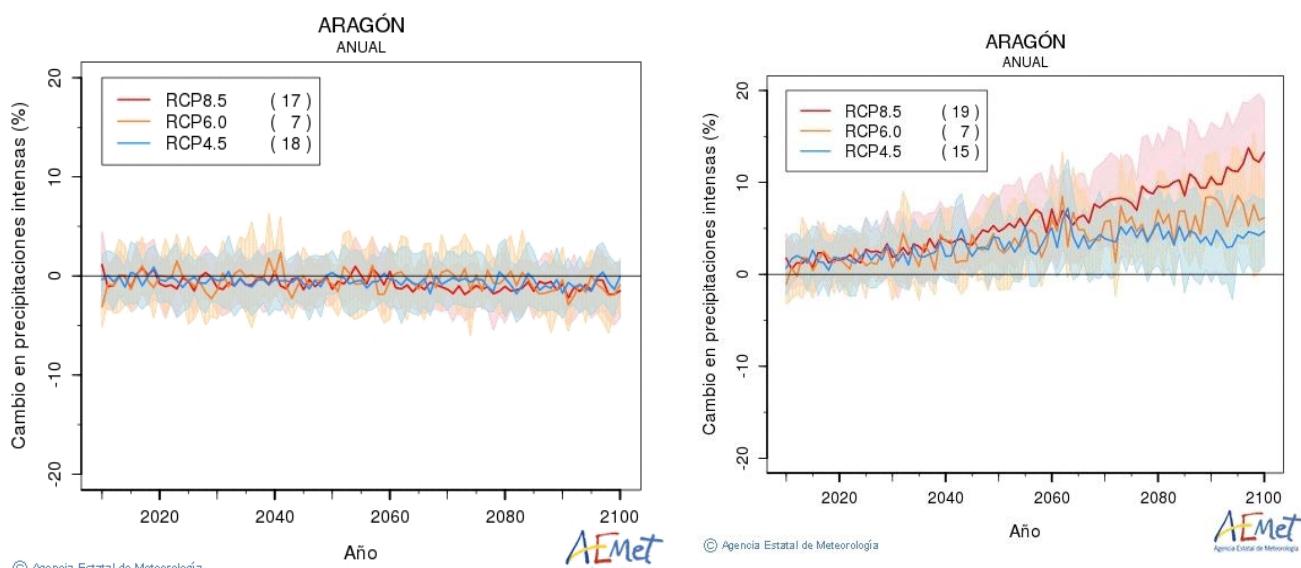
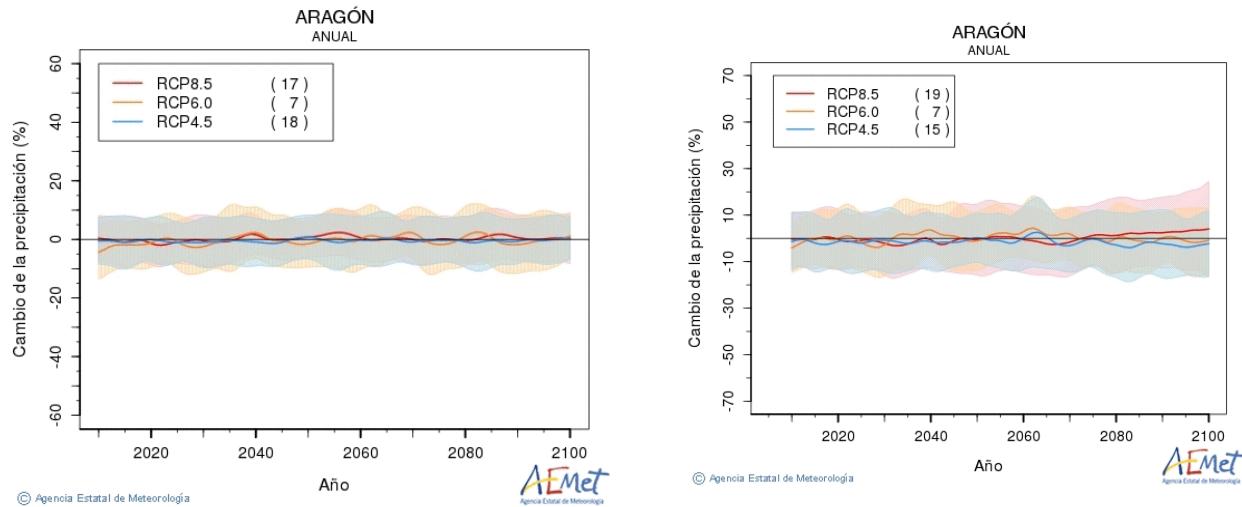
En la **figura 49**, se calcula la variación de la precipitación según los climas definidos en la figura 46. Los mayores descensos, de hasta el 12%, se dan en meses como marzo y octubre. Únicamente se observan aumentos en meses invernales como diciembre o febrero sobre todo en climas del norte de la comunidad, y algún mes estival debido a fenómenos tormentosos en la provincia de Teruel.



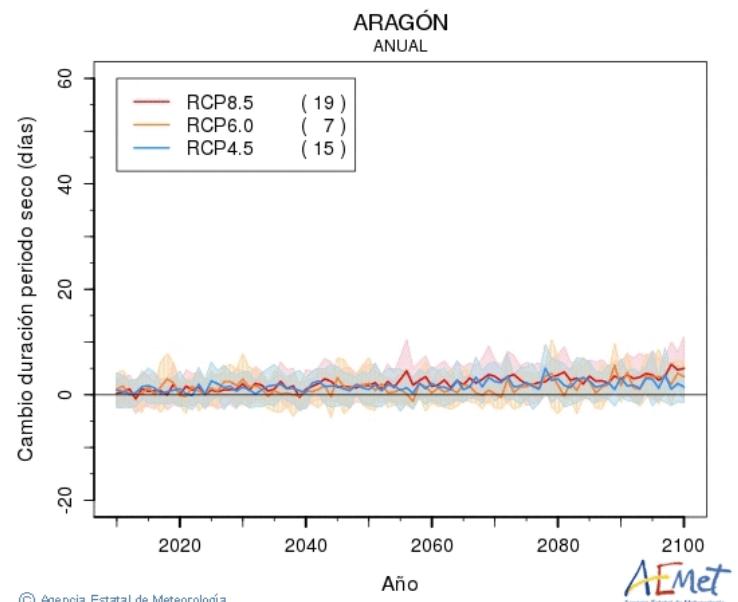
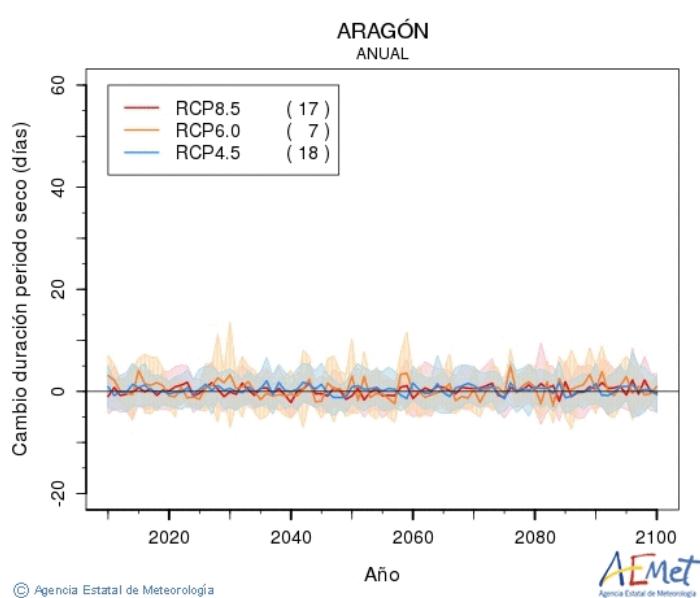
**Figura 49:** Incrementos esperados en las cantidades de precipitación (inferior) en cada región climática de Aragón durante el período que abarca 2040-2070 de la simulación basada en el escenario A1B.

Fuente: Ribalaygua et al. (2013)

Los modelos más novedosos realizados a día de hoy, corresponden a los modelos hechos por la Agencia Estatal de Meteorología, y corresponden a gráficas regionalizadas de todas las comunidades autónomas de España, con los nuevos escenarios de emisiones del IPCC presentados el año 2013, es decir las Trayectorias Representativas de Concentración (RCP) del informe AR5. Se exponen a continuación en las figuras siguientes.



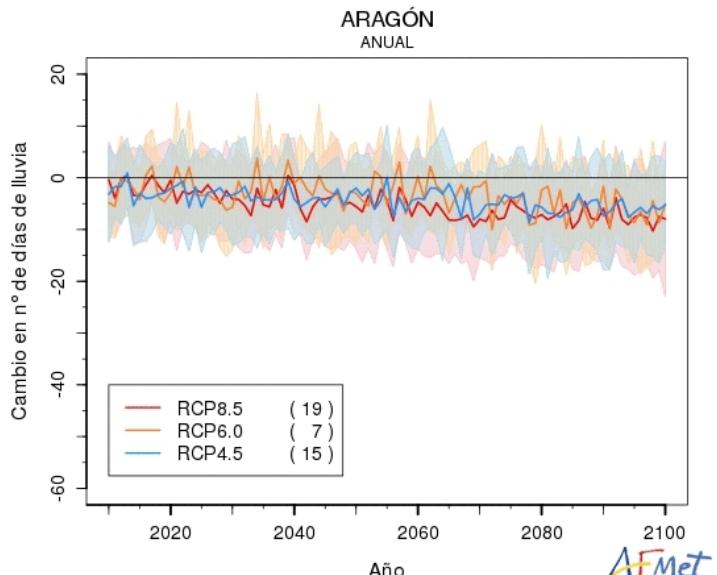
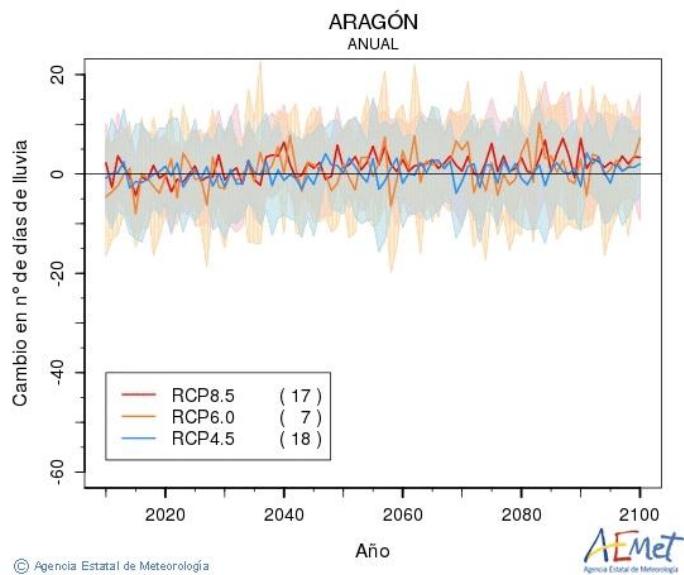
\* Las zonas sombreadas expresan los márgenes de incertidumbre y corresponden a  $\pm$  una desviación típica en torno al valor medio.



**Figuras 52:** Cambio en duración de períodos secos (días) por el método de regionalización estadística de análogos (izquierda) y el método de regionalización estadística de regresión (derecha)

Fuente: AEMET (2015)

\* Las zonas sombreadas expresan los márgenes de incertidumbre y corresponden a  $\pm$  una desviación típica en torno al valor medio.



desviación típica en torno al valor medio.

**Figuras 53:** Cambio en nº de días de lluvia (días) por el método de regionalización estadística de análogos (izquierda) y el método de regionalización estadística de regresión (derecha)

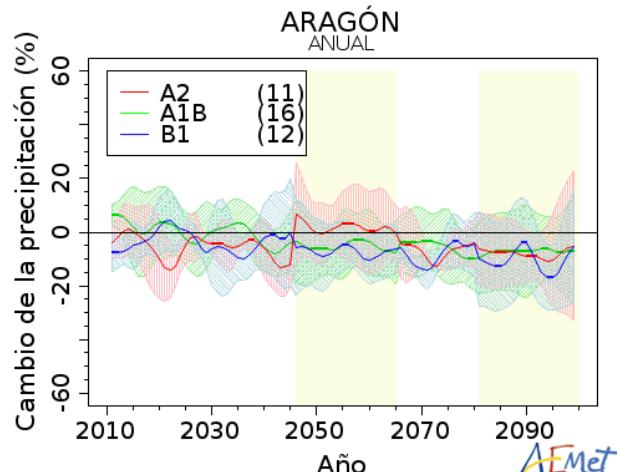
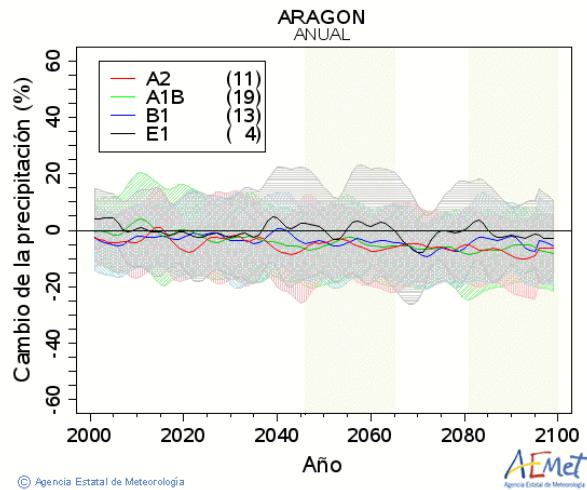
Fuente: AEMET (2015)

\* Las zonas sombreadas expresan los márgenes de incertidumbre y corresponden a  $\pm$  una desviación típica en torno al valor medio.

La precipitación es una variable de gran interés para el estudio de impactos del cambio climático. Sin embargo, su comportamiento estadístico se aleja bastante de la distribución normal, especialmente en el caso de las precipitaciones diarias, por lo que es preferible la utilización de métodos no basados en relaciones lineales como, por ejemplo, los fundamentados en la obtención previa de **análogos sinópticos**. ([Petisco de Lara, S. E. 2008](#)) Dicho lo cual, según el anterior autor las gráficas de la izquierda presentan una mayor fiabilidad predictiva que las de la derecha. Según Petisco de Lara, los modelos estadísticos de regresión (por estar basados en relaciones lineales) ofrecen una menor concreción y por tanto mayor incertidumbre.

De las gráficas expuestas, llama la atención el margen de incertidumbre que tienen que puede llegar incluso a un  $\pm 10\%$ . En cualquier caso, esta incertidumbre puede deberse a la influencia de factores locales no completamente controlables sinópticamente. ([Petisco de Lara, S. E. 2008](#))

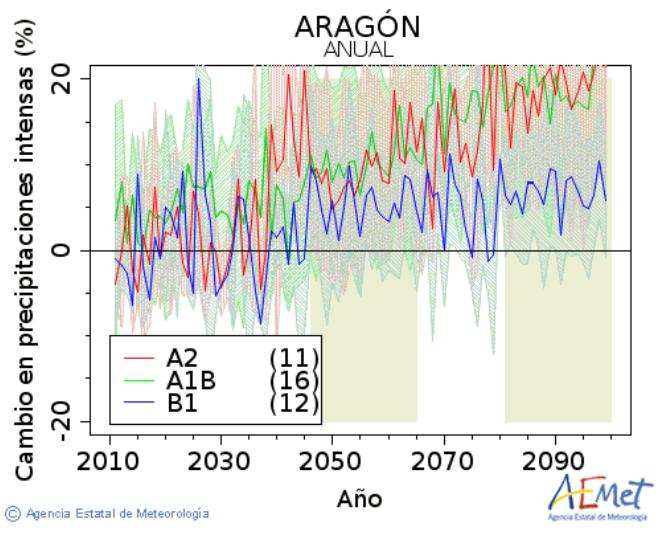
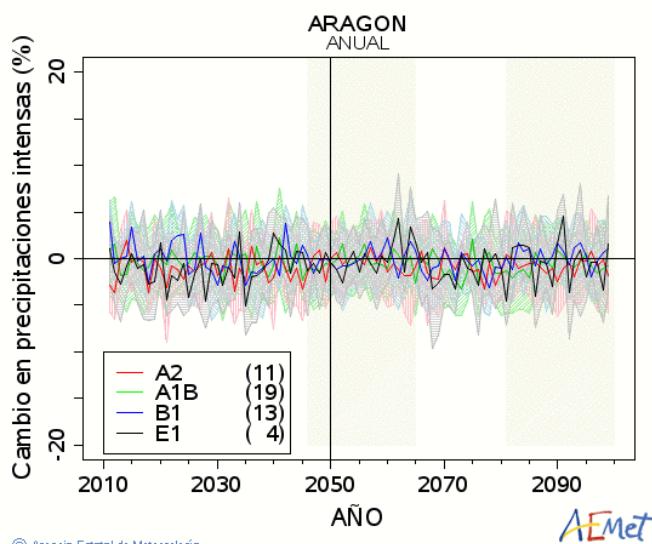
Al margen de la gran desviación típica que desprenden todas las gráficas, sorprende la constante tendencia de las proyecciones regionales estadísticas basadas en análogos sinópticos (gráficas de la izquierda) sin observar todas un claro aumento o disminución. Sin embargo, las gráficas de la derecha que son las proyecciones regionales estadísticas basadas en regresión lineal decantan la balanza hacia un aumento de los fenómenos meteorológicos extremos (que se agrava con escenarios de emisión mayores) y un pequeño descenso del número de días de lluvia. La precipitación total anual como el cambio de número de días de períodos secos no sufre variaciones al igual que los estadísticos por análogos. AEMET también realizó modelos para el informe AR4 y a diferencia del AR5, los hizo con los escenarios SRES del año 2000. Para concluir el apartado de resultados, se presentan todos estos gráficos elaborados por AEMET y se observa que respecto a las **figuras 50, 51, 52 y 53** no hay prácticamente diferencia en lo referido a variación de precipitación, precipitaciones intensas, períodos secos y cambio en número de días de lluvia.



**Figuras 54:** Cambio de la precipitación (%) por el método de regionalización estadística de análogos (izquierda) y el método de regionalización estadística de regresión (derecha)

Fuente: AEMET (2015)

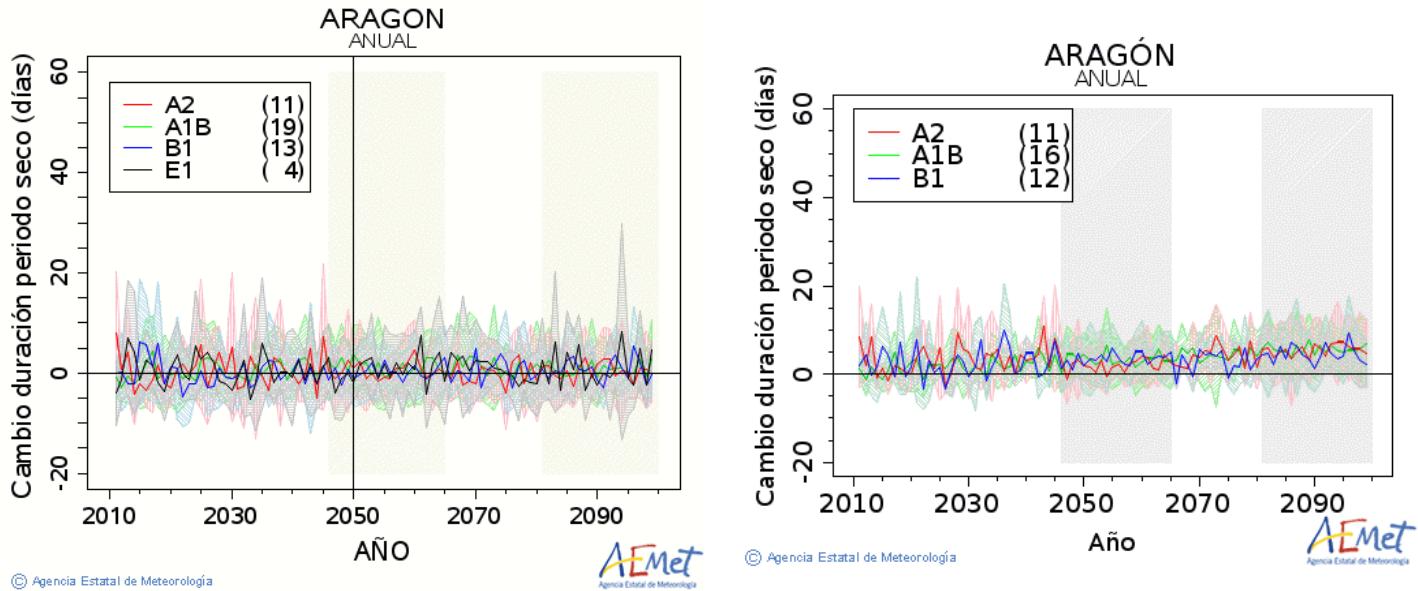
\* Las zonas sombreadas expresan los márgenes de incertidumbre y corresponden a  $\pm$  una desviación típica en torno al valor medio.



**Figuras 55:** Cambio en precipitaciones intensas (%) por el método de regionalización estadística de análogos (izquierda) y el método de regionalización estadística de regresión (derecha)

Fuente: AEMET (2015)

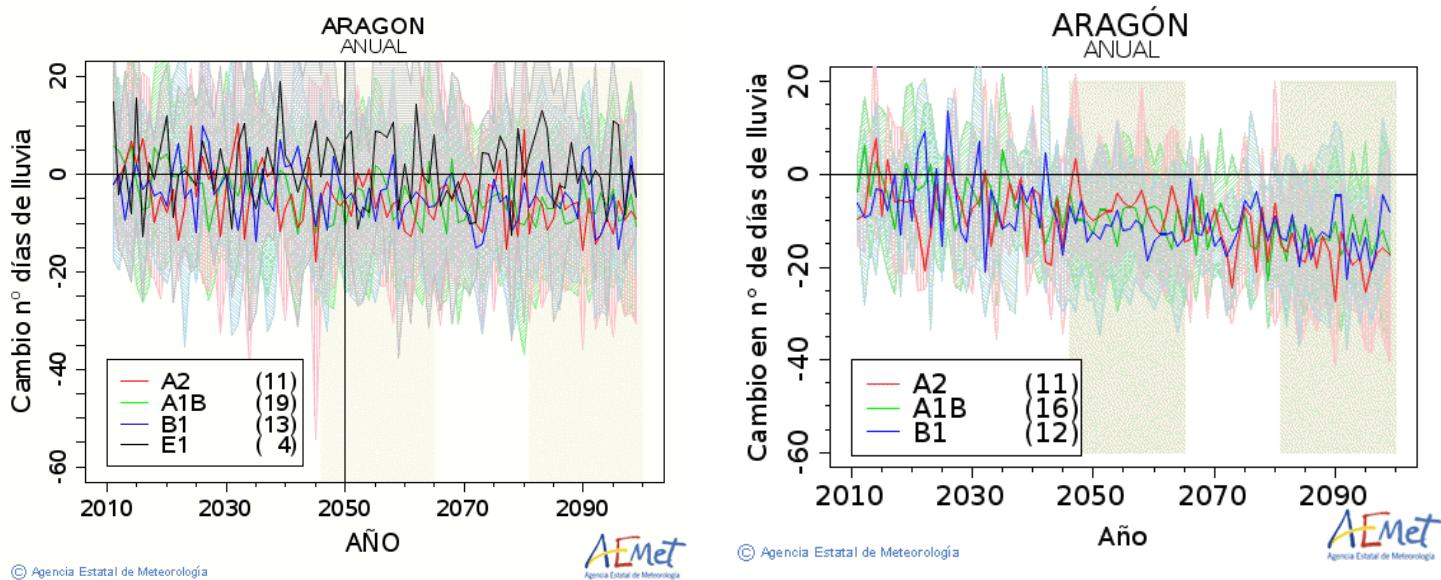
\* Las zonas sombreadas expresan los márgenes de incertidumbre y corresponden a  $\pm$  una desviación típica en torno al valor medio.



**Figuras 56:** Cambio en duración de períodos secos (días) por el método de regionalización estadística de análogos (izquierda) y el método de regionalización estadística de regresión (derecha)

Fuente: AEMET (2015)

\* Las zonas sombreadas expresan los márgenes de incertidumbre y corresponden a  $\pm$  una desviación típica en torno al valor medio.



**Figuras 57:** Cambio en nº de días de lluvia (días) por el método de regionalización estadística de análogos (izquierda) y el método de regionalización estadística de regresión (derecha)

Fuente: AEMET (2015)

\* Las zonas sombreadas expresan los márgenes de incertidumbre y corresponden a  $\pm$  una desviación típica en torno al valor medio.

## 6. CONCLUSIONES

Tras la exposición de los resultados y la discusión de los mismos, se han obtenido diez conclusiones principales que son:

- **PRIMERA.** La precipitación mundial ha aumentado en promedio debido a una mayor tasa de evaporación. Esto no impide que se incrementen las desigualdades de precipitación entre territorios como los ya citados norte/sur de Europa, o que en dicho continente se produzcan menos días de lluvia y más períodos de sequía.
- **SEGUNDA.** Las predicciones para el presente siglo indican una disminución de precipitaciones en el sur de Europa y aumentos en el norte del continente.
- **TERCERA.** Para el sur del continente no hay una pauta clara de disminución dependiendo de qué escenario de emisión se escoja, aunque todo apunta a que los escenarios de máximas emisiones darían lugar a las mayores tasas de descensos pluviométricos.
- **CUARTA.** Los eventos extremos de precipitación serán más abundantes, especialmente en las regiones extratropicales, como el ecuador o las zonas polares (latitudes altas). En Europa se intensificarán sobre todo en latitudes septentrionales debido a la alta cantidad de humedad del aire.
- **QUINTA.** Tras los datos analizados y la bibliografía revisada se concluye que en Aragón ha habido una reducción notable de las precipitaciones en el último medio siglo, principalmente en los meses de invierno y verano. Las zonas más castigadas por estos descensos de cantidad de lluvia han sido puntos del norte de la región, sobre todo el pirineo oriental, ciertas serranías de la provincia de Teruel y el valle del Ebro.
- **SEXTA.** Tras los análisis realizados de las últimas décadas en los municipios estudiados de Aragón se aprecia un aumento del número e intensidad de los eventos extremos de precipitación.
- **SÉPTIMA.** Los descensos de las precipitaciones se pueden atribuir a la pérdida de sistemas frontales procedentes del Atlántico, debido a reforzamientos de las condiciones anticiclónicas en estas latitudes. Por el contrario, el aumento de los fenómenos de precipitación extremos puede deberse a las mayores tasas de

evaporación sobre todo en la región mediterránea, ocasionado por el aumento de la temperatura media que se producirá a escala mundial, lo que originará tormentas eléctricas que descarguen fuertes aguaceros.

- **OCTAVA.** Las técnicas de reducción de escala (*downscaling*) se han consolidado como referentes para realizar proyecciones realistas de cambio climático a escala regional, como así lo avala su utilización en multitud de informes de estudio sobre el cambio climático.
- **NOVENA.** Estas técnicas hacen unas predicciones para Aragón hacia final de siglo de una primavera mucho más seca. También se prevén unos descensos notables en la estación otoñal. Estos descensos estarán marcados por la pérdida de frentes atmosféricos que provienen de la región atlántica. La estación estival también sufrirá descensos que serán compensados por una precipitación ligada a la actividad ceráunica. Mientras tanto, en invierno no se contemplan cambios importantes.
- **DÉCIMA.** Los descensos de precipitación no solo afectarán a los ricos ecosistemas naturales y hábitats de Aragón sino que determinarán también la cantidad de agua disponible para usos urbanos, industriales y agrícolas sobre todo en el valle del Ebro, cuyo recurso es limitado debido a la habitual escasa pluviometría y alta evapotranspiración. Dicho esto, se recomienda a las administraciones públicas educar ambientalmente a los ciudadanos a hacer un eficiente uso del agua así como exigir la implantación de tecnologías que favorezcan su ahorro en actividades de un gran uso de este recurso, como las agrícolas o las industriales.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

Acín V. et. al. (2012). Sobre las precipitaciones de octubre de 2012 en el pirineo aragonés, su respuesta hidrológica y la gestión de riesgos. *Geographicalia* 61, 101-128.

Brunet M. et al. (2009): *Generación de escenarios regionalizados de cambio climático en España*. Agencia Estatal de Meteorología: Ministerio de medio ambiente y medio rural y marino.

Cuadrat Prats, J. M. (2004): El Clima de Aragón. En J.L. Peña, L.A. Longares y M. Sánchez (Eds.). *Geografía física de Aragón. Aspectos generales y temáticos* (pp. 15-26). En Zaragoza: Universidad de Zaragoza e Institución Fernando el Católico.

Cuadrat J. M., Serrano R., Saz M. A., Marín J. M (2011). Patrones temporales y espaciales de la precipitación en Aragón desde 1950. *Geographicalia* 59-60,85-94.

Curva de Keeling (20 de octubre de 2015). En *Wikipedia, la enciclopedia libre*. Recuperado el 20 de octubre de 2015 de [https://es.wikipedia.org/wiki/Curva\\_Keeling](https://es.wikipedia.org/wiki/Curva_Keeling)

Dirección General de Calidad Ambiental y Cambio Climático del Gobierno de Aragón, Departamento de Medio Ambiente (2009): Estrategia aragonesa de cambio climático y energías limpias. Recuperado el 28 de abril de 2015 en [http://www.aragon.es/estaticos/GobiernoAragon/Departamentos/MedioAmbiente/Dокументos/docs2/%C3%81reas/CambioClim%C3%A1tico/EstrategiaAragonesaCambioClim%C3%A1ticoEnerg%C3%ADAsLimpiasEACCEL/EACCEL\\_energias\\_limpias.pdf](http://www.aragon.es/estaticos/GobiernoAragon/Departamentos/MedioAmbiente/Dокументos/docs2/%C3%81reas/CambioClim%C3%A1tico/EstrategiaAragonesaCambioClim%C3%A1ticoEnerg%C3%ADAsLimpiasEACCEL/EACCEL_energias_limpias.pdf)

Forzamiento radiativo (20 de octubre de 2015). En *Wikipedia, la enciclopedia libre*. Recuperado el 20 de octubre de 2015 de [https://es.wikipedia.org/wiki/Forzamiento\\_radiativo#Usos\\_del\\_IPCC](https://es.wikipedia.org/wiki/Forzamiento_radiativo#Usos_del_IPCC)

Fundación para la Investigación del Clima (2009): Generación de escenarios de cambio climático en Aragón. Recuperado el 29 de abril de 2015 en [http://www.ficlima.org/wpcontent/uploads/2013/10/Informe\\_final\\_Aragon.pdf](http://www.ficlima.org/wpcontent/uploads/2013/10/Informe_final_Aragon.pdf)

González Márquez J. (2006). Climatología de tormentas en España. Recuperado el 15 de octubre de 2015 en <http://www.divulgameteo.es/uploads/Climatolog%C3%ADA-tormentas.pdf>

López Martín F., Cabrera Mollet M., Cuadrat Prats J.M., (2007). *Atlas Climático de Aragón*. Departamento de medio ambiente: Gobierno de Aragón.

Madsen H., Lawrence D., Lang M., Martinkova M., Kjeldsen T.R., (2014). Review of trend analysis and climate change projections of extreme precipitation and floods in Europe. *Journal of hydrology*, 519, 3634-3650.

Millán, M. (2014). Extreme hydrometeorological events and climate change predictions in Europe. *Journal of hydrology*, 518, 206-224.

Norwegian Meteorological Institute. (2013). *Extreme Weather Events in Europe: preparing for climate change adaptation*. Recuperado el 9 de abril de 2015 en [http://www.easac.eu/fileadmin/PDF\\_s/reports\\_statements/Extreme\\_Weather/Extreme\\_Weather\\_full\\_version\\_EASAC-EWWG\\_final\\_low\\_resolution\\_Oct\\_2013f.pdf](http://www.easac.eu/fileadmin/PDF_s/reports_statements/Extreme_Weather/Extreme_Weather_full_version_EASAC-EWWG_final_low_resolution_Oct_2013f.pdf)

Oficina Española de Cambio Climático y Universidad de Castilla La Mancha (2005): Evaluación Preliminar de los Impactos en España por Efecto del Cambio Climático. Recuperado el 1 de mayo de 2015 en [http://www.magrama.gob.es/es/cambio-climatico/temas/impactos-vulnerabilidad-y-adaptacion/evaluacion\\_preliminar\\_impactos\\_completo\\_2\\_tcm7-12439.pdf](http://www.magrama.gob.es/es/cambio-climatico/temas/impactos-vulnerabilidad-y-adaptacion/evaluacion_preliminar_impactos_completo_2_tcm7-12439.pdf)

Oficina Española contra el Cambio Climático. (2013): *Guía resumida del quinto informe de evaluación del IPCC. Grupo de trabajo I*. Recuperado el 1 de mayo de 2015 en <http://fundacionbiodiversidad.es/sites/default/files/informacioninstitucional/ipcc5informeevaluacionresumen.pdf>

Panel intergubernamental de expertos sobre el cambio climático. (2000). Escenarios de emisiones. Informe especial del IPCC. Recuperado el 4 de mayo de 2015 <https://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/spm/sres-sp.pdf>

Panel intergubernamental de expertos sobre el cambio climático. (2012). *Gestión de los riesgos de fenómenos meteorológicos extremos y desastres para mejorar la adaptación al cambio climático*. Recuperado el 4 de mayo de 2015 [https://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srex/IPCC\\_SREX\\_ES\\_web.pdf](https://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srex/IPCC_SREX_ES_web.pdf)

Panel intergubernamental de expertos sobre el cambio climático. (2013): *Cambio Climático 2013 Bases físicas, resumen para responsables de políticas, grupo de trabajo I*. Recuperado el 5 de mayo de 2015 en [https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5\\_SPM\\_brochure\\_es.pdf](https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_SPM_brochure_es.pdf)

Pérez Puebla, F. y Zancajo Rodríguez C. (2008). La frecuencia de las tormentas eléctricas en España. *Tiempo y Clima*, 5(21), 37-44.

Petisco de Lara, S. E. (2008). *Método de regionalización de precipitación basado en análogos*. Agencia Estatal de Meteorología: Ministerio de medio ambiente y medio rural y marino.

Ribalaygua J. et. al. (2013). Climate change scenarios for temperature and precipitation in Aragon (Spain). *Science of the total environment*, 463-464, 1015-1030

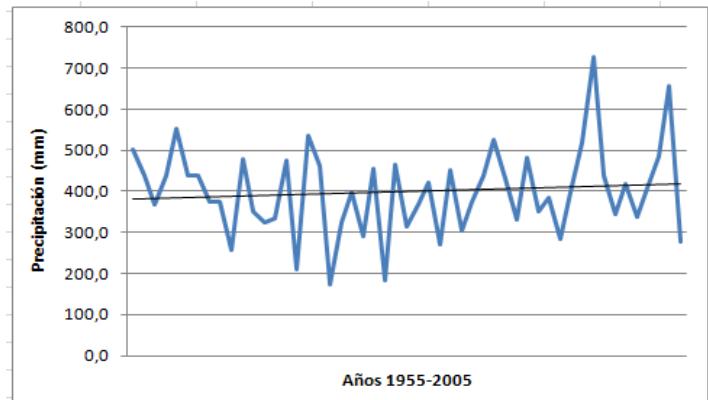
Sura P. (2011). A general perspective of extreme events in weather and climate. *Atmospheric research* 101, 1-21.

World meteorological organization. (2011). *2001-2010 A decade of climate extremes* (WMO-No 1103). Recuperado el 7 de abril de 2015 en [http://library.wmo.int/pmb\\_ged/wmo\\_1103\\_en.pdf](http://library.wmo.int/pmb_ged/wmo_1103_en.pdf)

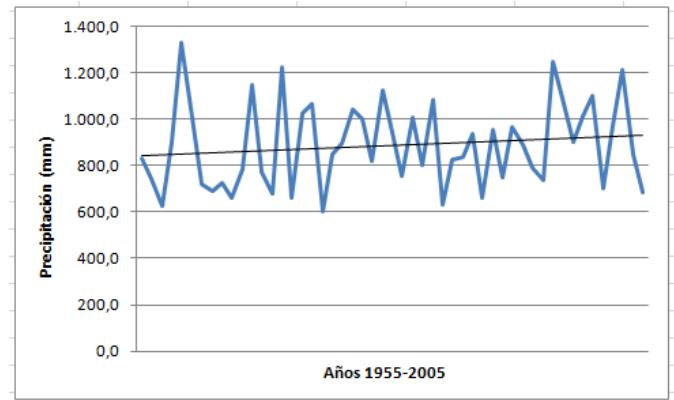
## 8. ANEXO

Estaciones meteorológicas analizadas en el período 1955-2005 en las que aumenta la línea de tendencia

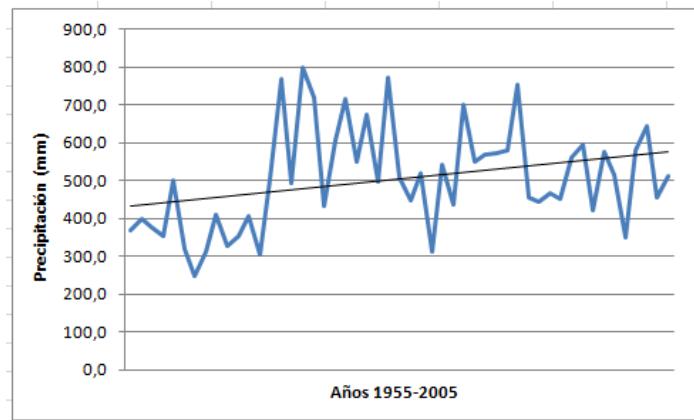
**Ariza (Comunidad de Calatayud)**



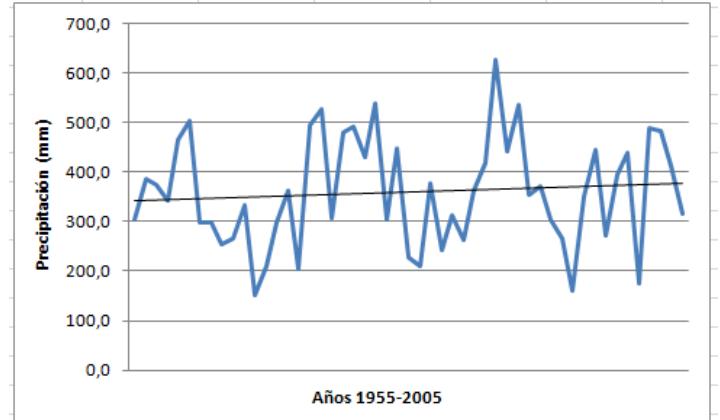
**Biel (Cinco Villas)**



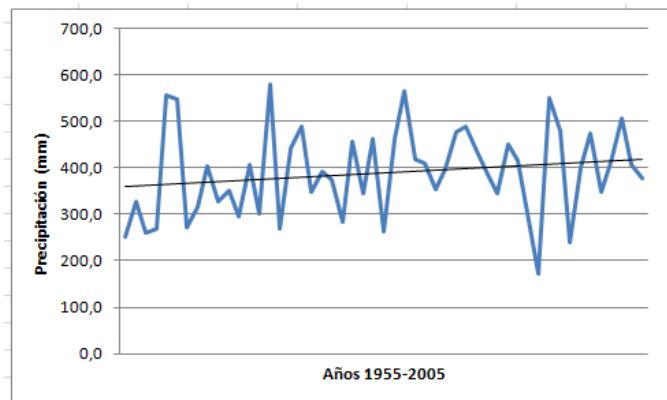
**Cucalón (Jiloca)**



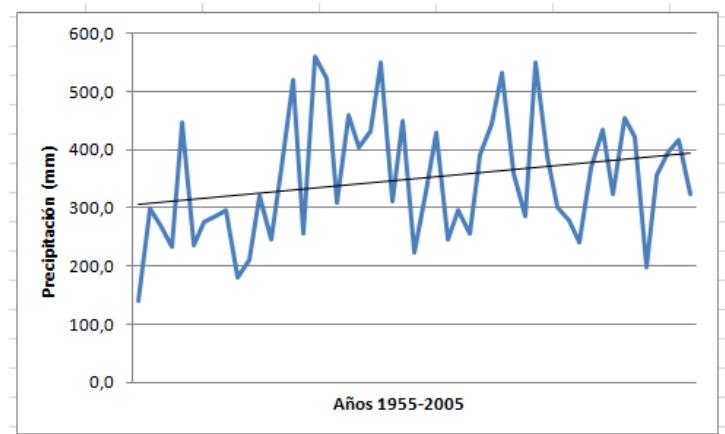
**Lécera (Campo de Belchite)**



**Mequinenza (Bajo Cinca)**

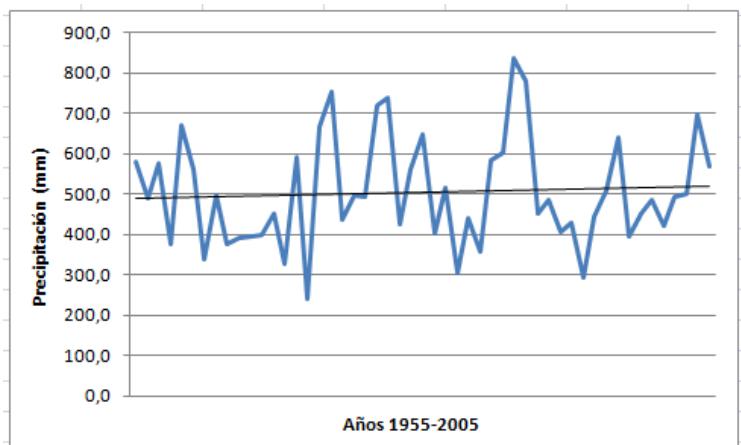


**Oliete (Andorra)**

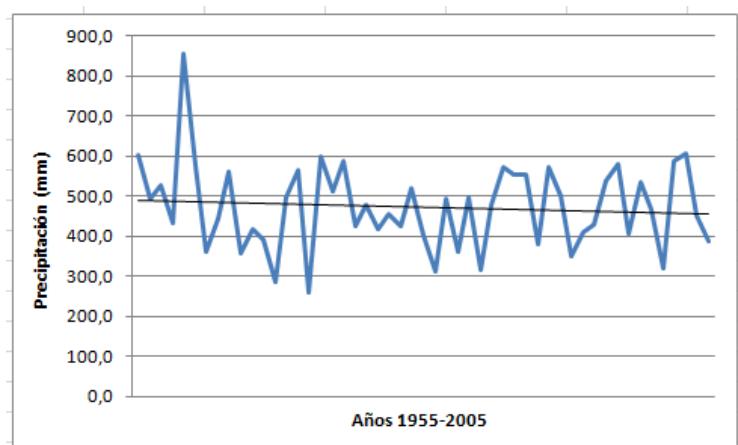


**Estaciones meteorológicas analizadas en el período 1955-2005 en las que permanece constante la línea de tendencia**

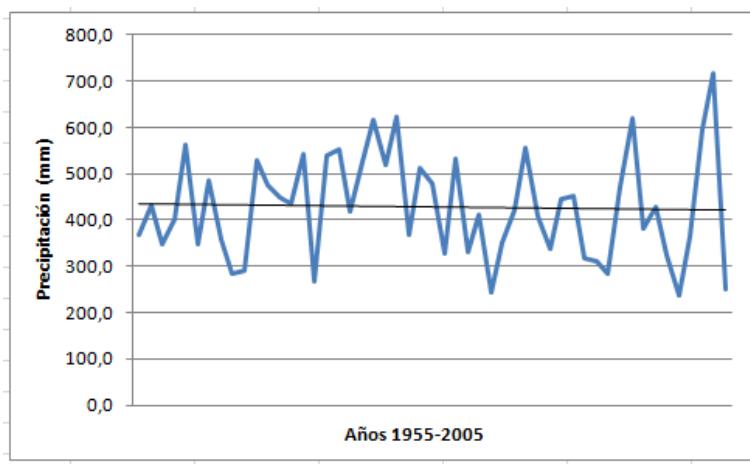
**Arcos de Salinas (Gúdar-Javalambre)**



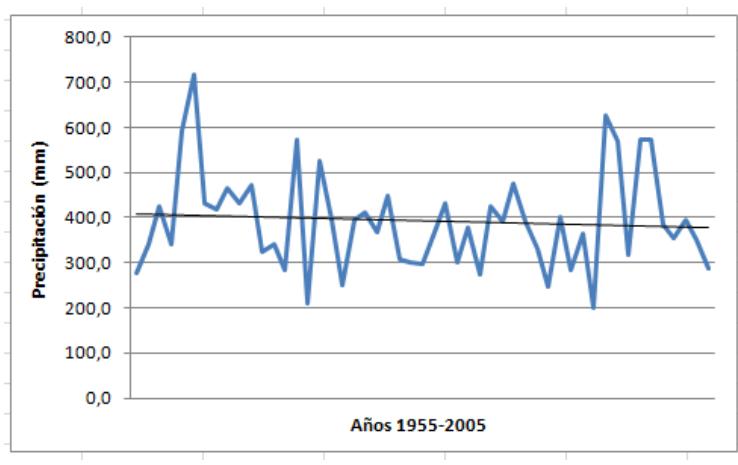
**Argente (Comunidad de Teruel)**



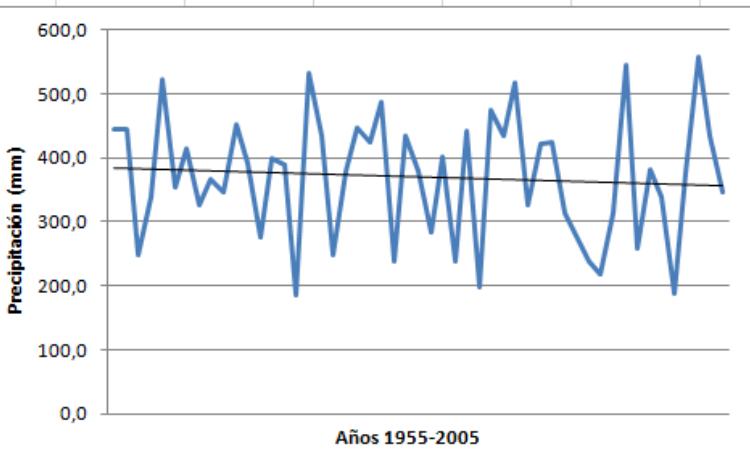
**Borja (Campo de Borja)**



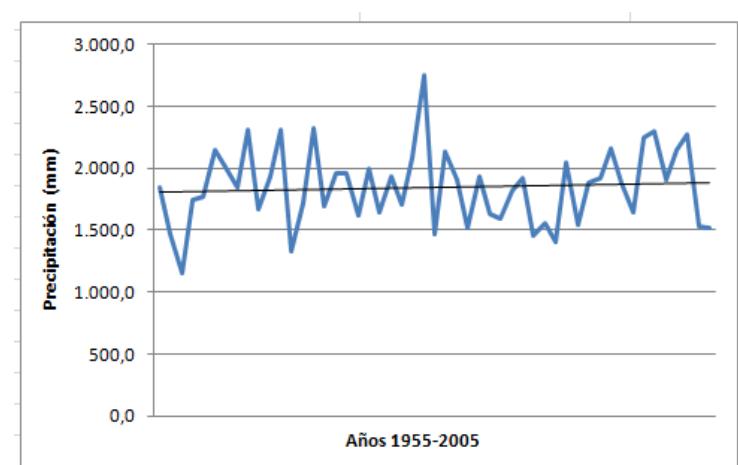
**Bujaraloz (Monegros)**



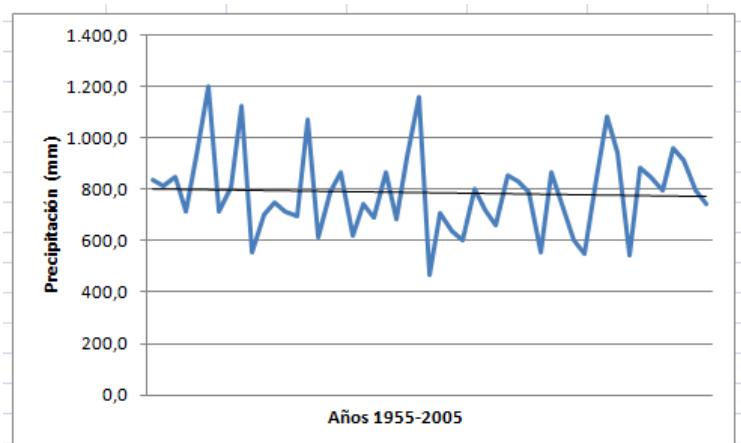
**Calatorao (Valdejalón)**



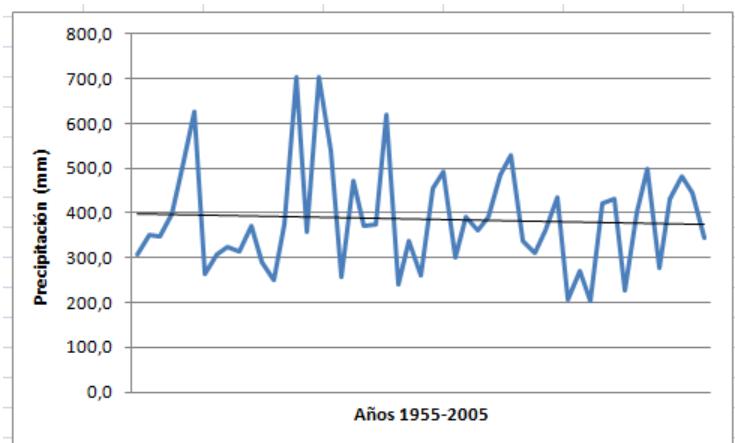
**Canfranc (La Jacetania)**



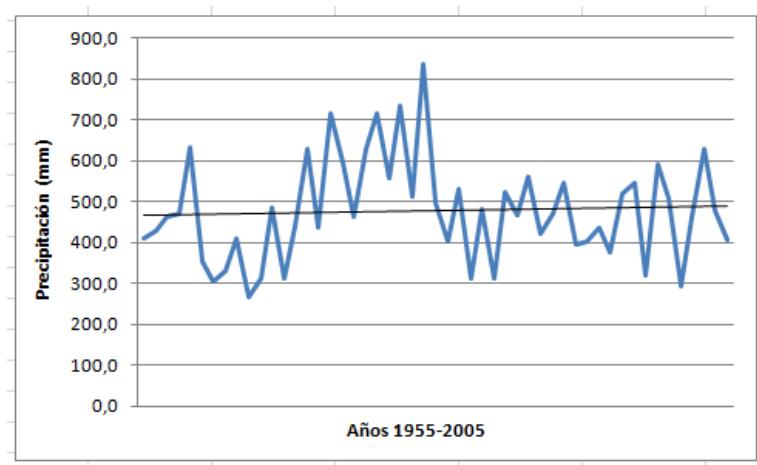
**Griegos (Sierra de Albarracín)**



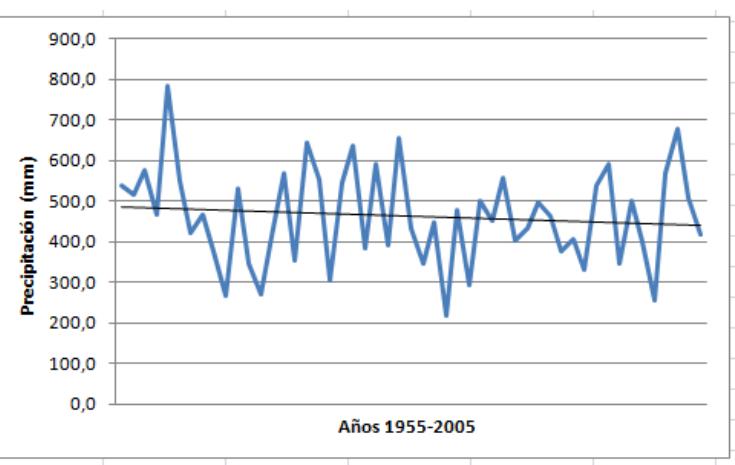
**Maella (Bajo Aragón Caspe)**



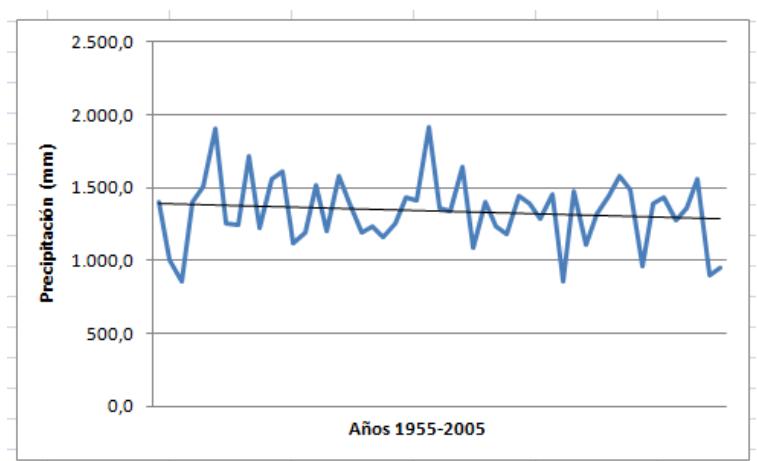
**Mainar (Campo de Daroca)**



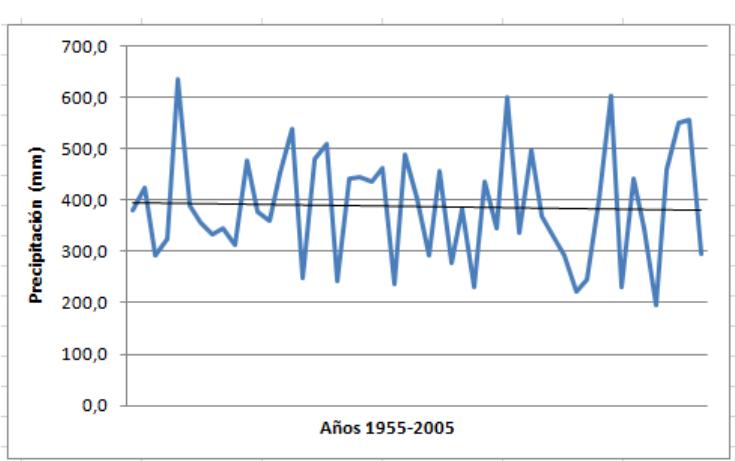
**Paniza (Campo de Cariñena)**



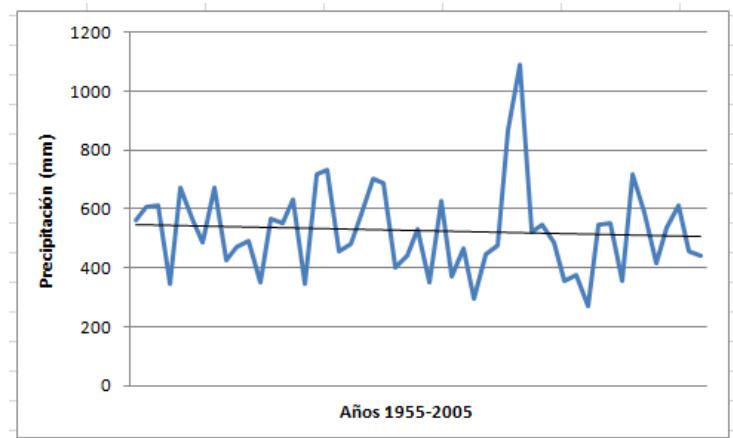
**Panticosa (Alto Gállego)**



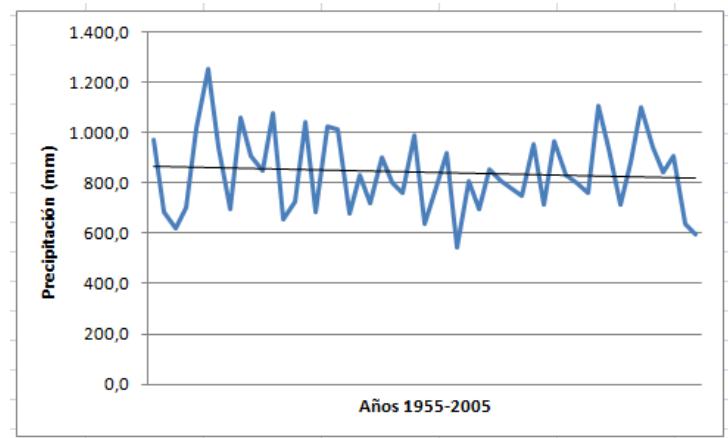
**Ricla (Valdejalón)**



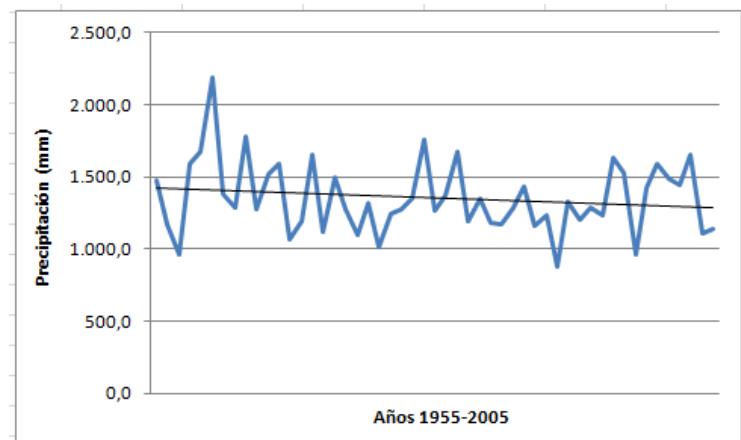
**Rubielos de mora (Gúdar-Javalambre)**



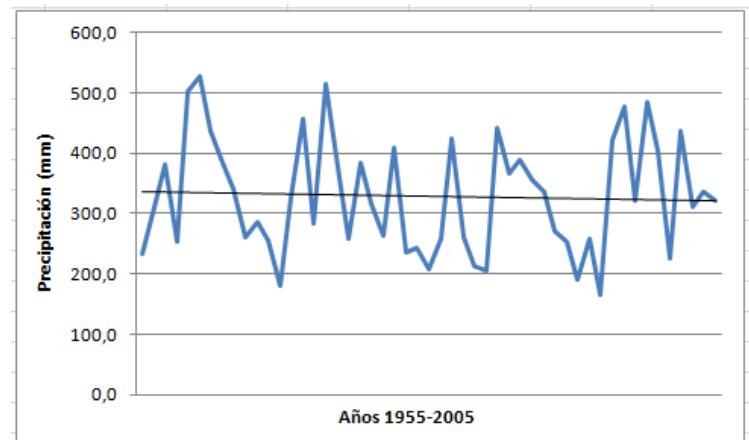
**Sabiñanigo (Alto Gállego)**



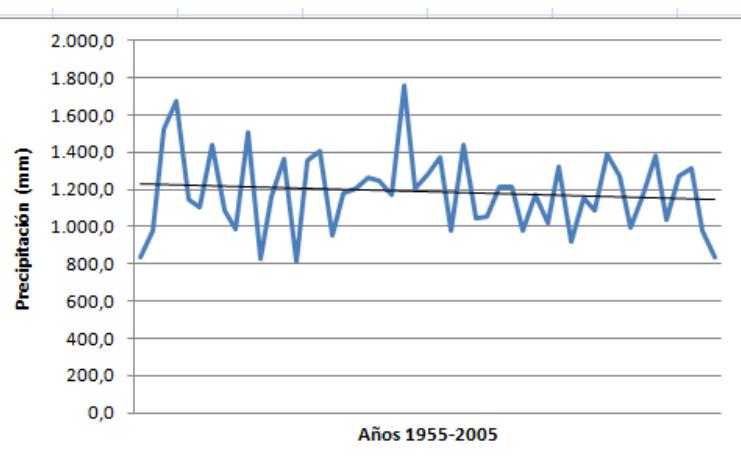
**Sallent de Gállego (Alto Gállego)**



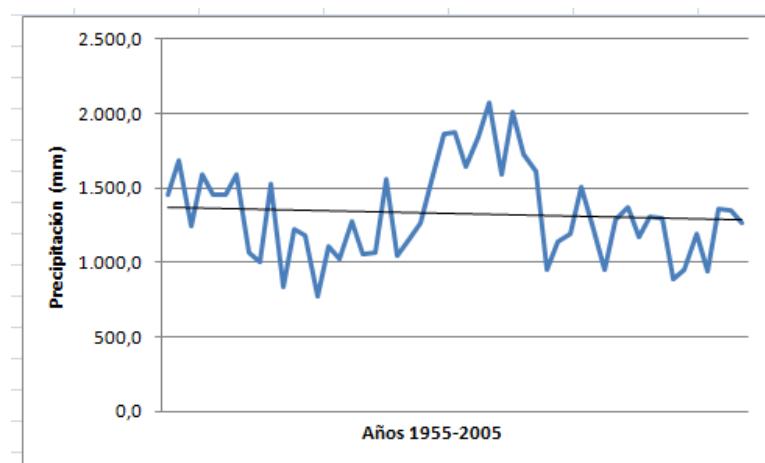
**Sástago (Ribera baja del Ebro)**



**Valle de Hecho (La Jacetania)**

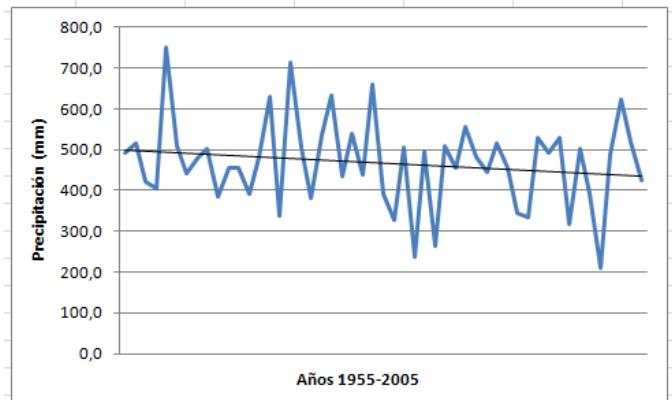


**Villanúa (La Jacetania)**

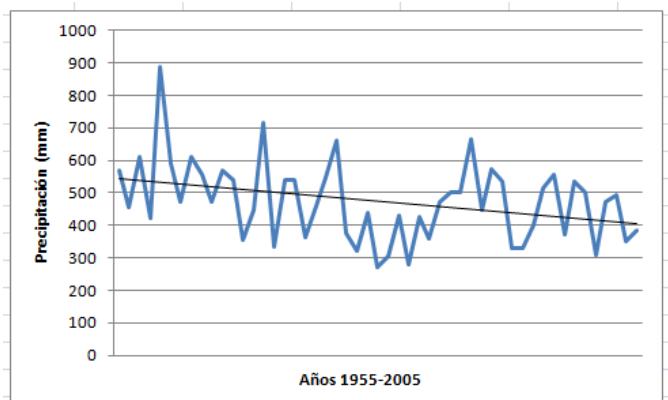


**Estaciones meteorológicas analizadas en el período 1955-2005 en las que  
disminuye la línea de tendencia**

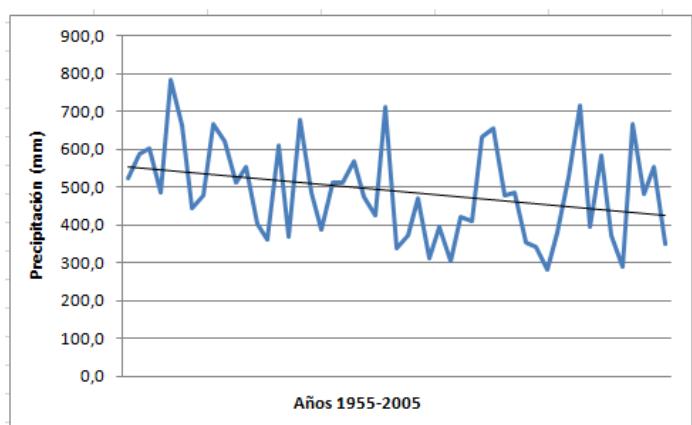
**Atea (Campo de Daroca)**



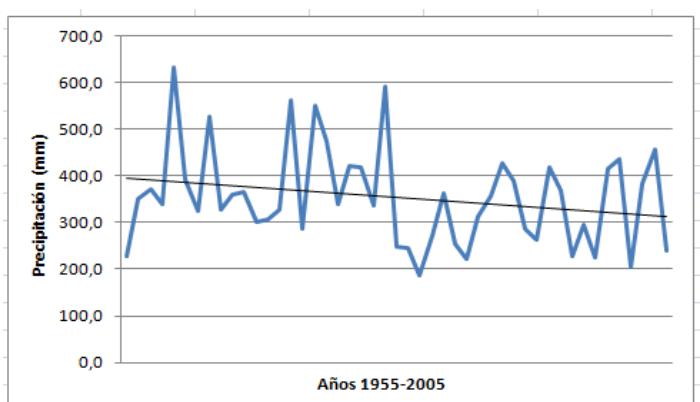
**Ababuj (Comunidad de Teruel)**



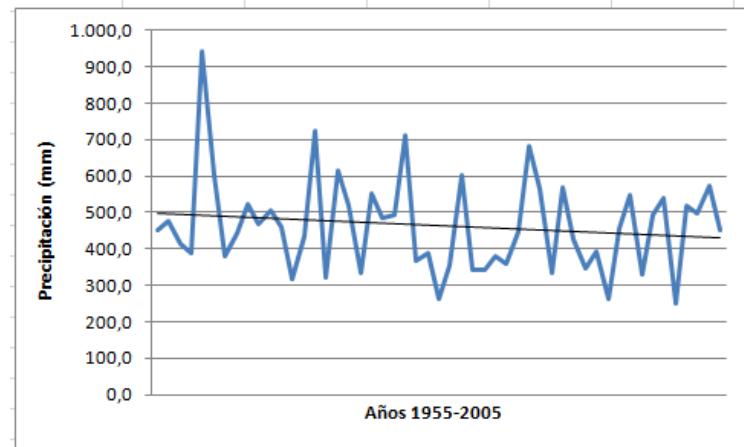
**Albarracín (Sierra de Albarracín)**



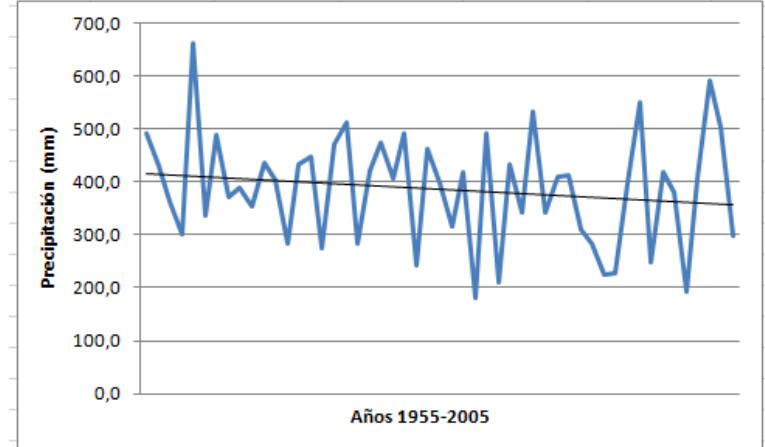
**Alcañiz (Bajo Aragón)**

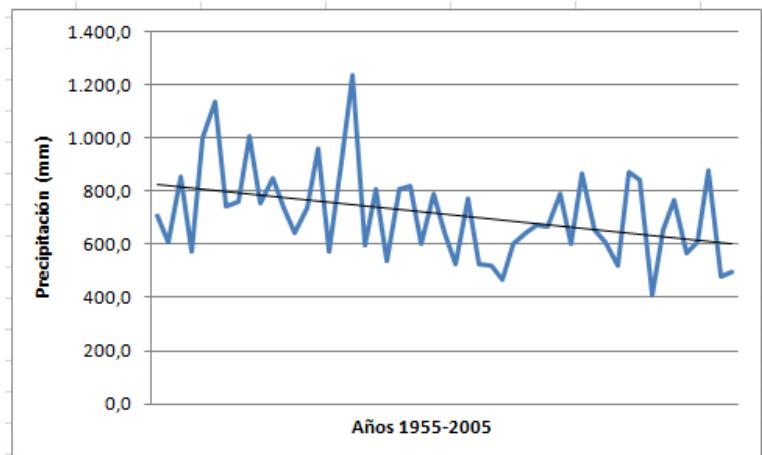
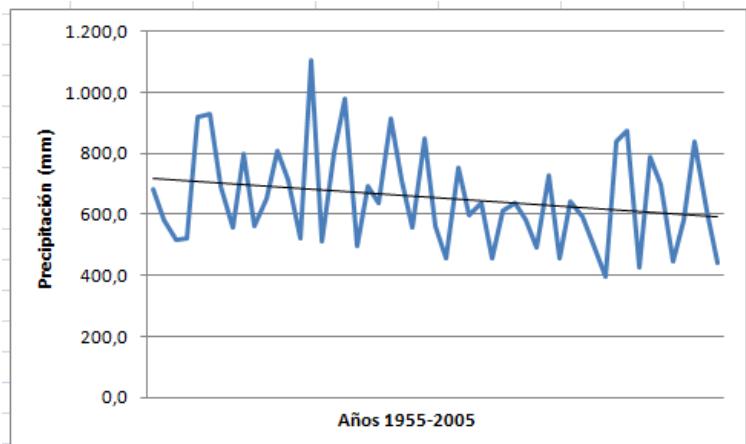
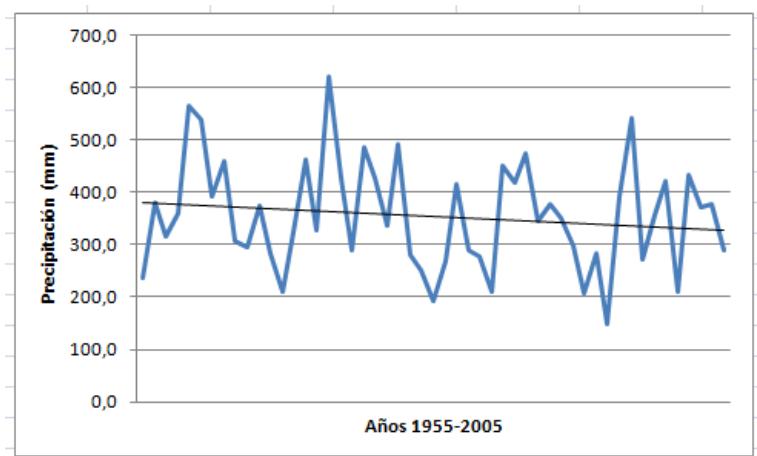
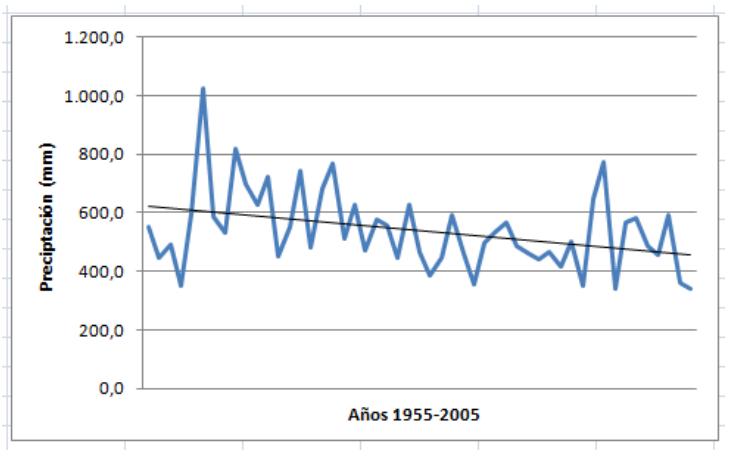
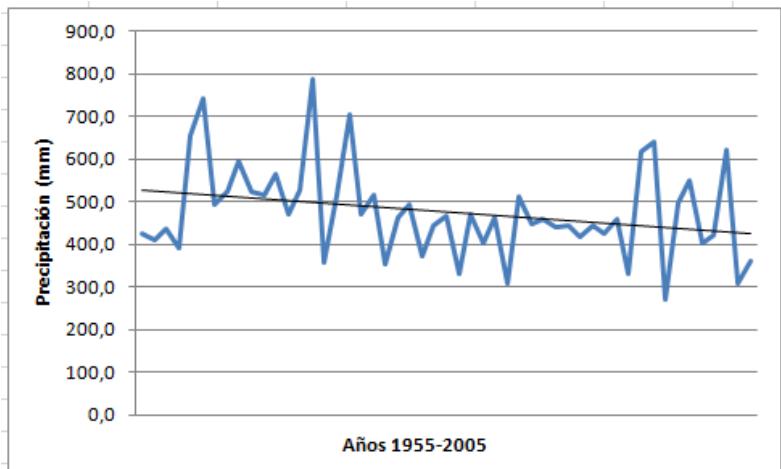
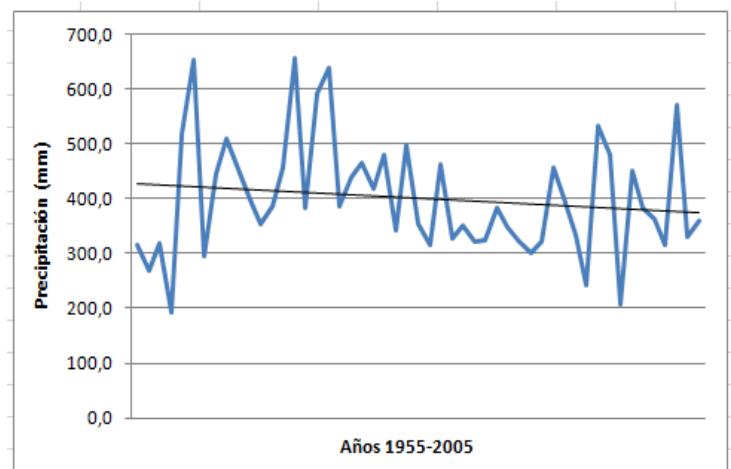


**Alcorisa (Bajo Aragón)**

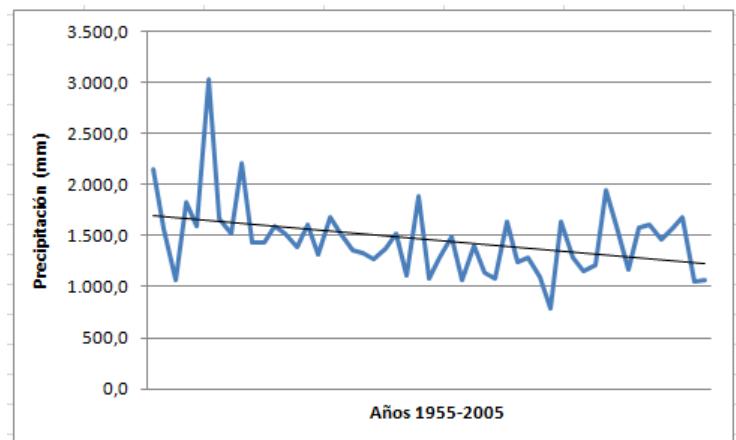


**Almunia de Doña Godina, La (Valdejalón)**

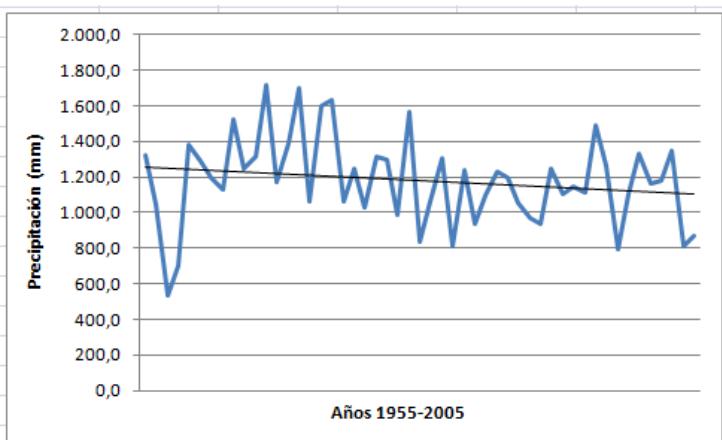


**Alquézar (Somontano de Barbastro)**

**Ayerbe (Hoya de Huesca)**

**Azaila (Bajo Martín)**

**Barbastro (Somontano de Barbastro)**

**Berbegal (Somontano de Barbastro)**

**Belver de Cinca (Bajo Cinca)**


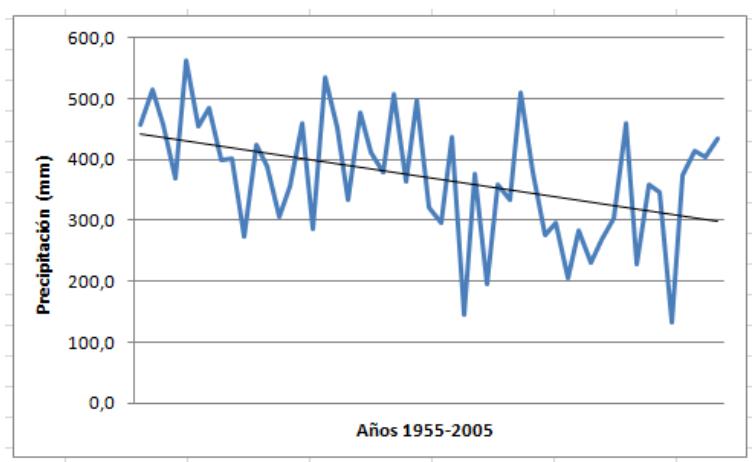
**Bielsa (Sobrarbe)**



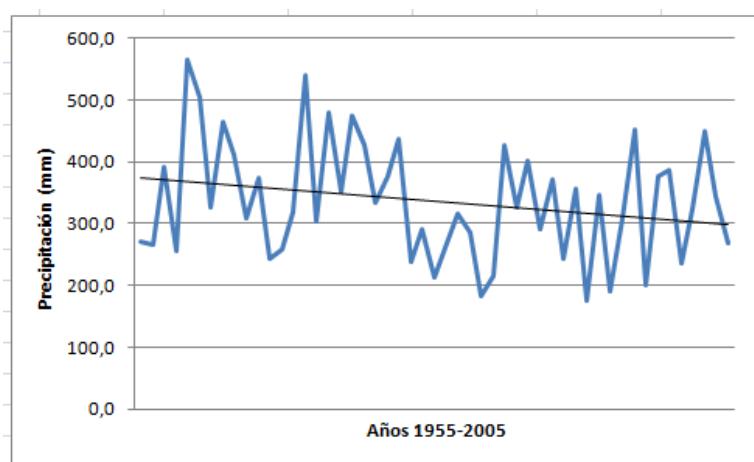
**Broto (Sobrarbe)**



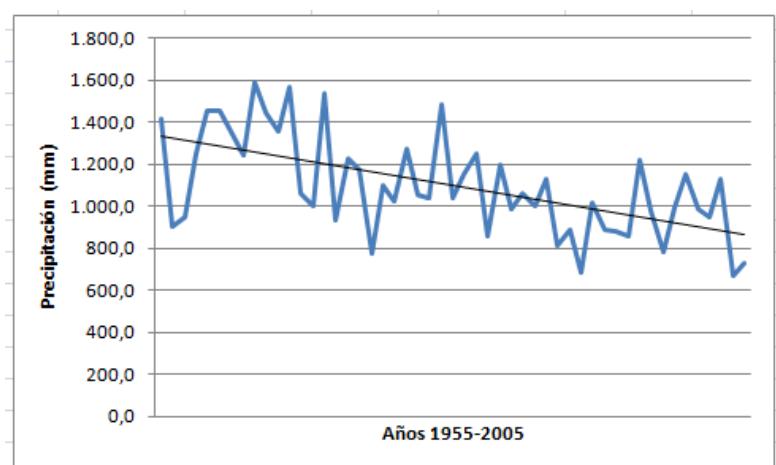
**Calatayud (Comunidad de Calatayud)**



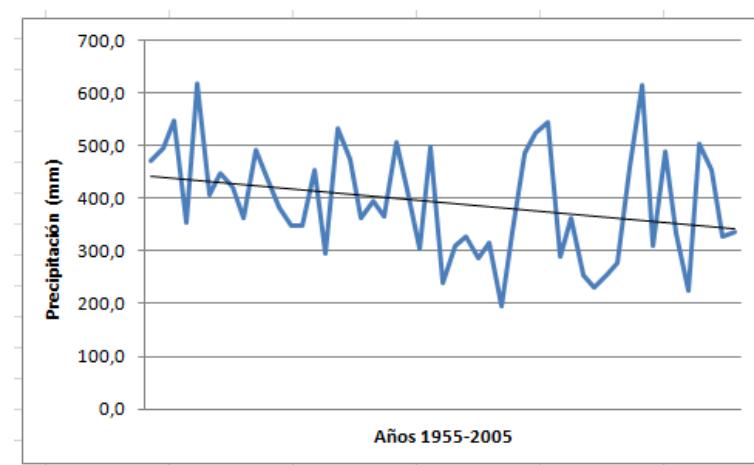
**Caspe (Bajo Aragón Caspe)**

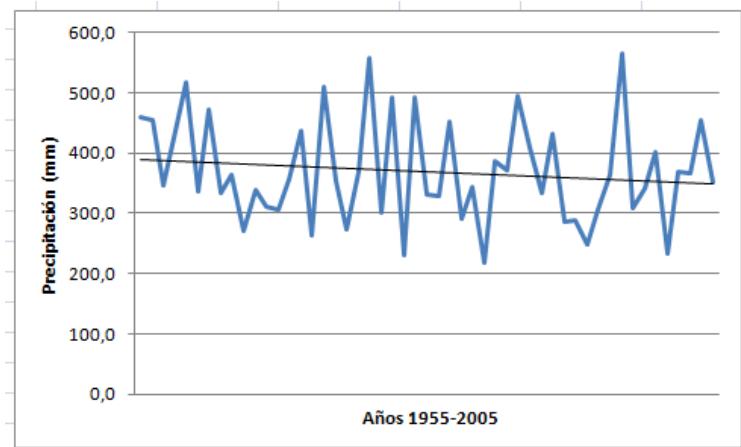
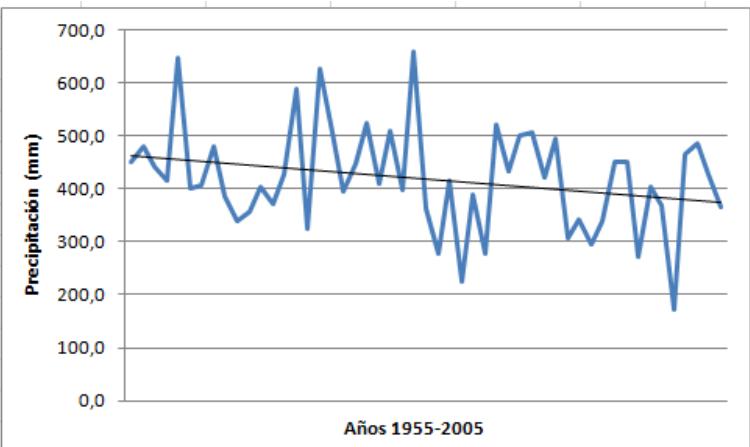
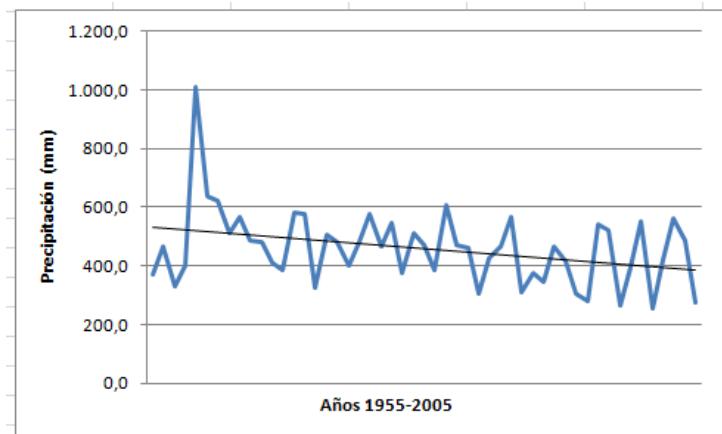
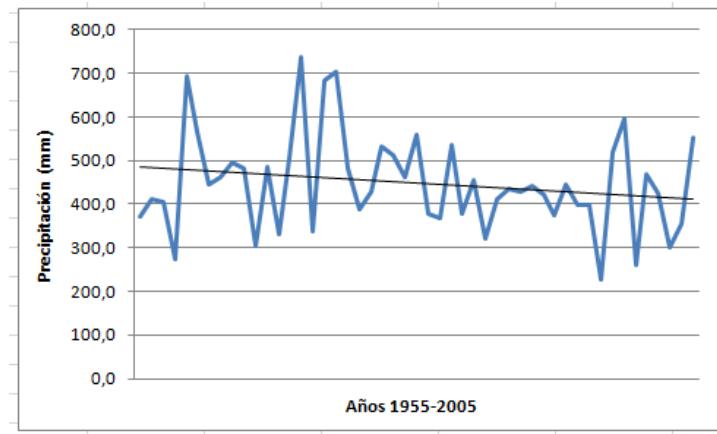
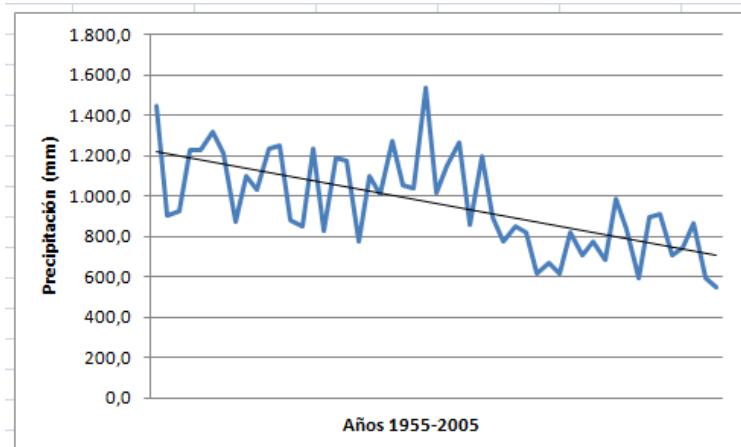
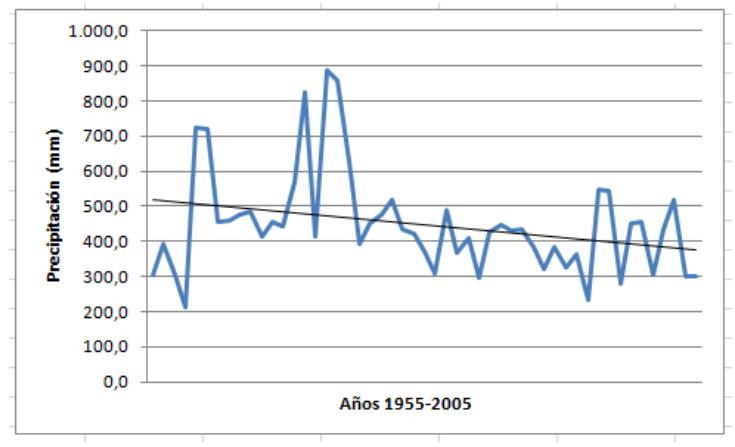


**Castiello de Jaca (La Jacetania)**

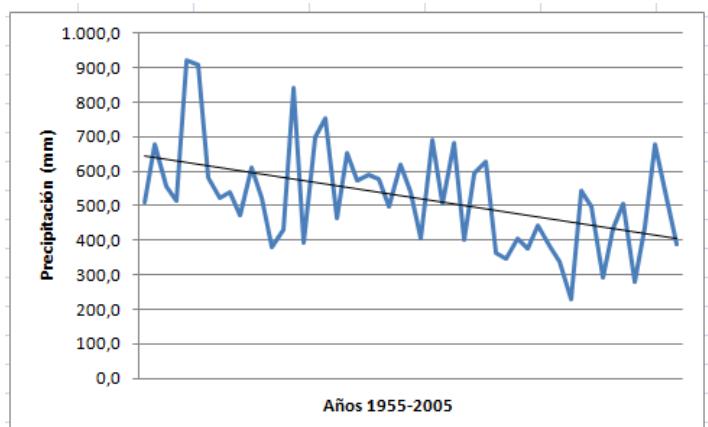


**Cella (Comunidad de Teruel)**

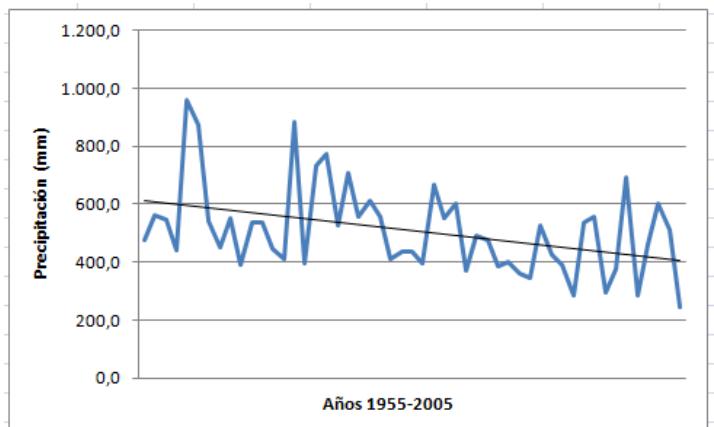


**Cetina (Comunidad de Calatayud)**

**Daroca (Campo de Daroca)**

**Ejea de los Caballeros (Cinco Villas)**

**Grañen (Monegros)**

**Jaca (La Jacetania)**

**Lanaja (Monegros)**


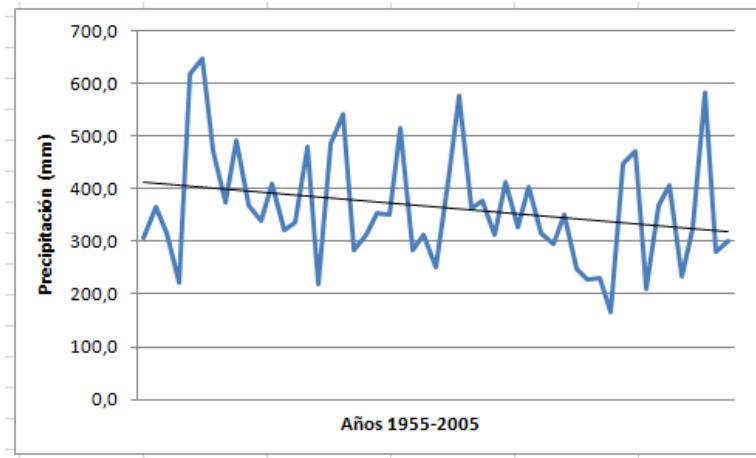
**Luna (Cinco Villas)**



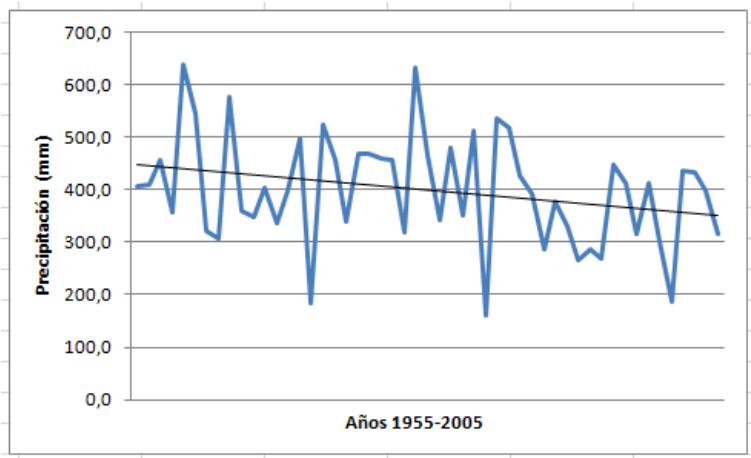
**Marracos (Cinco Villas)**



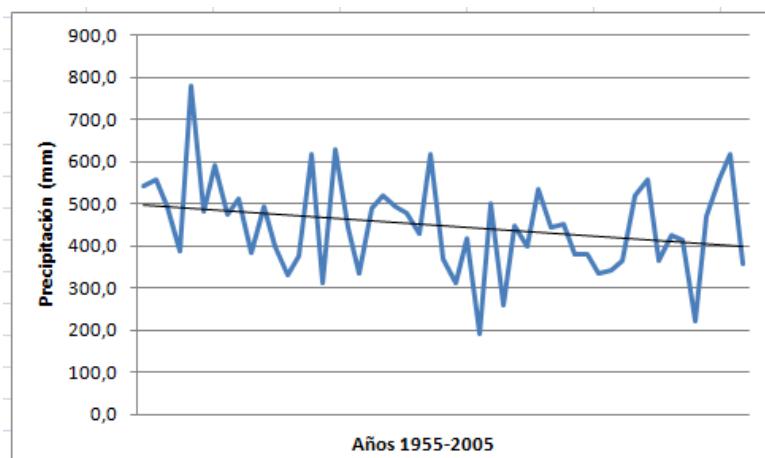
**Monegrillo (Monegros)**



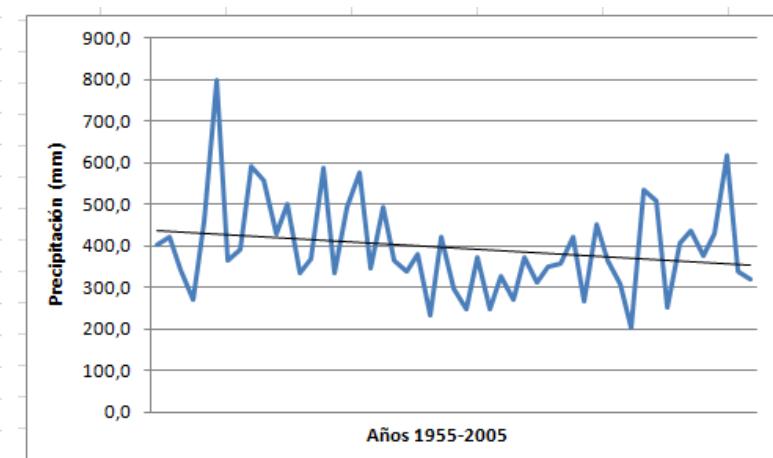
**Monreal del campo (Jiloca)**

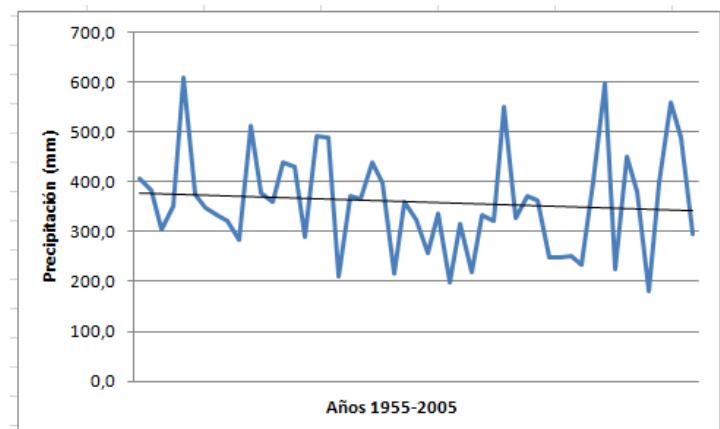
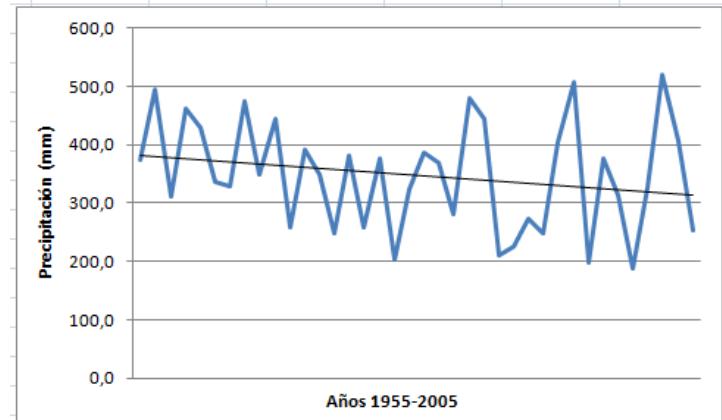
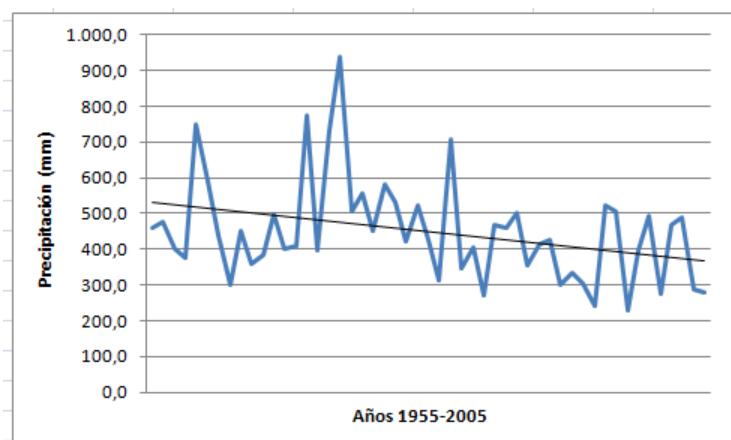
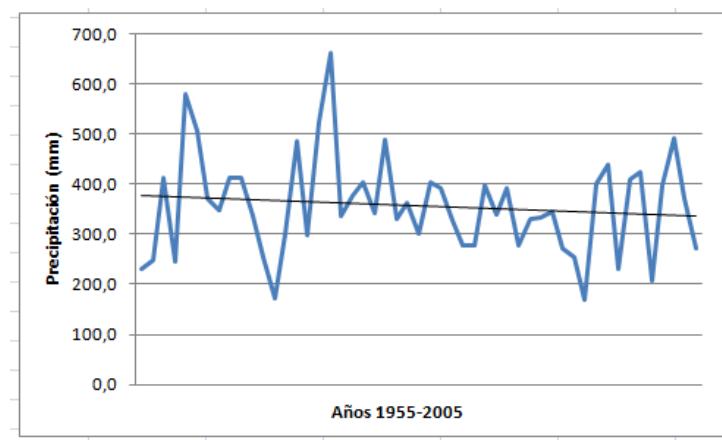
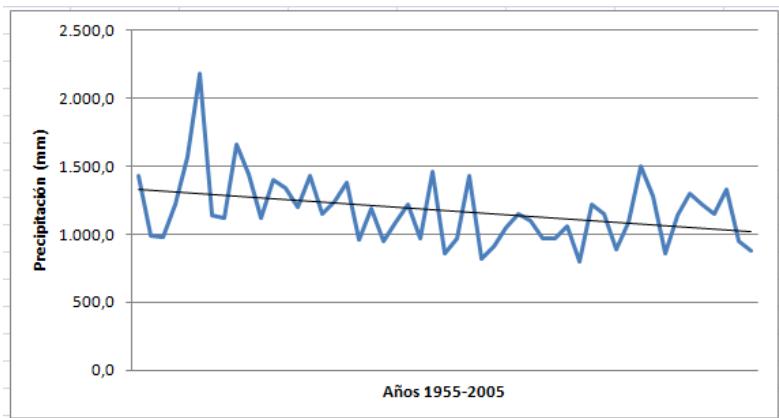
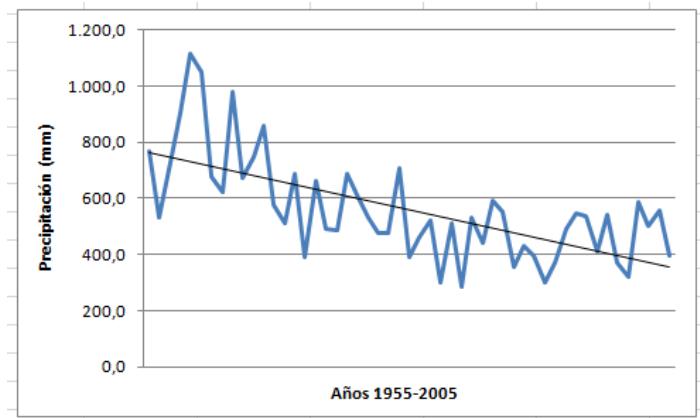


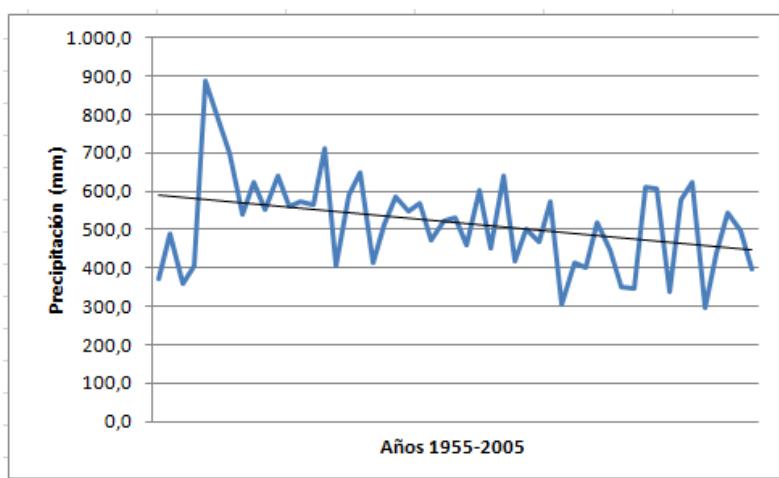
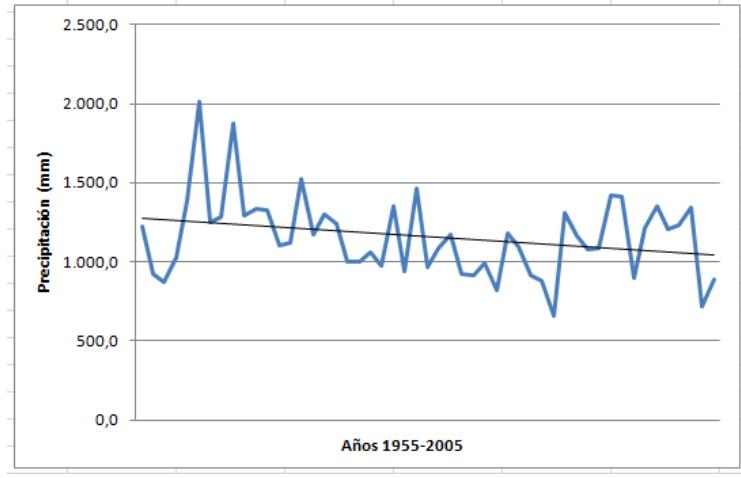
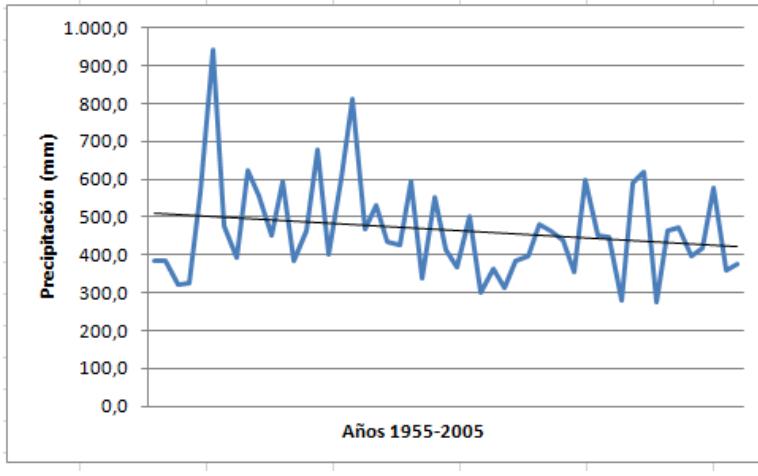
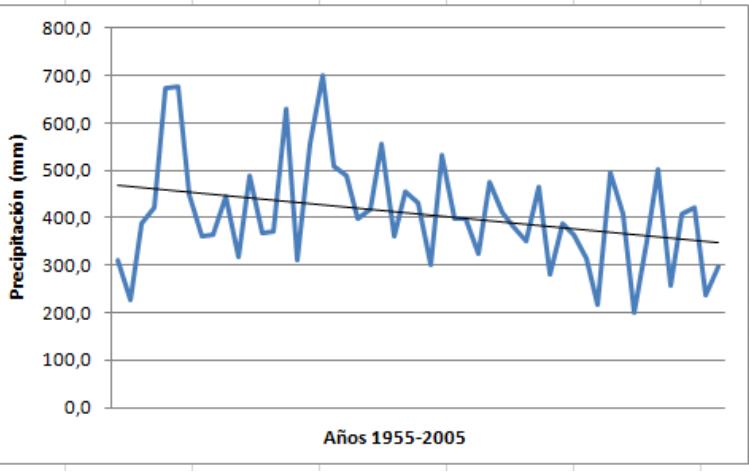
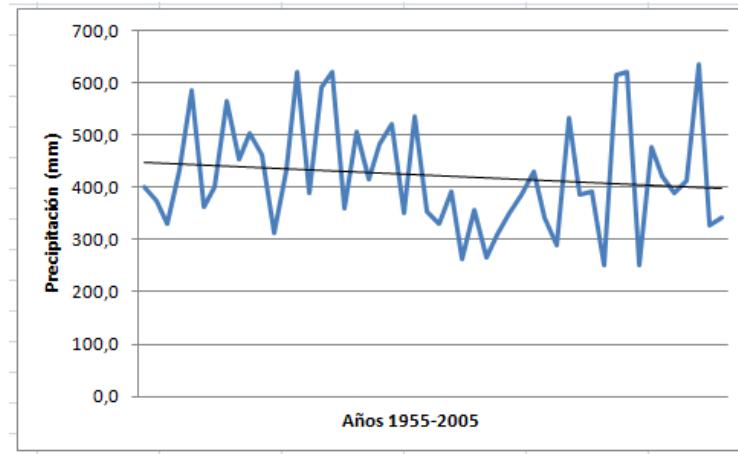
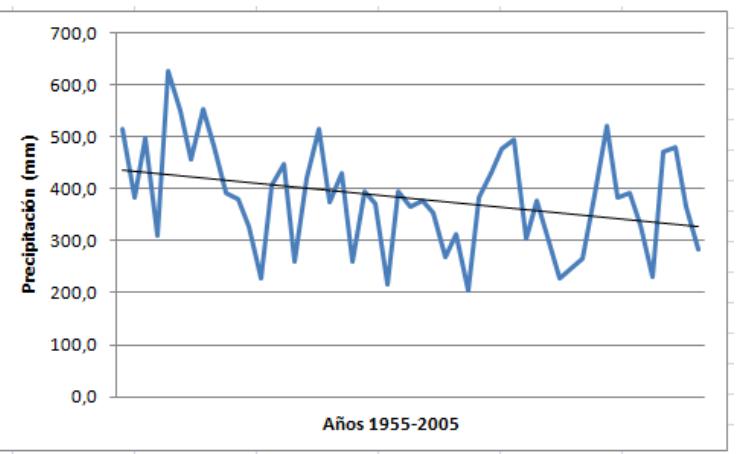
**Monterde (Comunidad de Calatayud)**

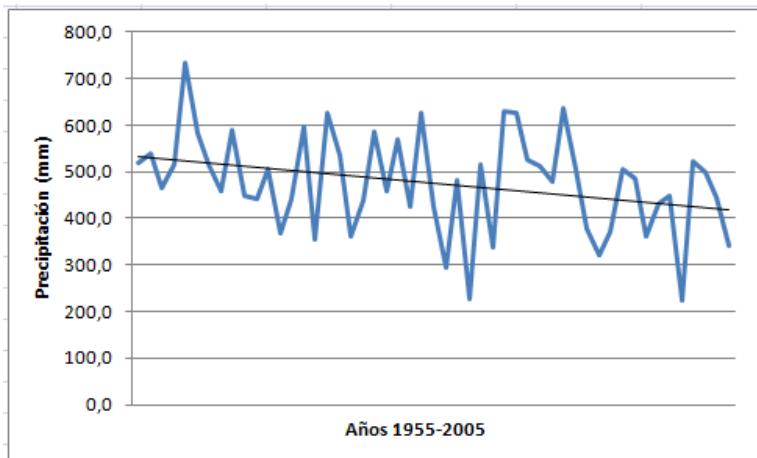
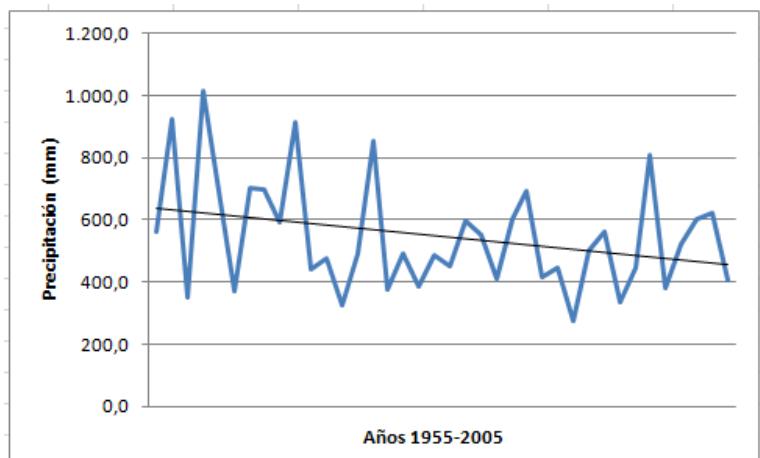
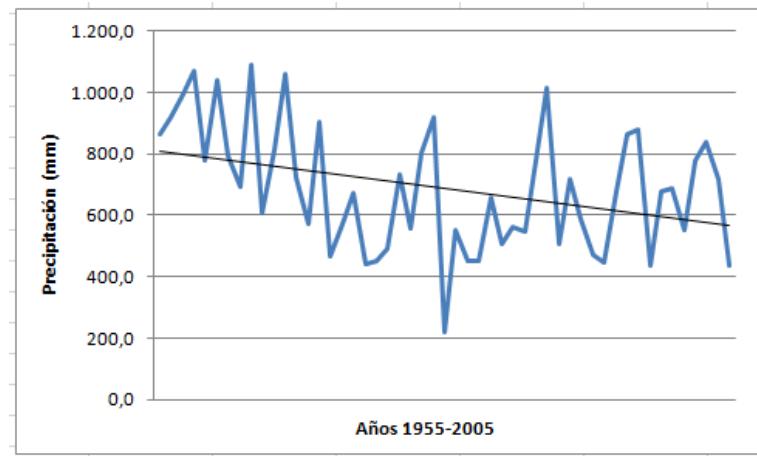
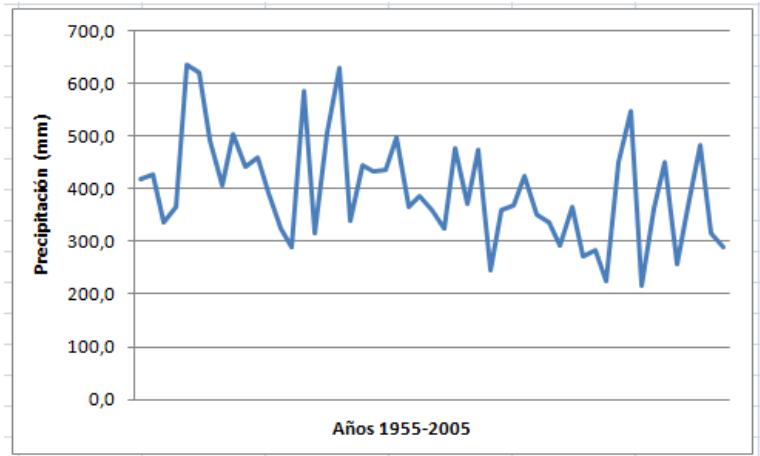


**Monzón (Cinca medio)**



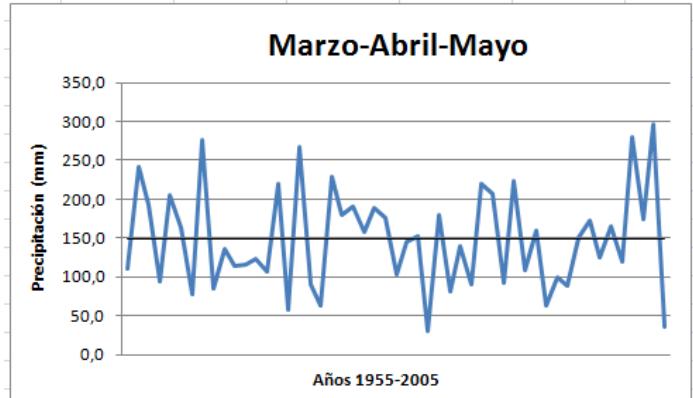
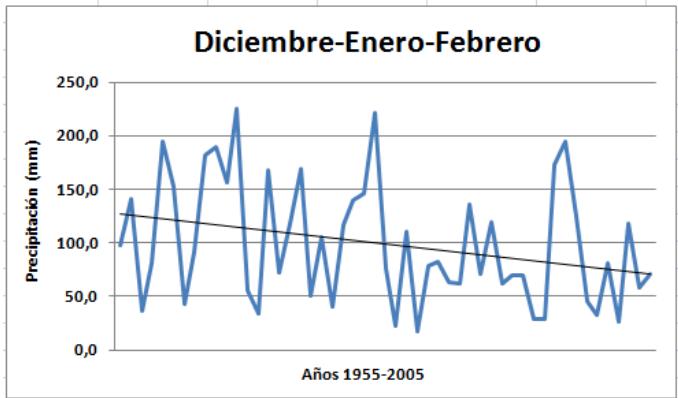
**Morata de Jalón (Valdejalón)**

**Pedrola (Ribera Alta del Ebro)**

**Perdiguera (Monegros)**

**Pina de Ebro (Ribera Baja del Ebro)**

**Plan (Sobrarbe)**

**Ródenas (Sierra de Albarracín)**


**Sádaba (Cinco Villas)**

**Sahún (Ribagorza)**

**San Esteban de Litera (La Litera)**

**Sariñena (Monegros)**

**Tamarite de Litera (La Litera)**

**Teruel (Comunidad de Teruel)**


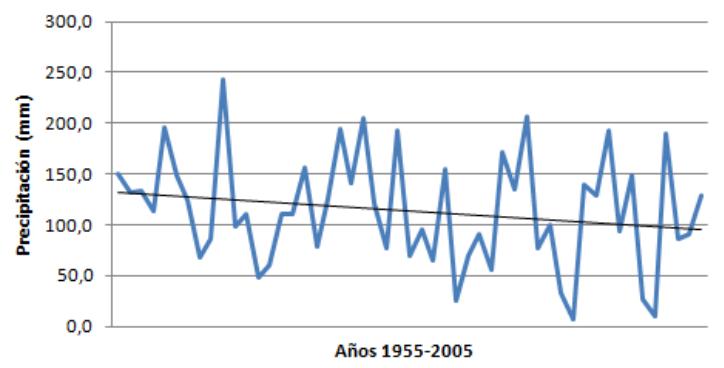
**Tornos (Jiloca)**

**Valderrobres (Matarraña)**

**Villar del Cobo (Sierra de Albarracín)**

**Zuera (Comarca Zaragoza)**


### **Estaciones meteorológicas analizadas en el período 1955-2005 sobre la evolución de los regímenes de estacionalidad de las precipitaciones**

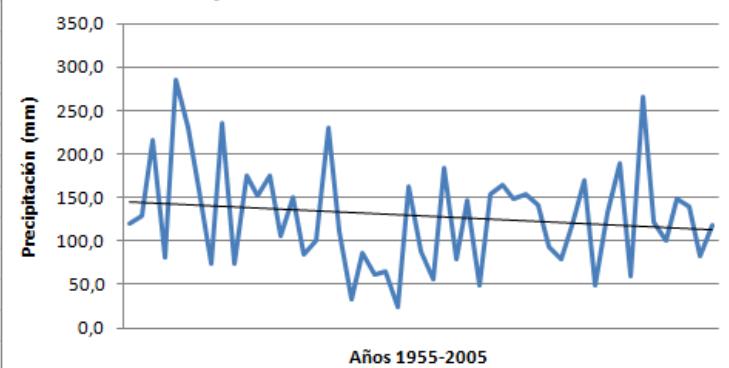
- Albarracín PFE (Sierra de Albarracín)



### Junio-Julio-Agosto

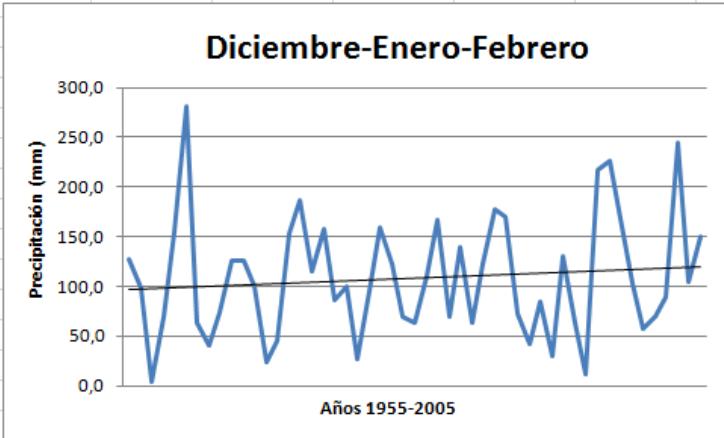


### Septiembre-Octubre-Noviembre

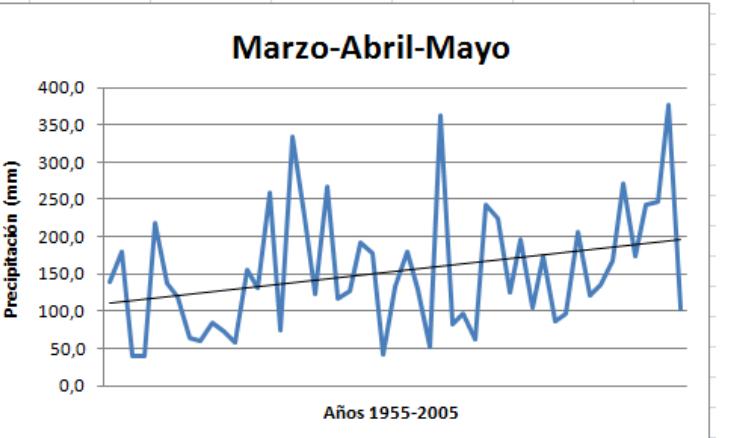


- Alcalá de la Selva (Gúdar-Javalambre)

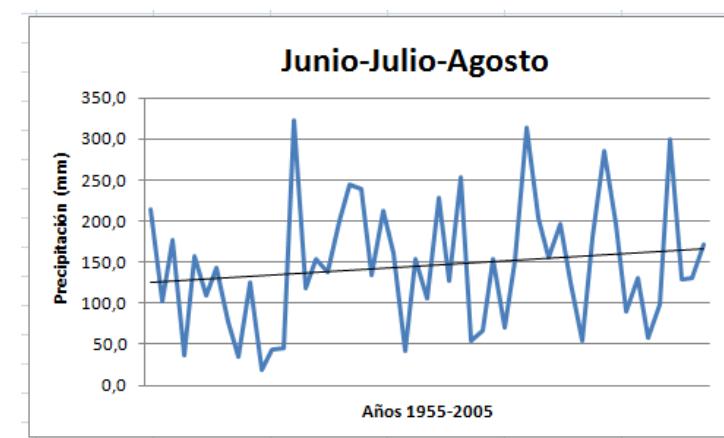
### Diciembre-Enero-Febrero



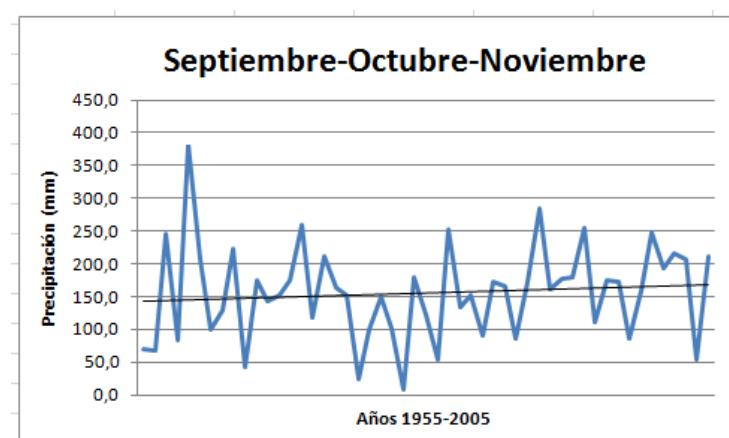
### Marzo-Abril-Mayo



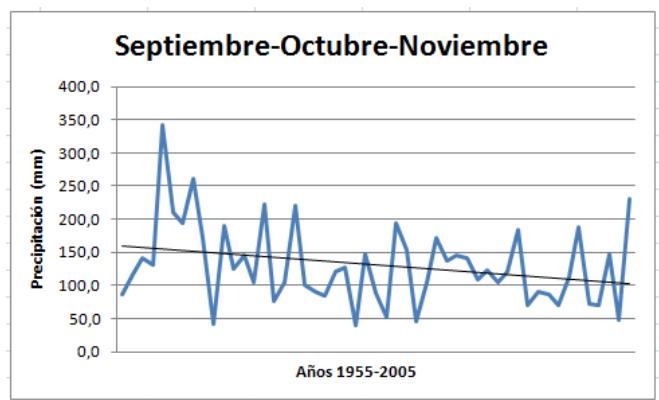
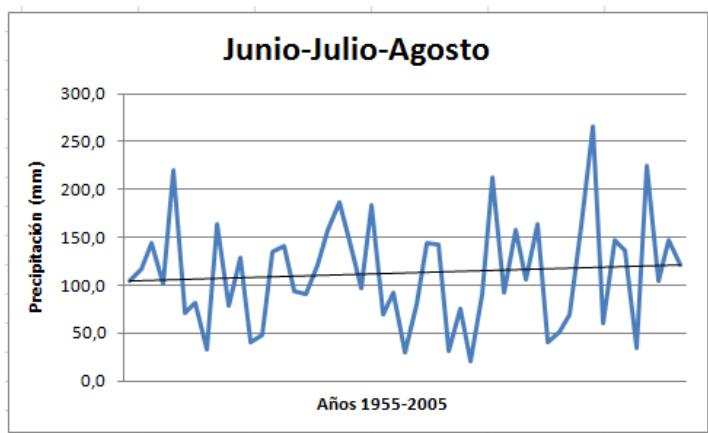
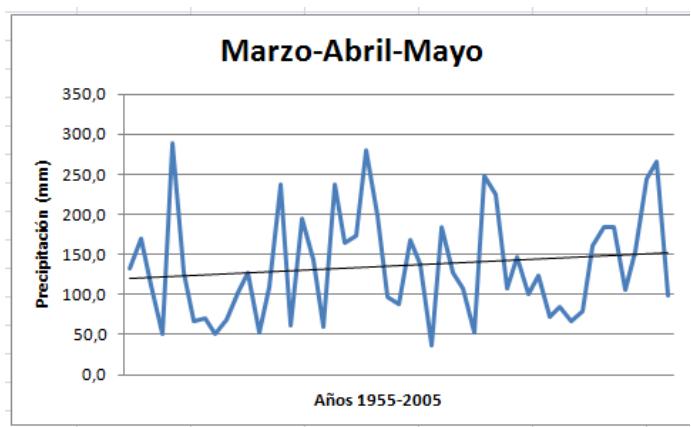
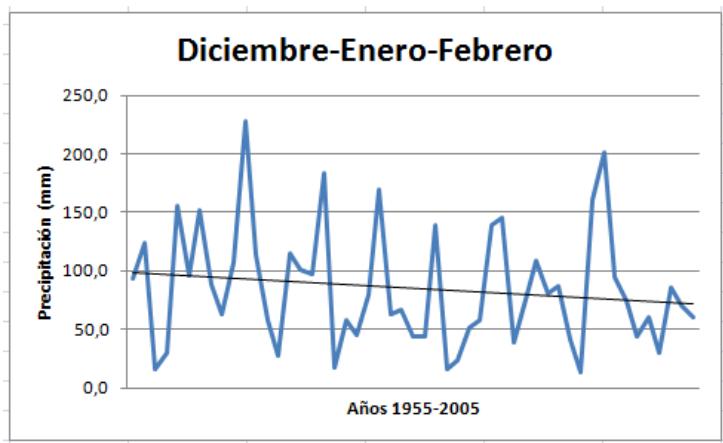
### Junio-Julio-Agosto



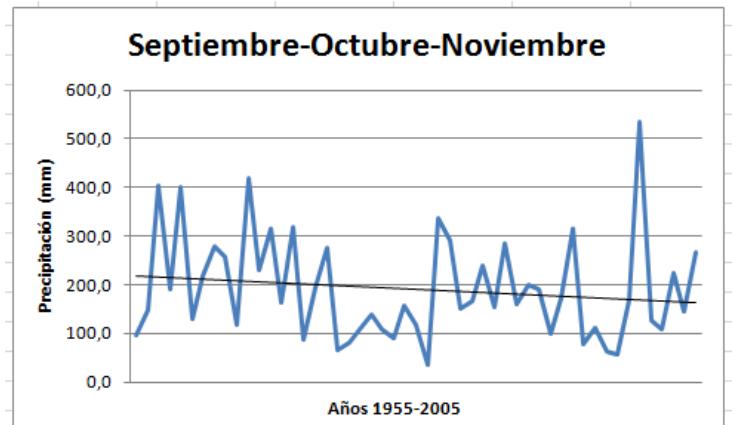
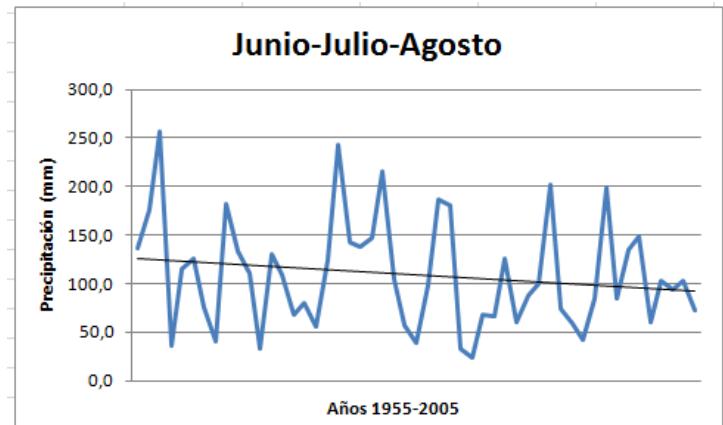
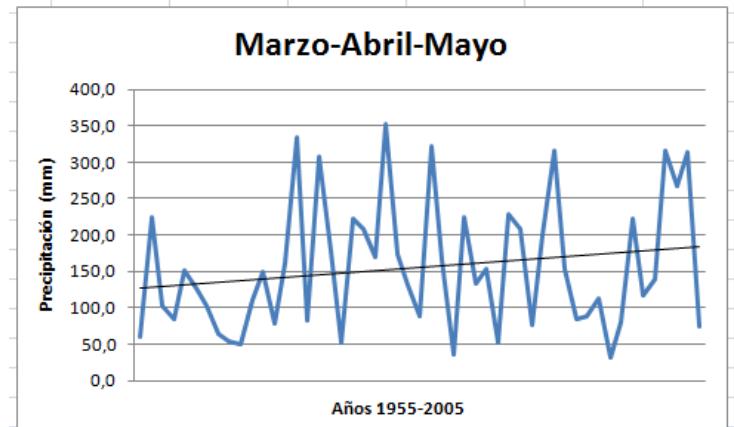
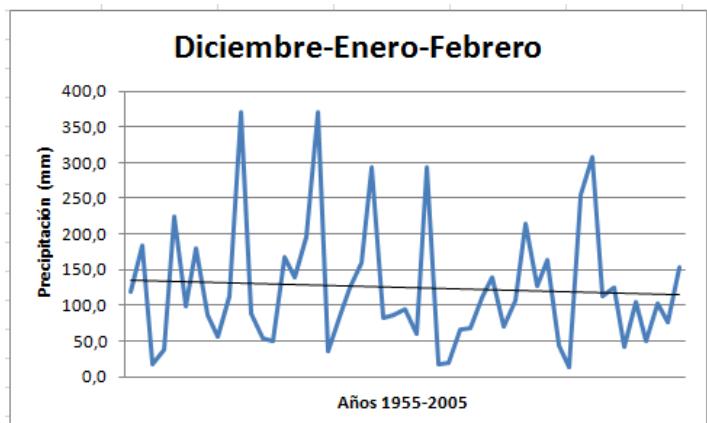
### Septiembre-Octubre-Noviembre



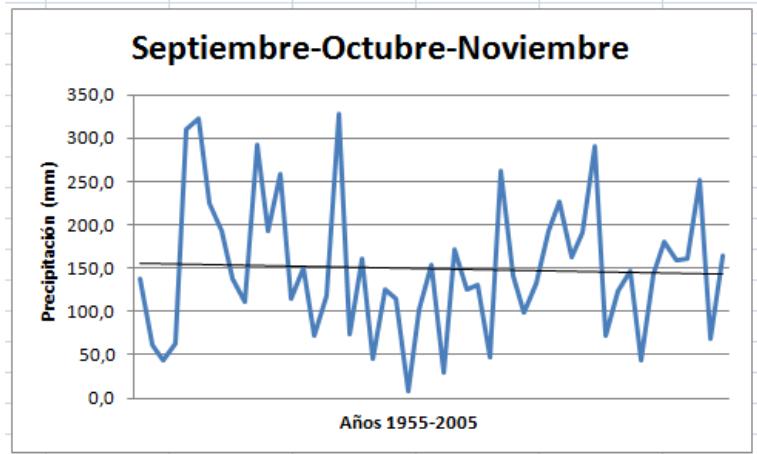
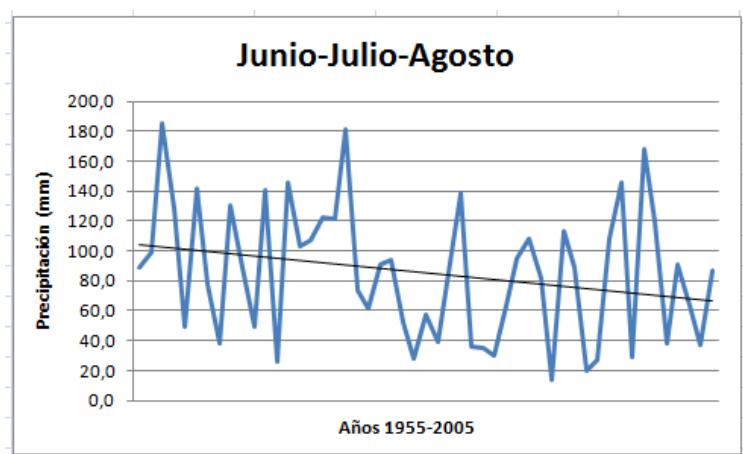
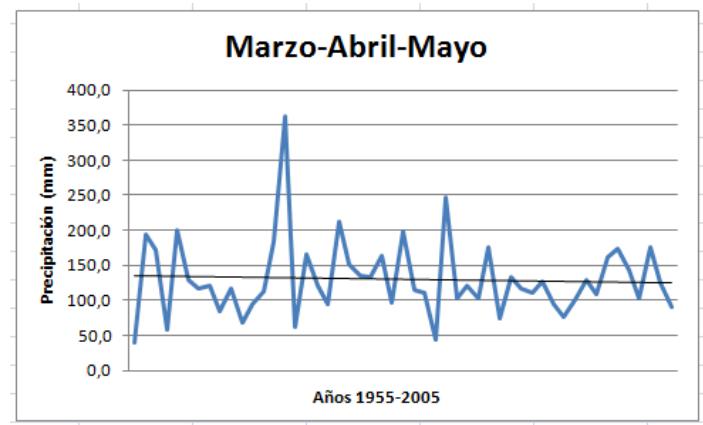
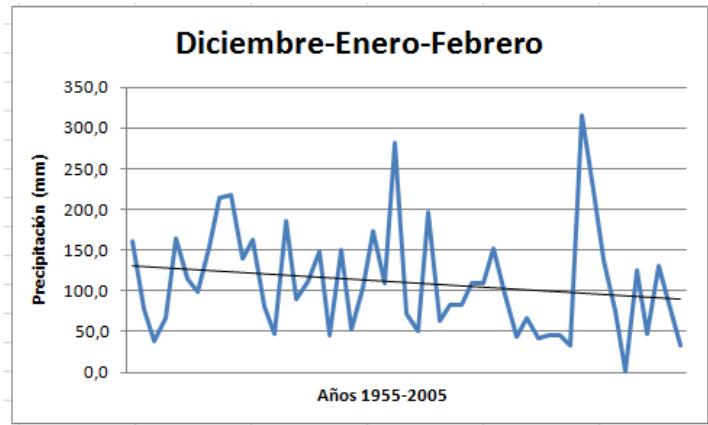
- Alcorisa (Bajo Aragón)



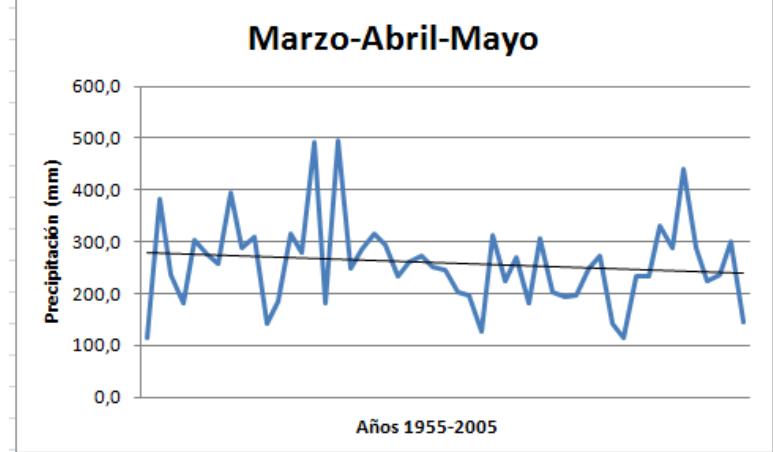
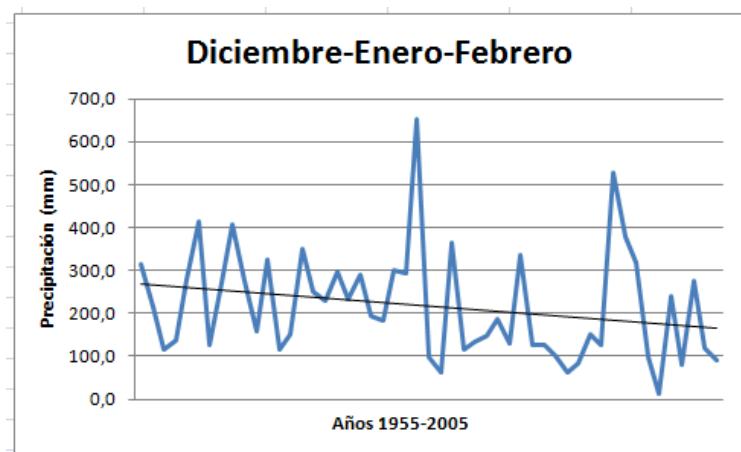
- Beceite (Peña Embalse)

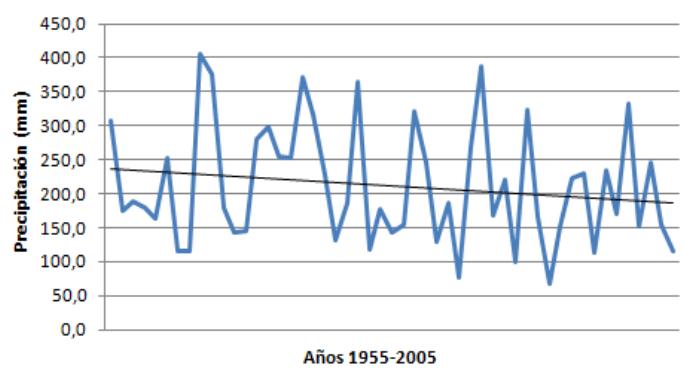
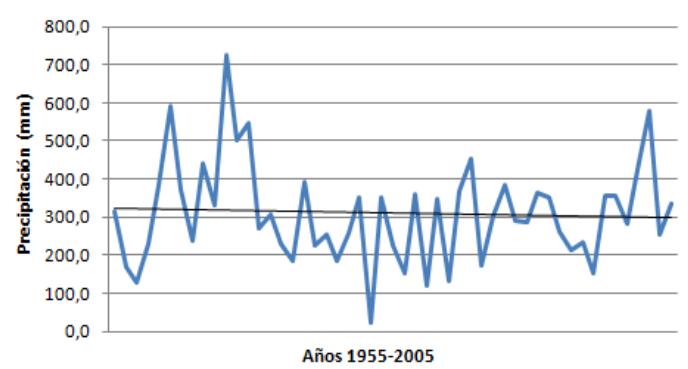


- Berbegal (Somontano de Barbastro)

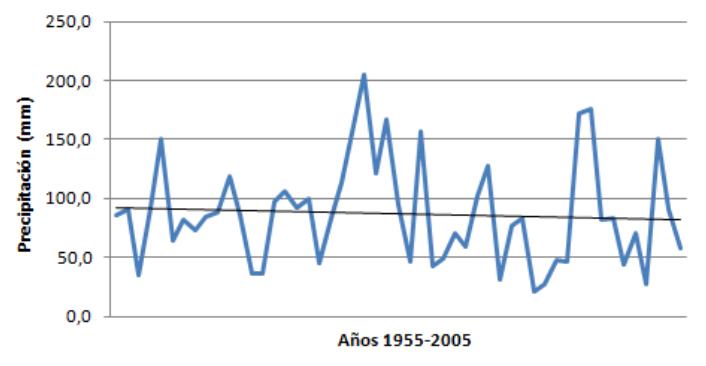
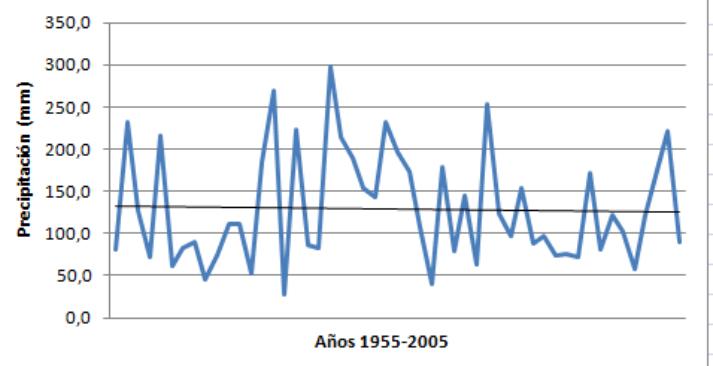
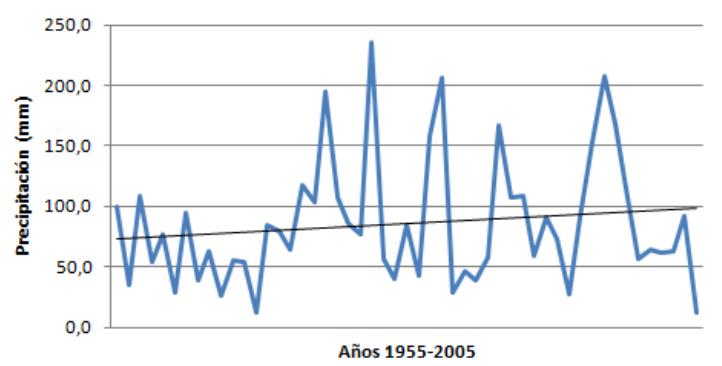
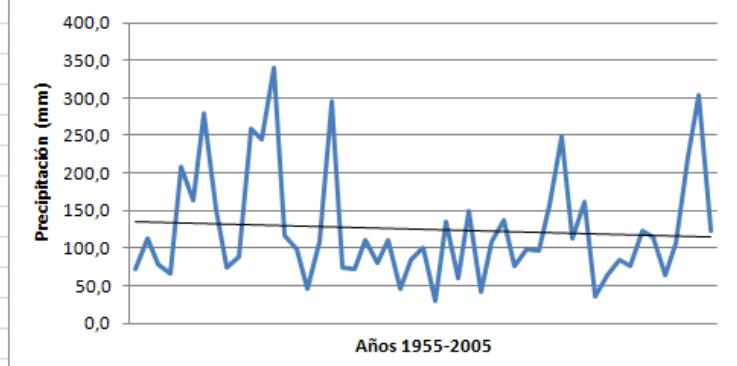


- Boltaña (Sobrarbe)

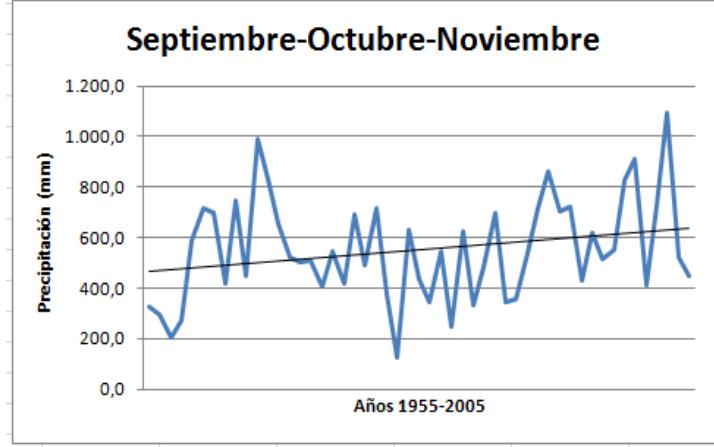
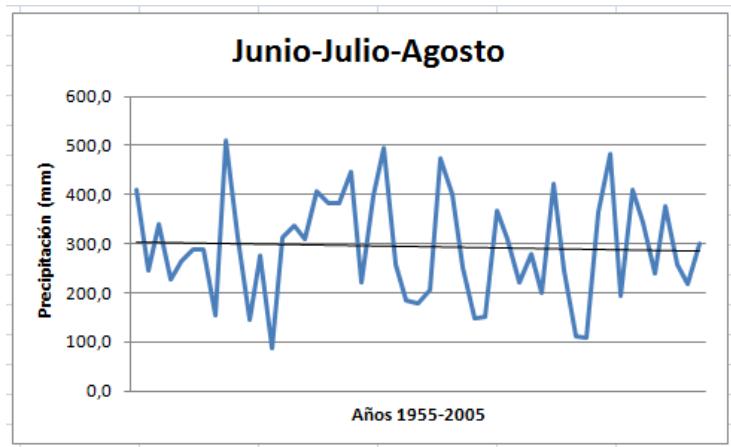
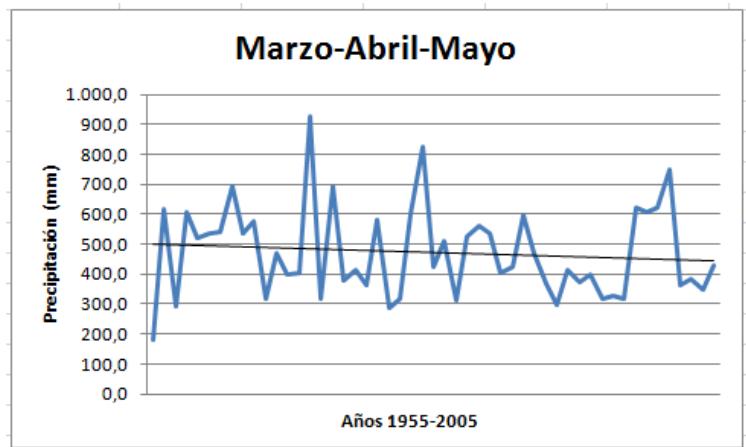
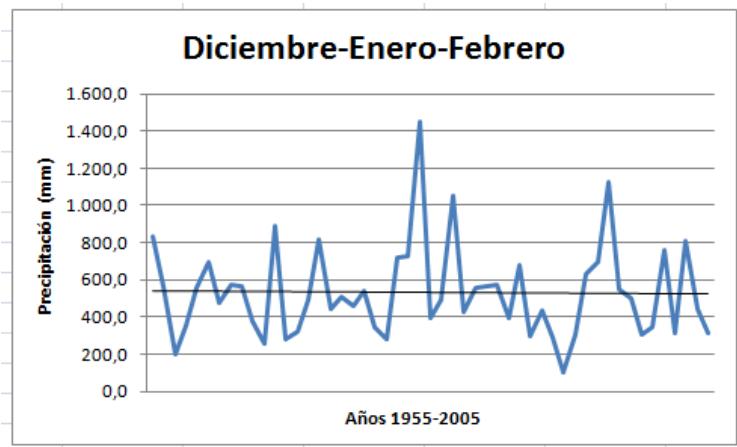


**Junio-Julio-Agosto**

**Septiembre-Octubre-Noviembre**


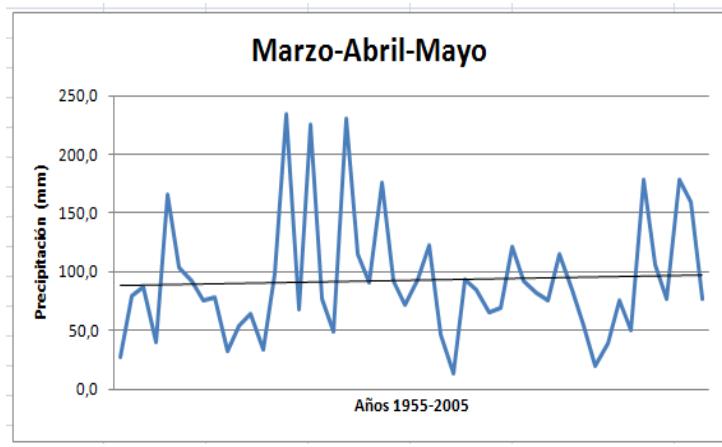
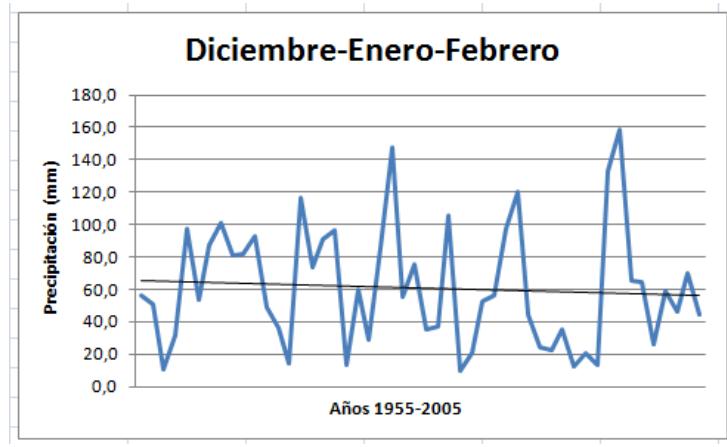
- Borja-ayuntamiento (Campo de Borja)

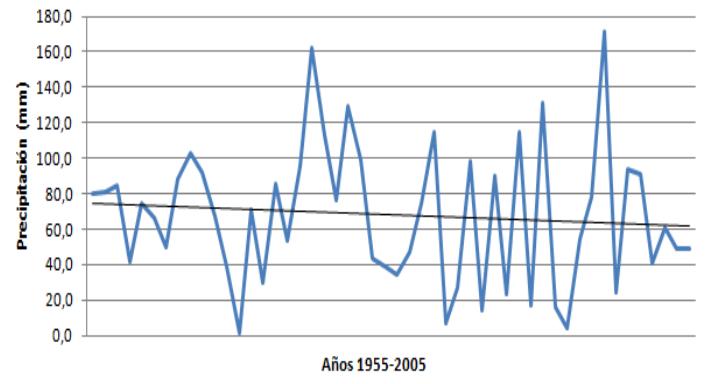
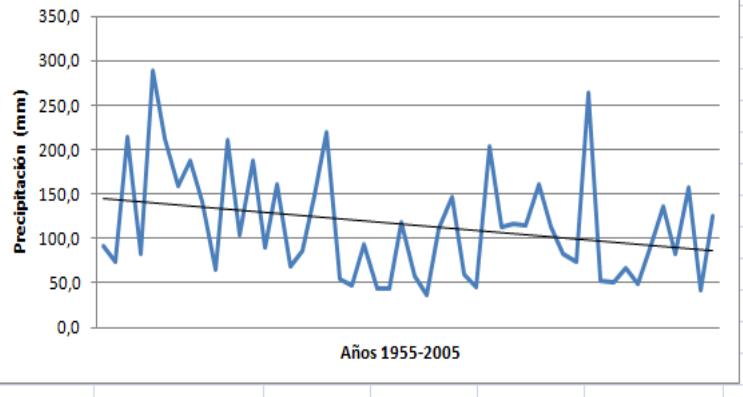
**Diciembre-Enero-Febrero**

**Marzo-Abril-Mayo**

**Junio-Julio-Agosto**

**Septiembre-Octubre-Noviembre**


- Canfranc-Los Arañones (La Jacetania)

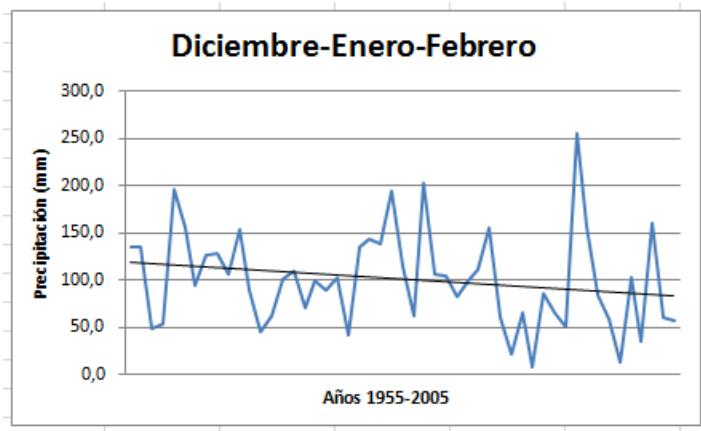
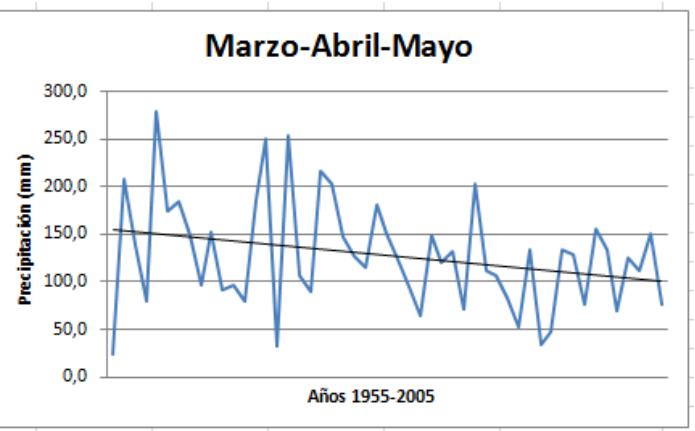
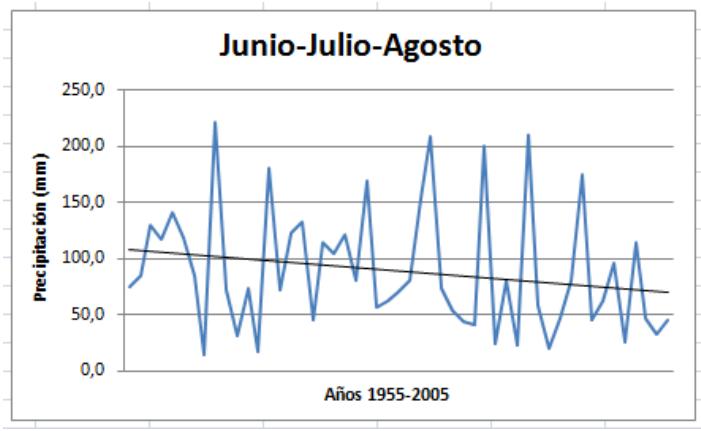
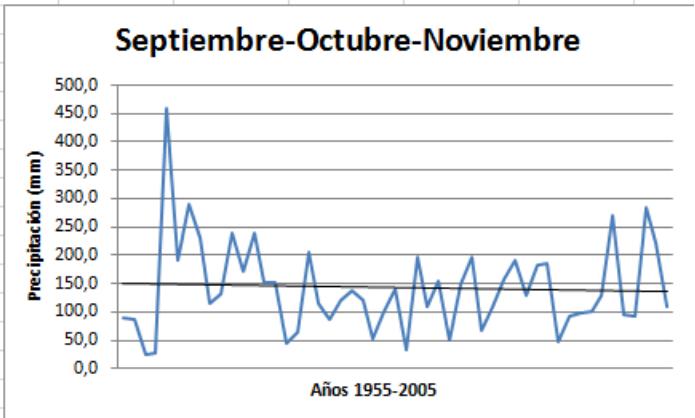


- Caspe-Forcaballes (Bajo Aragón Caspe)



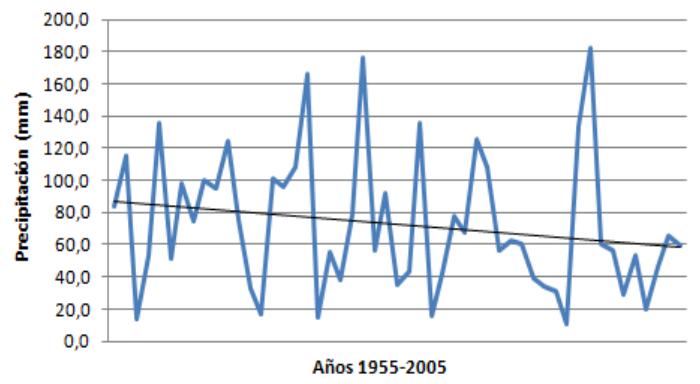
**Junio-Julio-Agosto**

**Septiembre-Octubre-Noviembre**


- Ejea de los Caballeros (Cinco Villas)

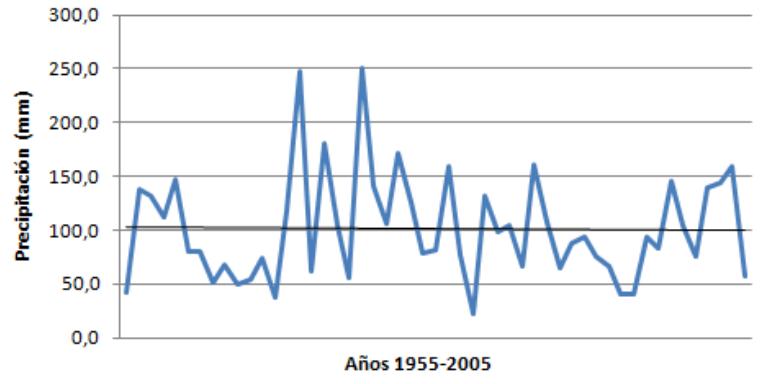
**Diciembre-Enero-Febrero**

**Marzo-Abril-Mayo**

**Junio-Julio-Agosto**

**Septiembre-Octubre-Noviembre**


- Jatiel (Bajo Martín)

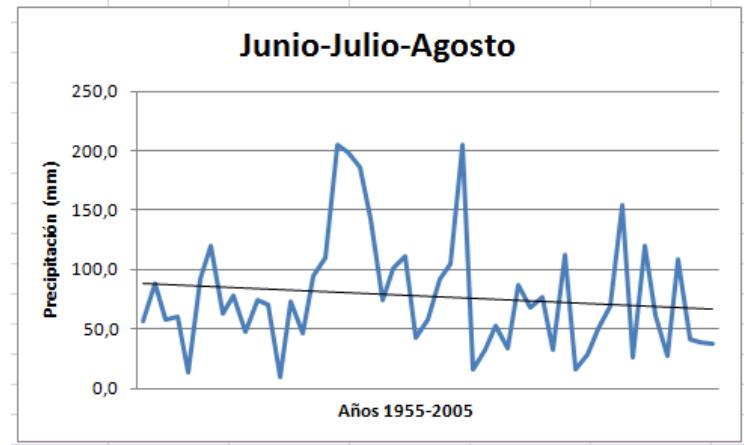
**Diciembre-Enero-Febrero**



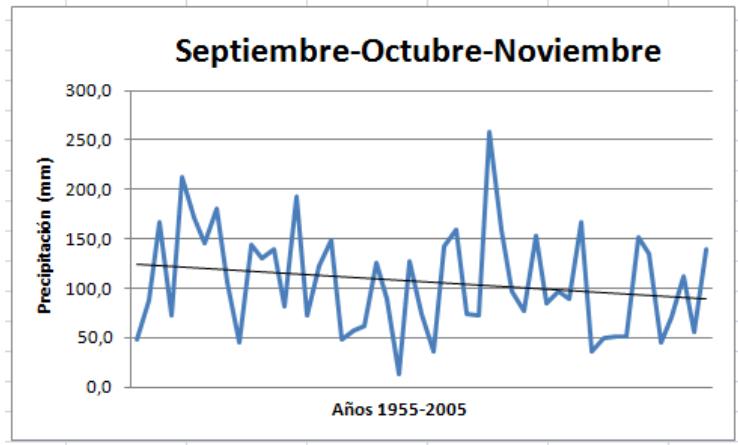
**Marzo-Abril-Mayo**



**Junio-Julio-Agosto**

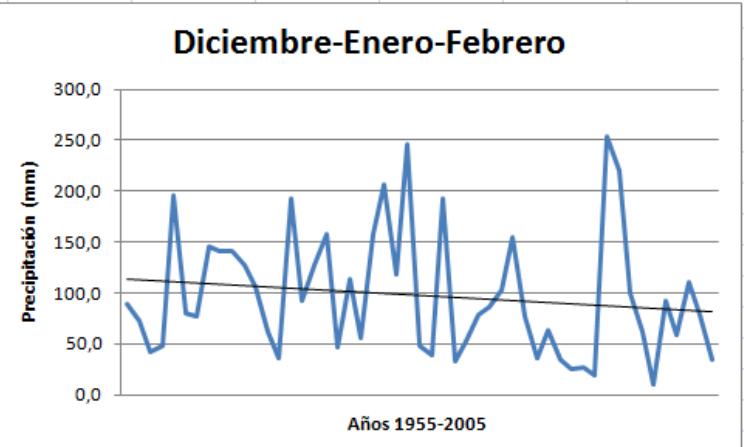


**Septiembre-Octubre-Noviembre**

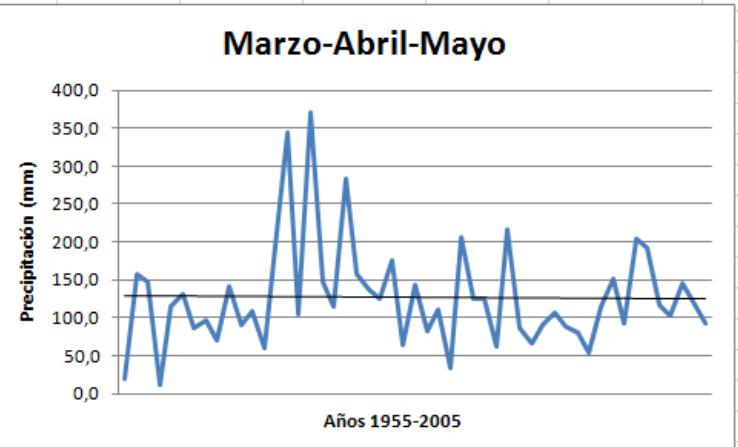


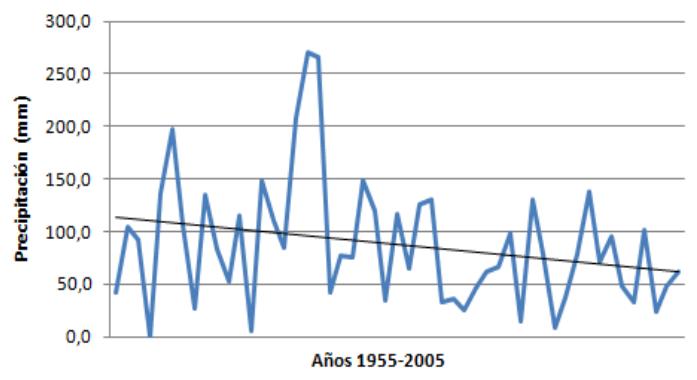
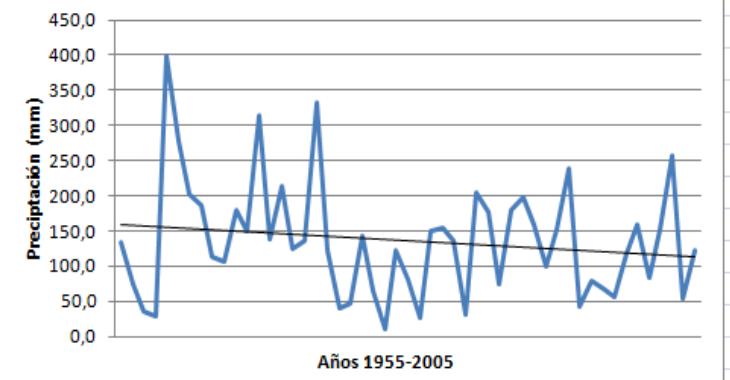
- Lanaja (Los Monegros)

**Diciembre-Enero-Febrero**

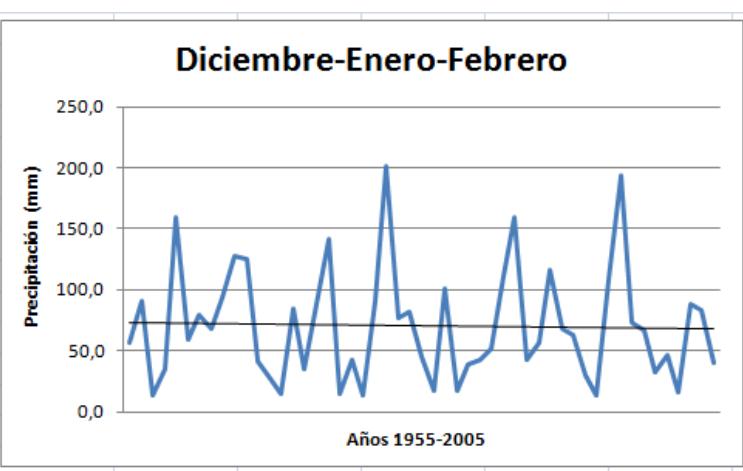
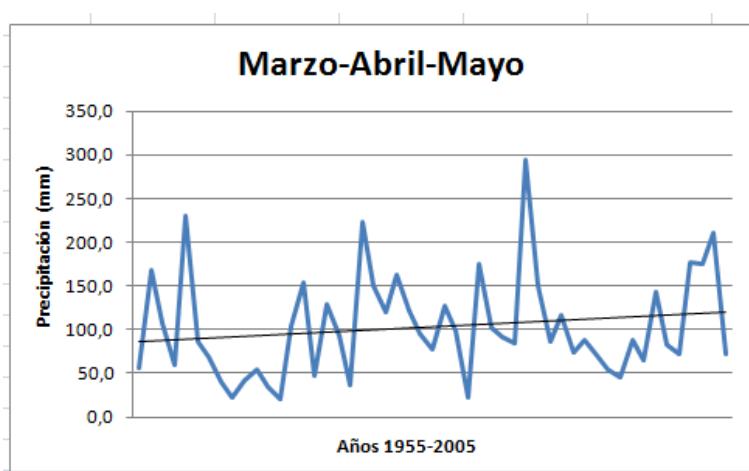
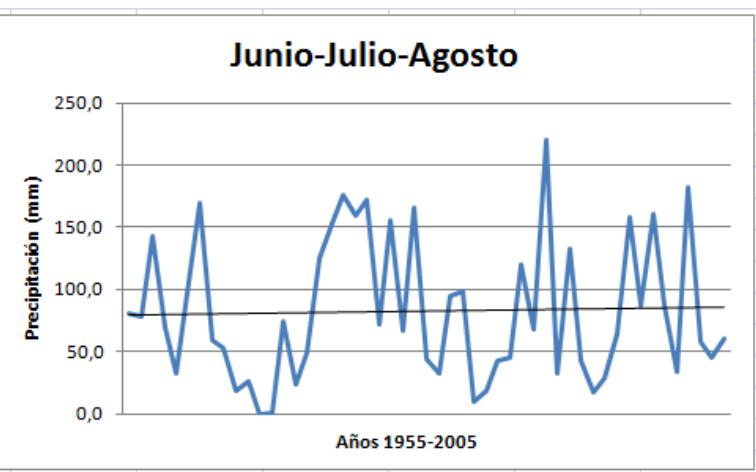
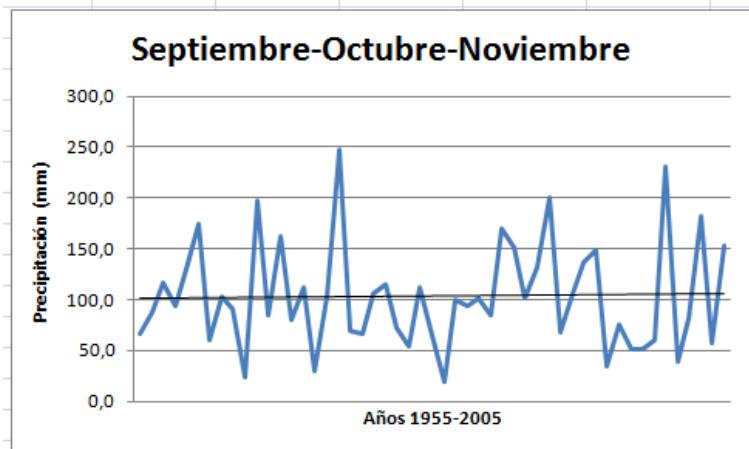


**Marzo-Abril-Mayo**

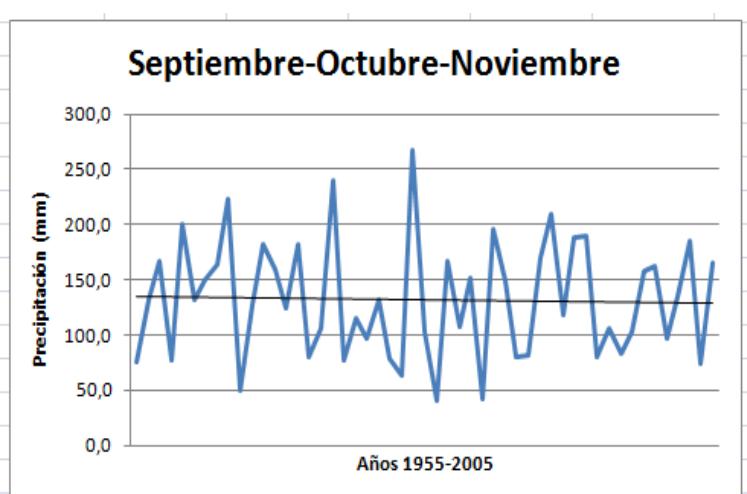
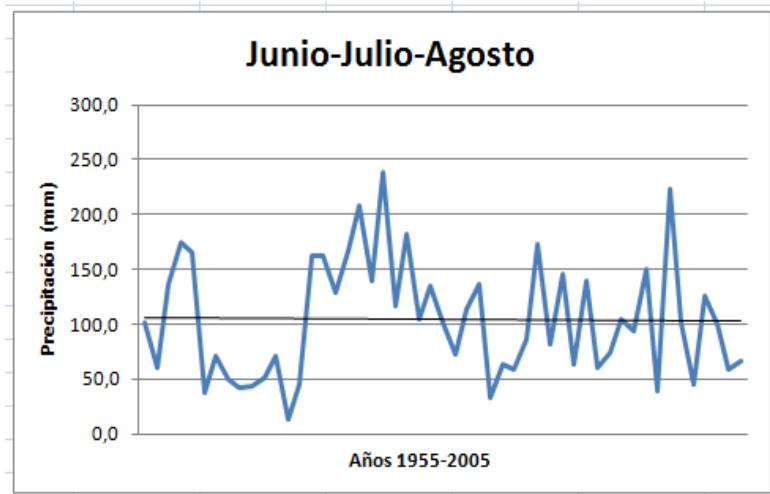
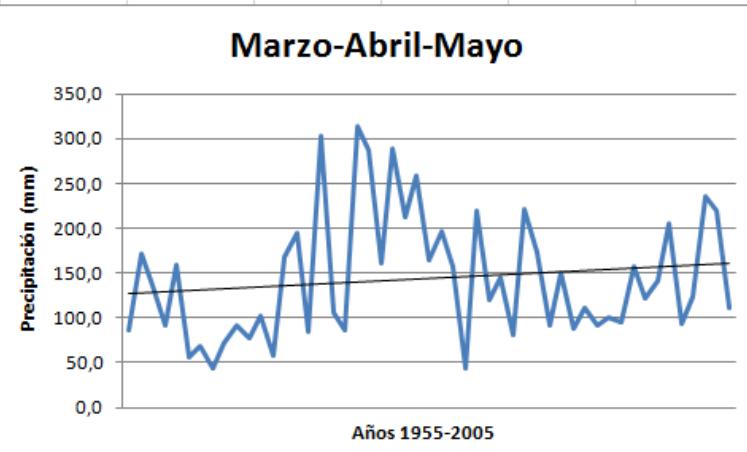
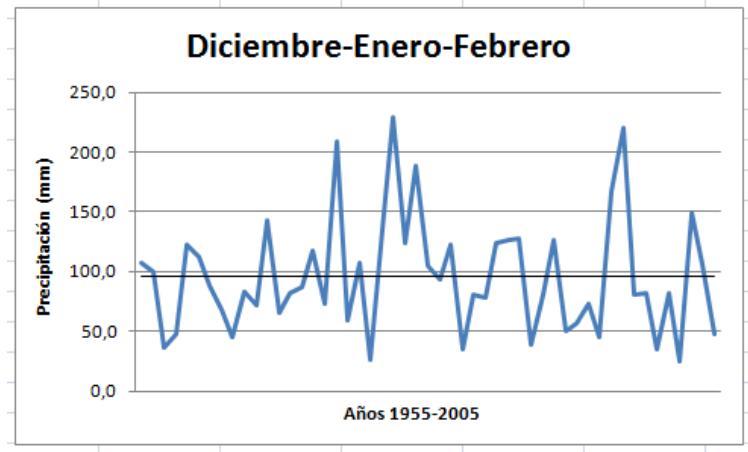


**Junio-Julio-Agosto**

**Septiembre-Octubre-Noviembre**


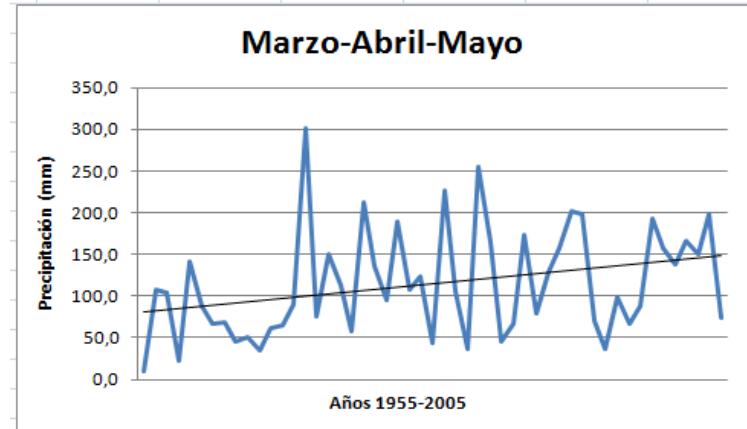
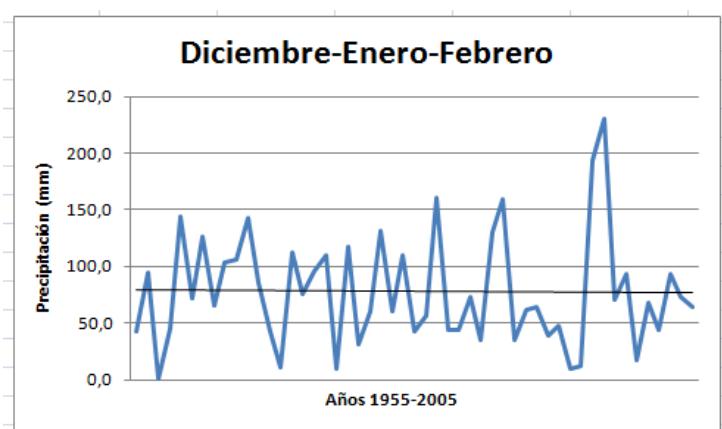
- Lécera (Campo de Belchite)

**Diciembre-Enero-Febrero**

**Marzo-Abril-Mayo**

**Junio-Julio-Agosto**

**Septiembre-Octubre-Noviembre**


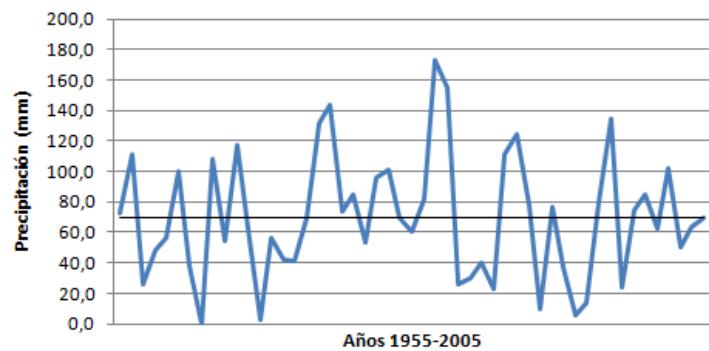
- Mainar (Campo de Daroca)



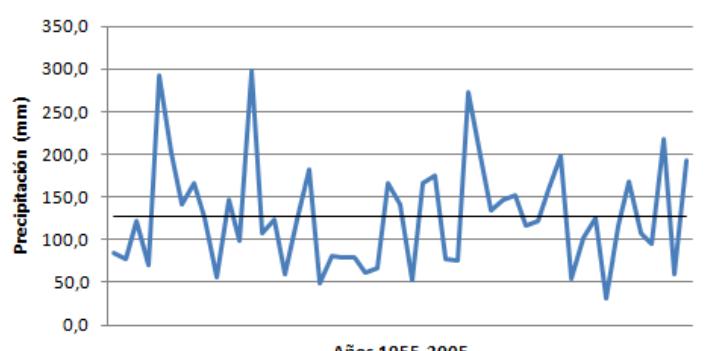
- Mequinenza (Bajo Cinca)



### Junio-Julio-Agosto

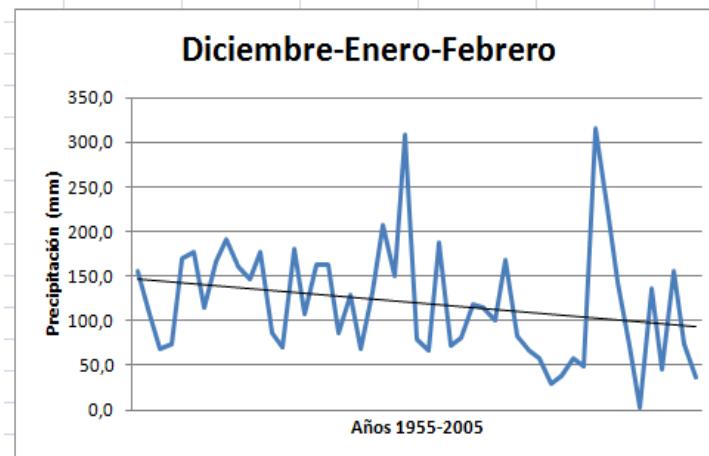


### Septiembre-Octubre-Noviembre

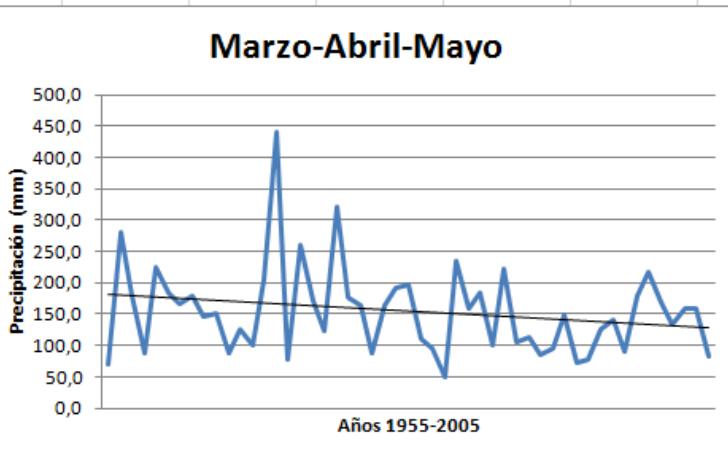


- Monflorite-Lascasas (Hoya de Huesca)

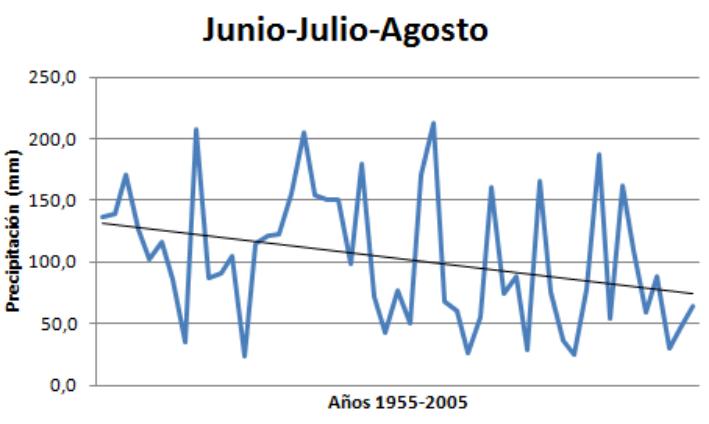
### Diciembre-Enero-Febrero



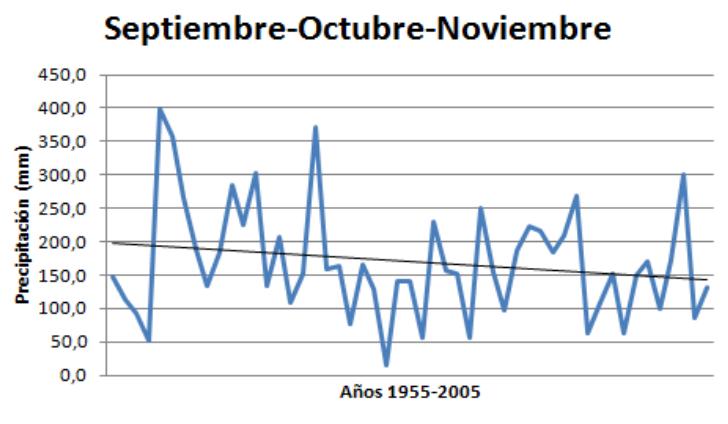
### Marzo-Abril-Mayo



### Junio-Julio-Agosto

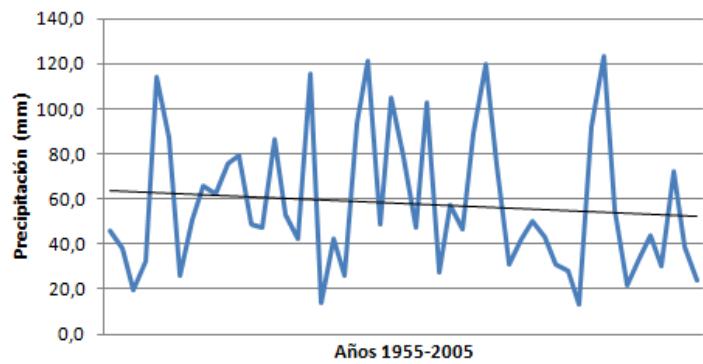


### Septiembre-Octubre-Noviembre

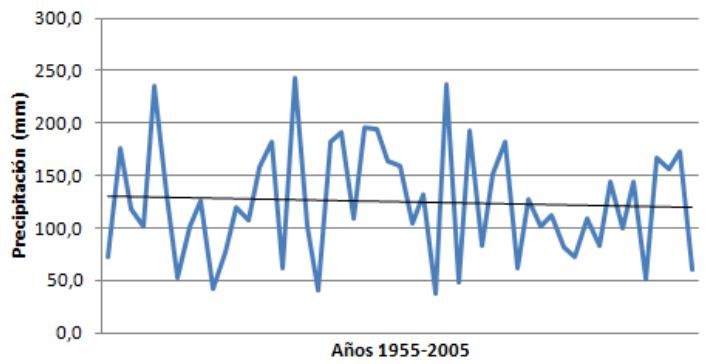


- Monreal del campo-DGA (Jiloca)

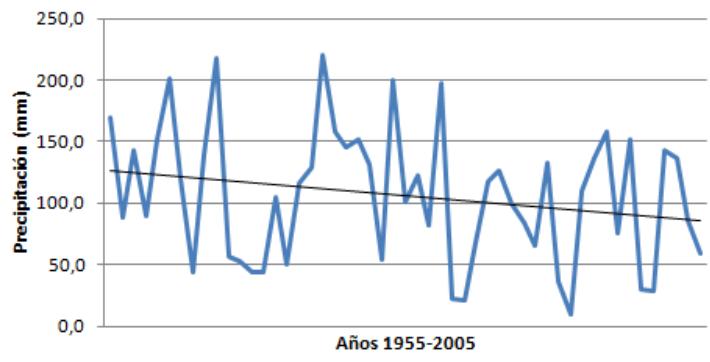
**Diciembre-Enero-Febrero**



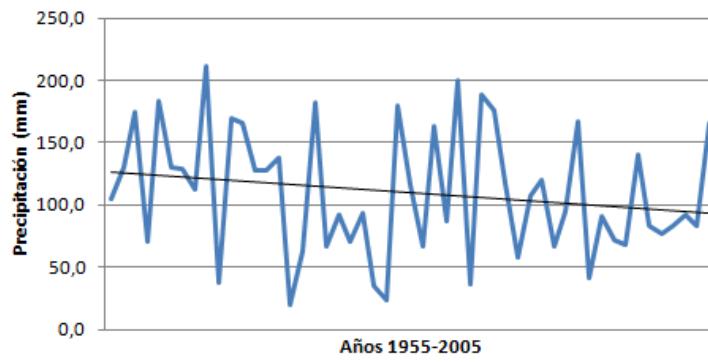
**Marzo-Abril-Mayo**



**Junio-Julio-Agosto**

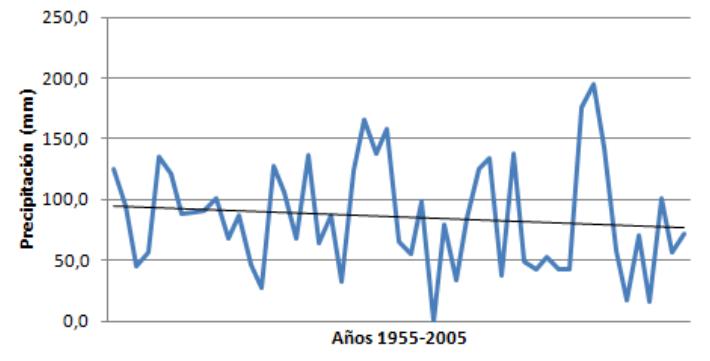


**Septiembre-Octubre-Noviembre**

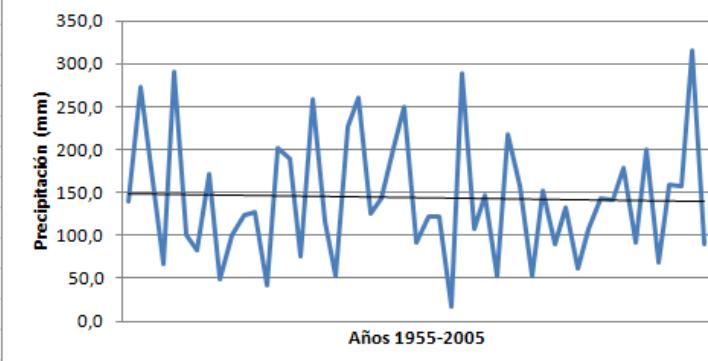


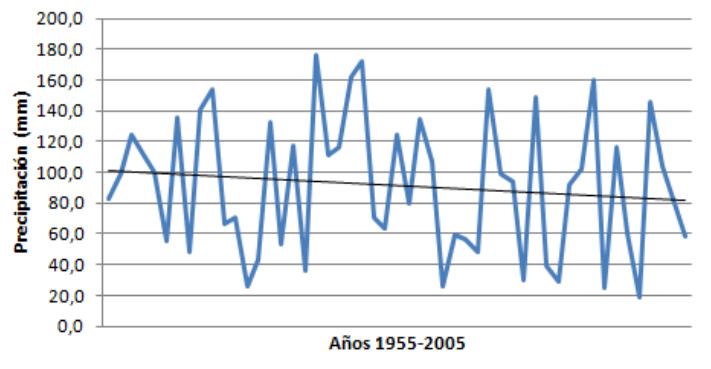
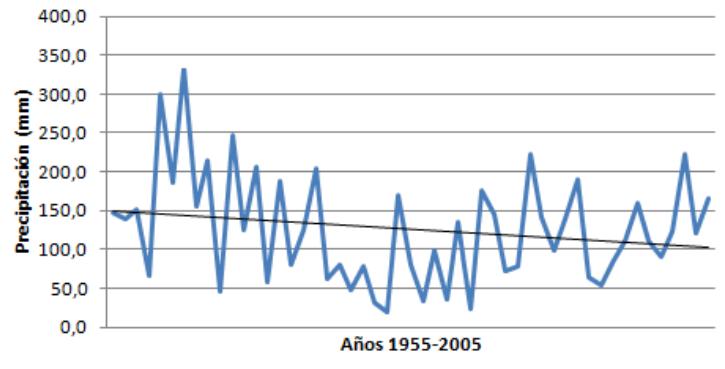
- Monterde-PFE (Comunidad de Calatayud)

**Diciembre-Enero-Febrero**

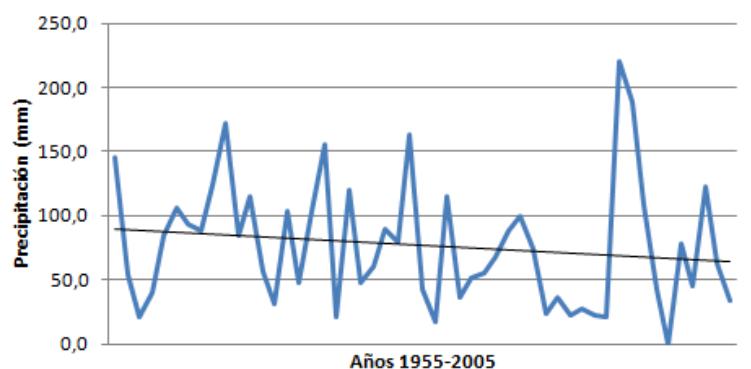
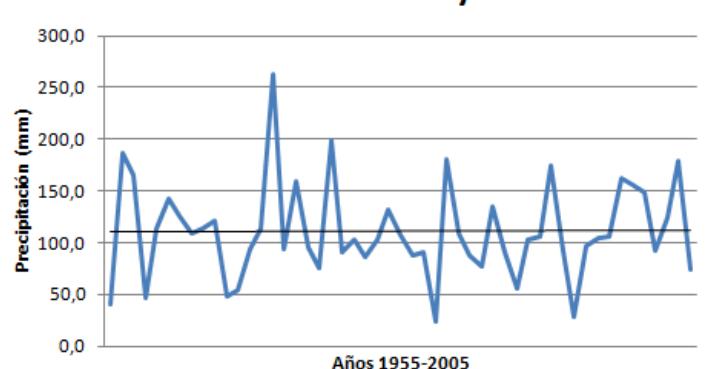
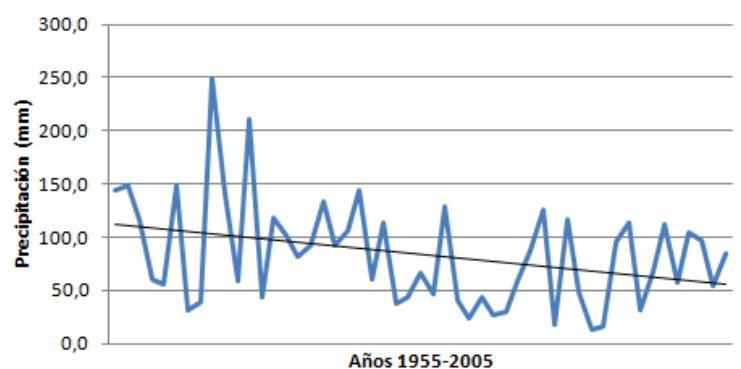
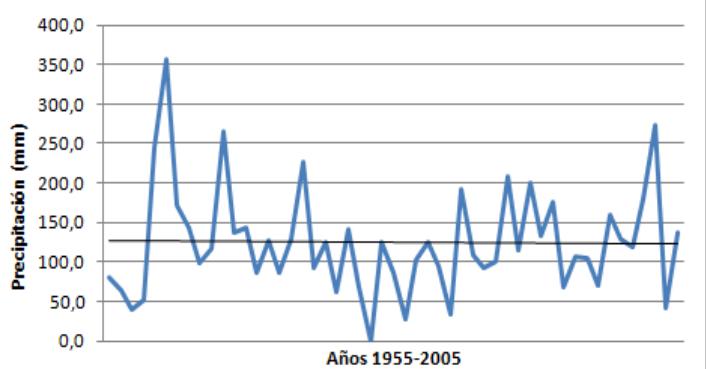


**Marzo-Abril-Mayo**

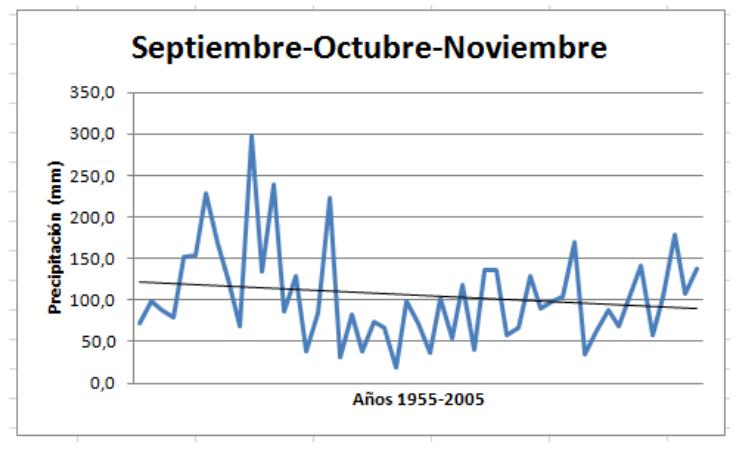
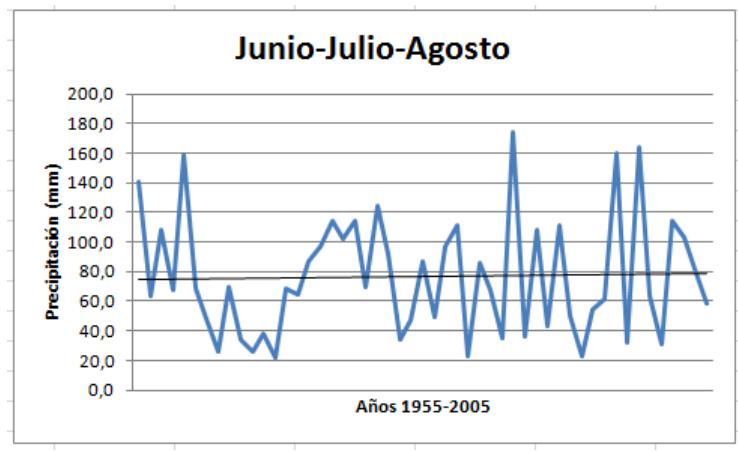
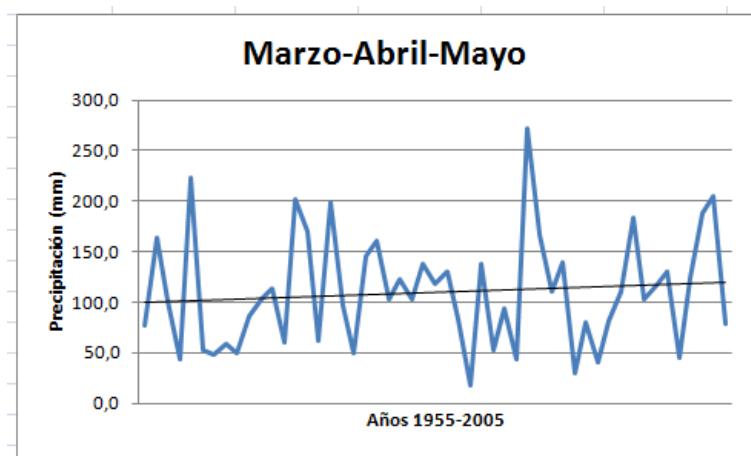
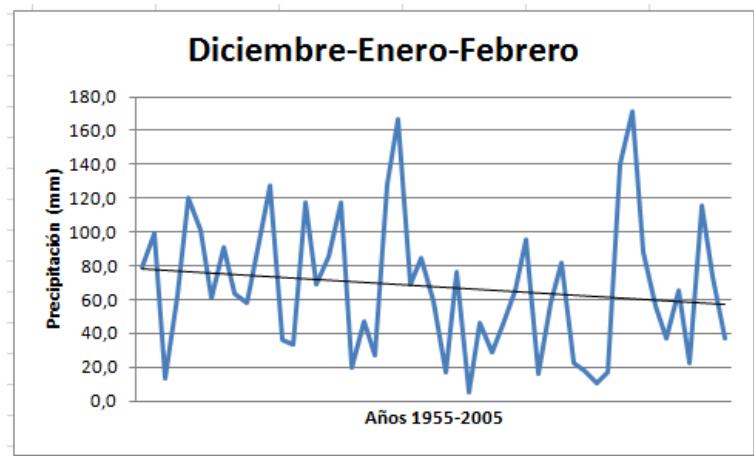


**Junio-Julio-Agosto**

**Septiembre-Octubre-Noviembre**


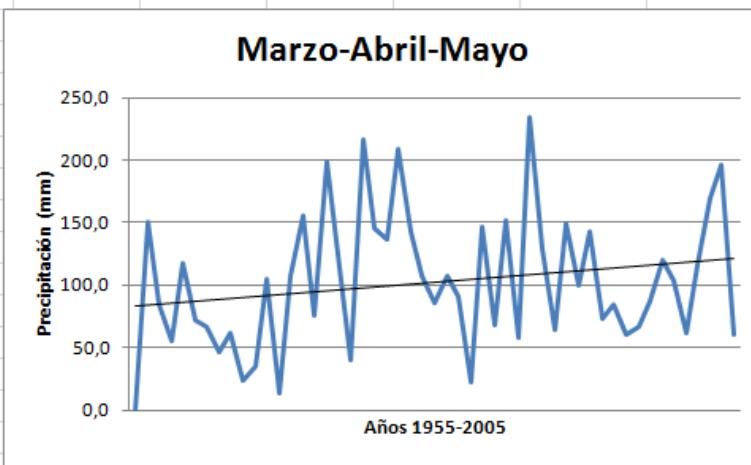
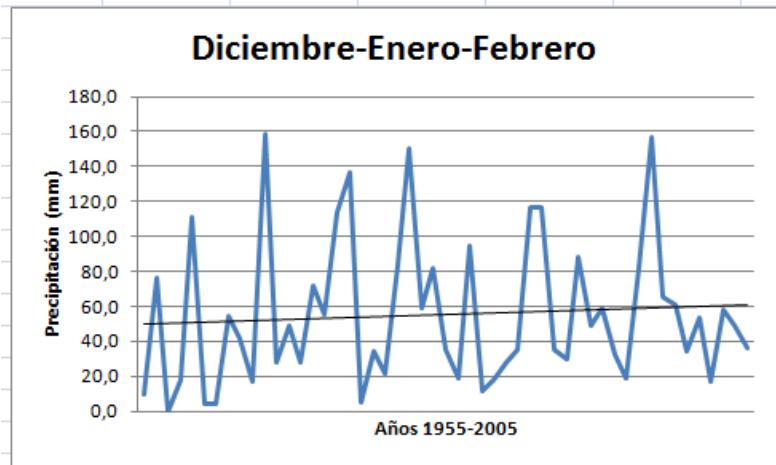
- Monzón-silo (Cinca Medio)

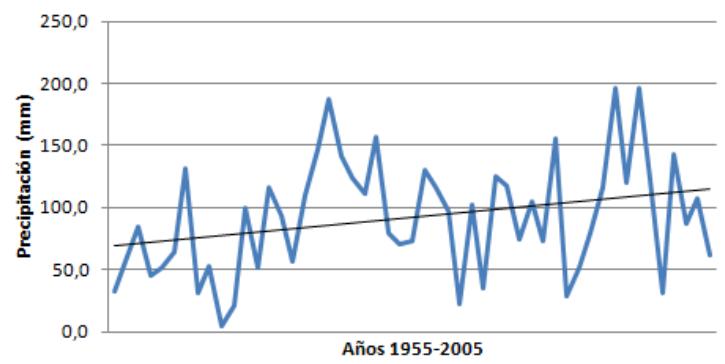
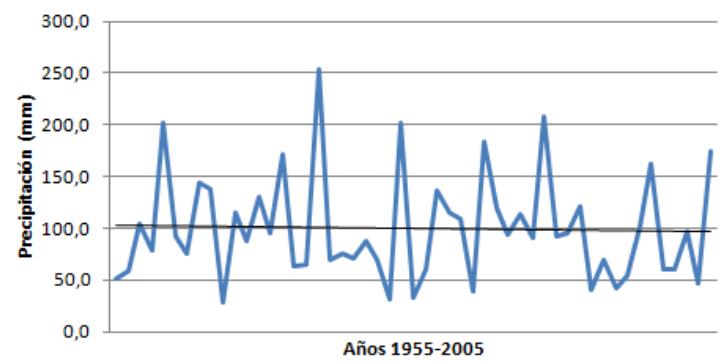
**Diciembre-Enero-Febrero**

**Marzo-Abril-Mayo**

**Junio-Julio-Agosto**

**Septiembre-Octubre-Noviembre**


- Morata de Jalón (Valdejalón)

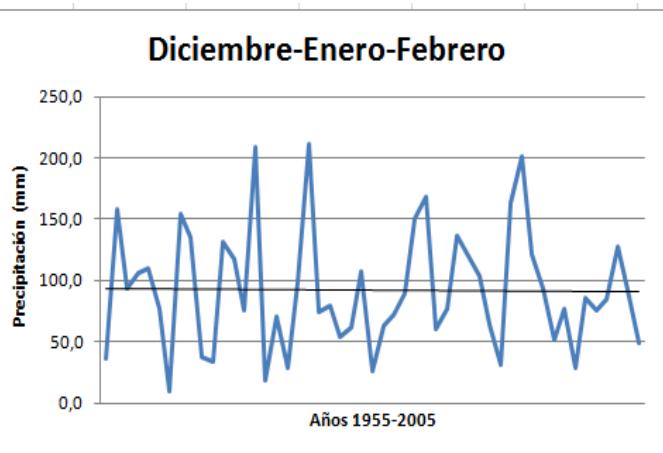
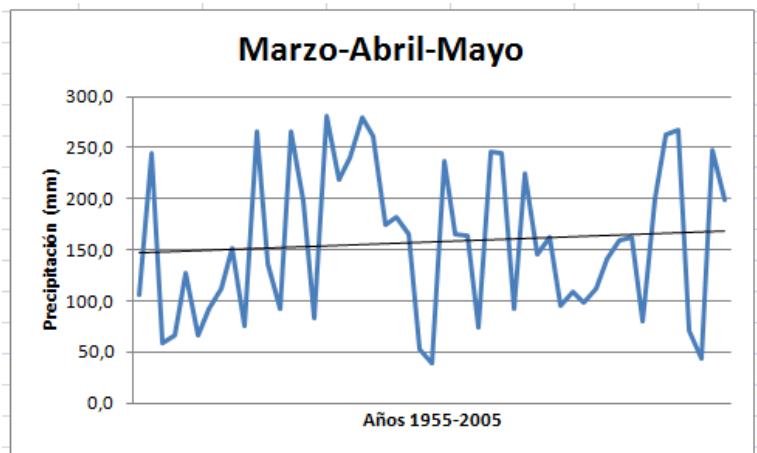
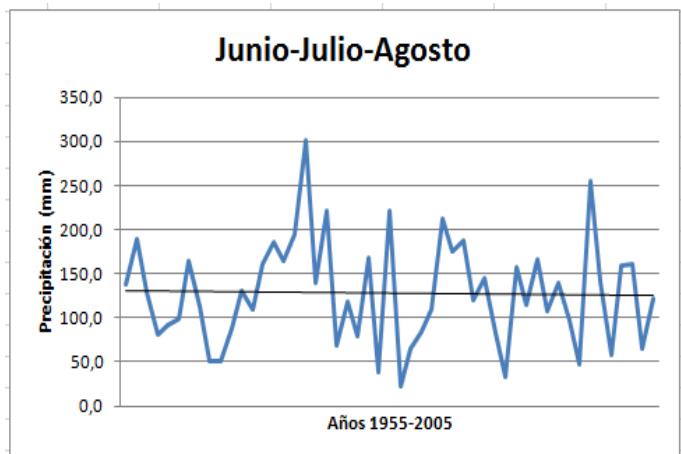
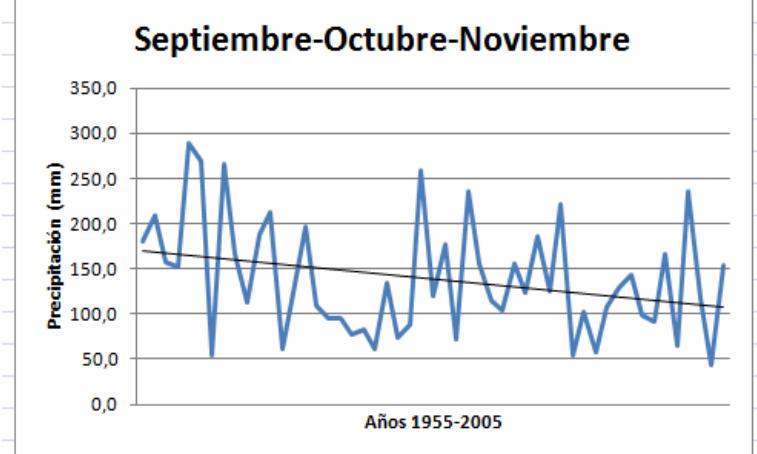


- Oliete-cueva foradada embalse (Andorra Sierra de Arcos)

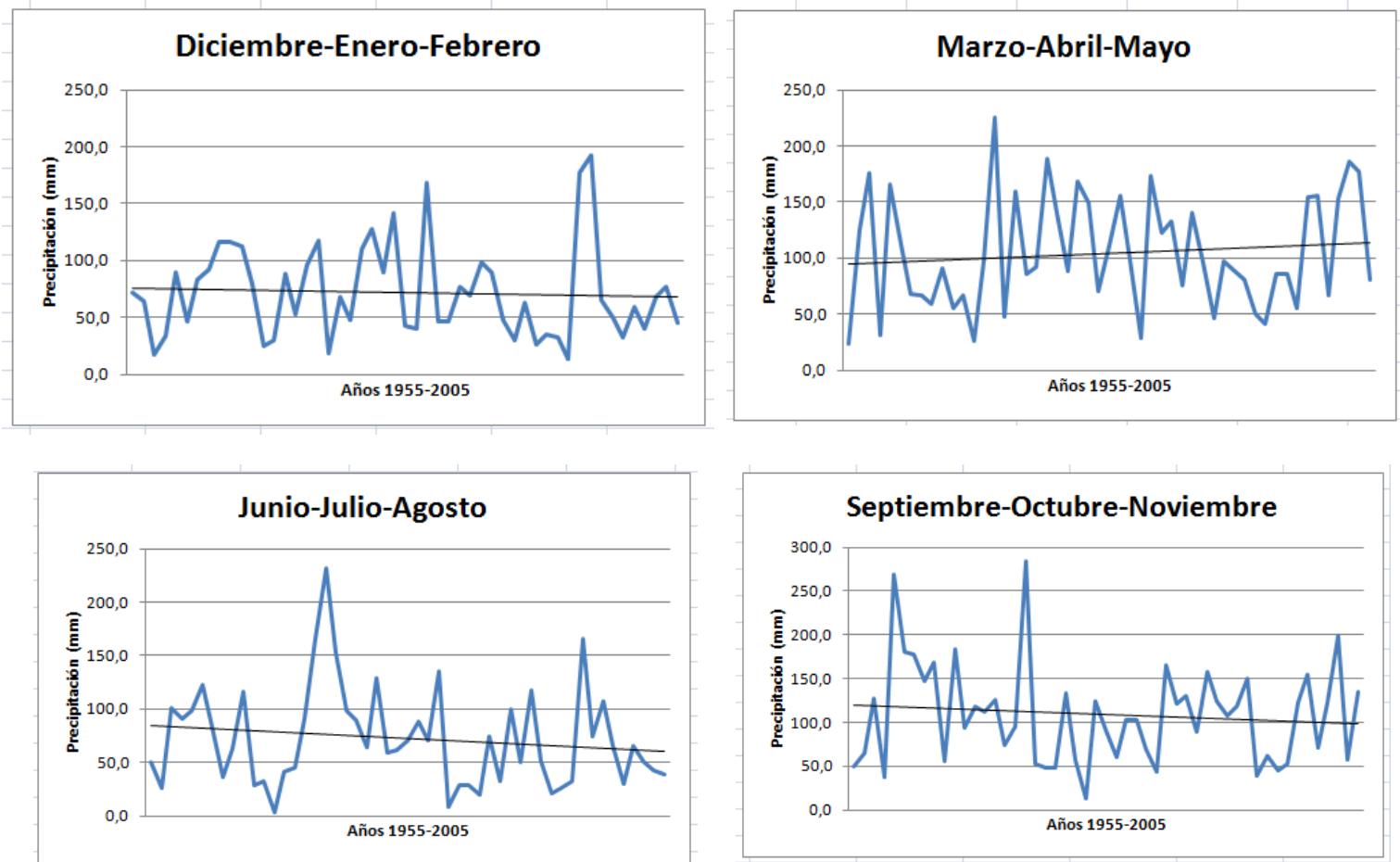


**Junio-Julio-Agosto**

**Septiembre-Octubre-Noviembre**


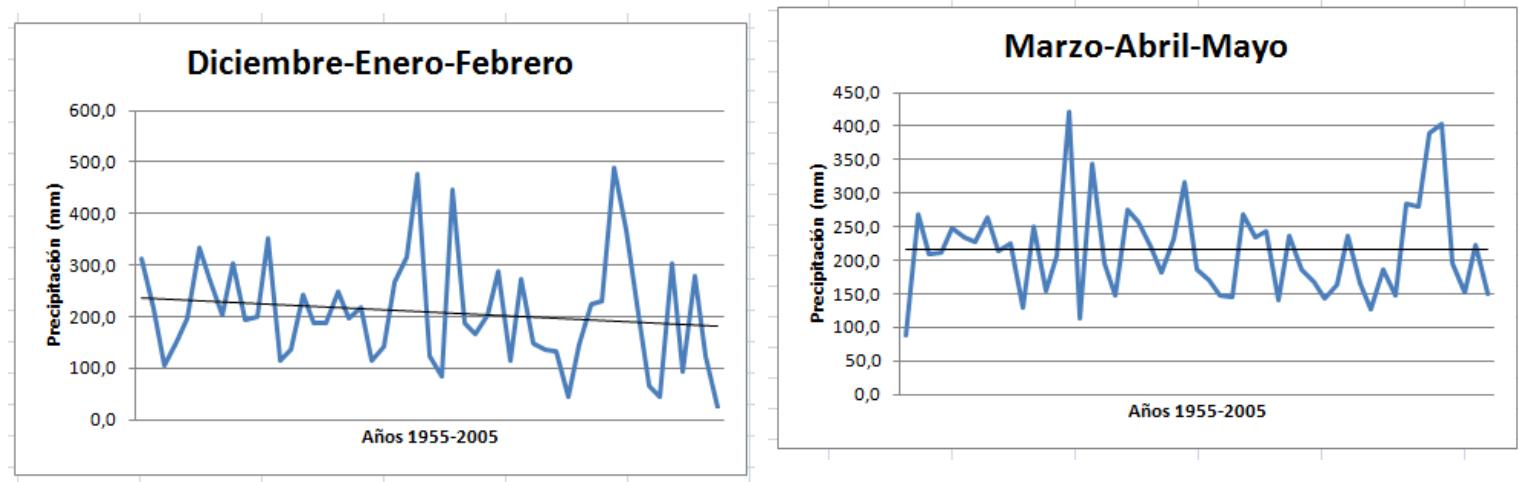
- Palomar de arroyos (Cuenca minera)

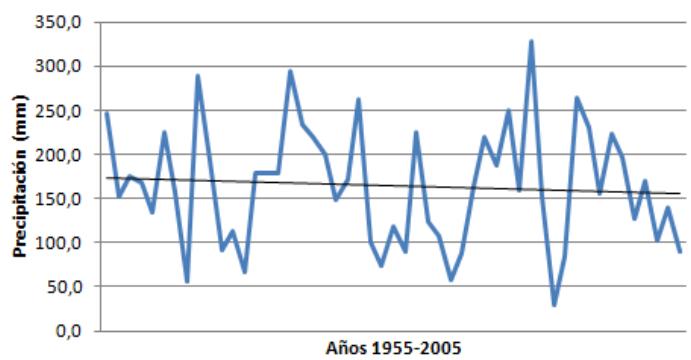
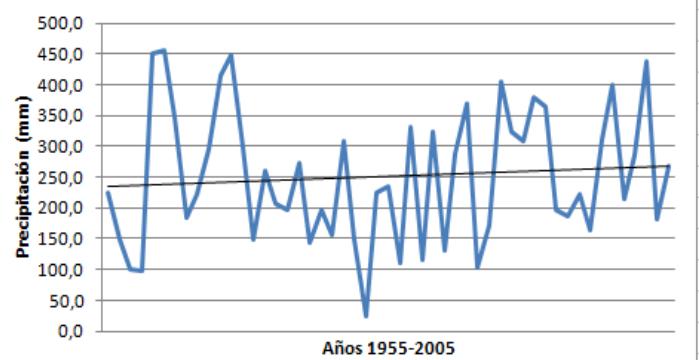
**Diciembre-Enero-Febrero**

**Marzo-Abril-Mayo**

**Junio-Julio-Agosto**

**Septiembre-Octubre-Noviembre**


- Pina de Ebro-PFE (Ribera Baja del Ebro)

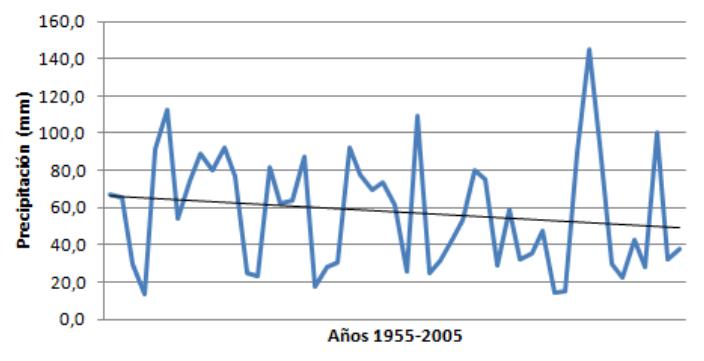
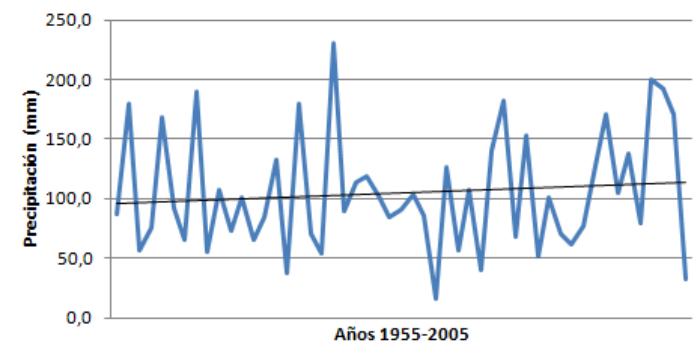
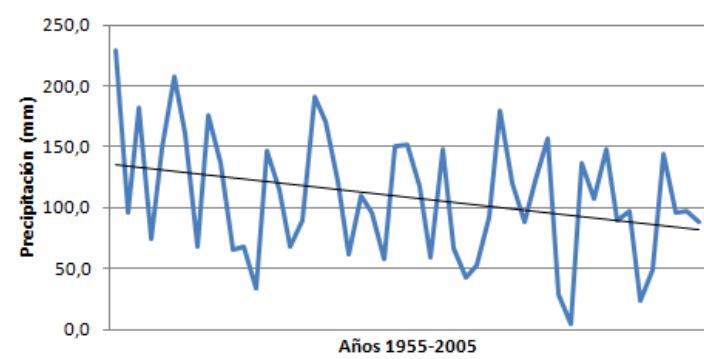
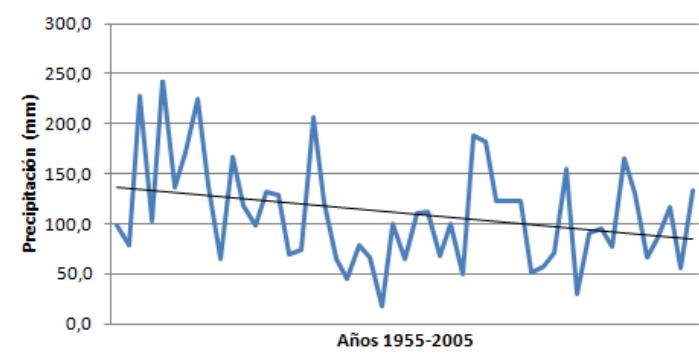


- Sabiñanigo (Alto Gállego)

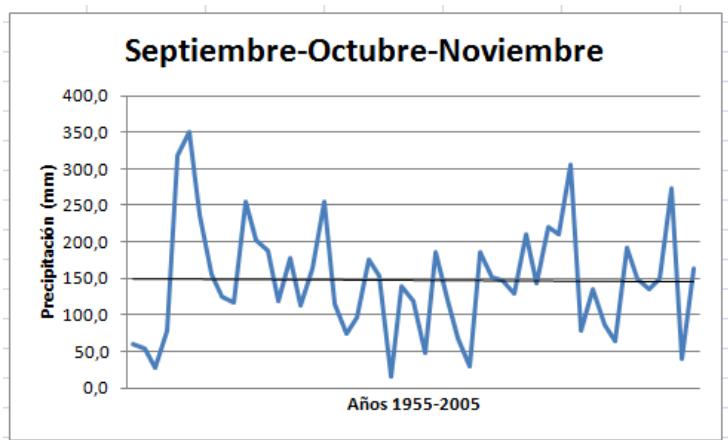
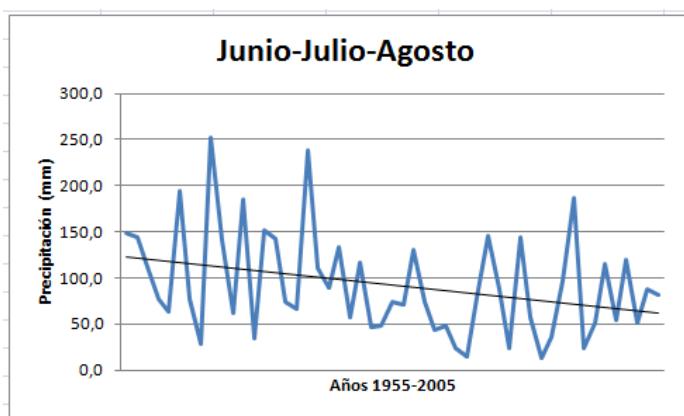
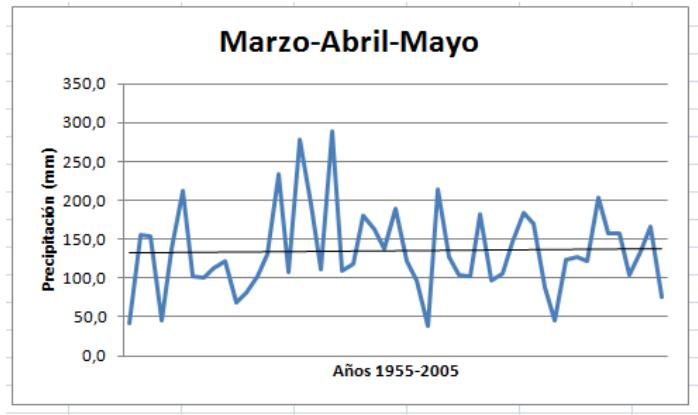
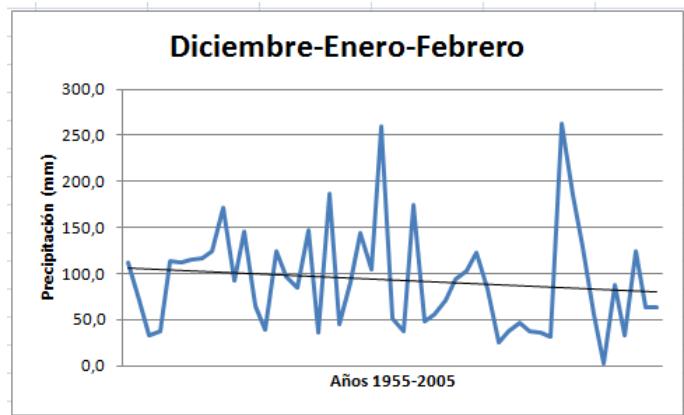


**Junio-Julio-Agosto**

**Septiembre-Octubre-Noviembre**


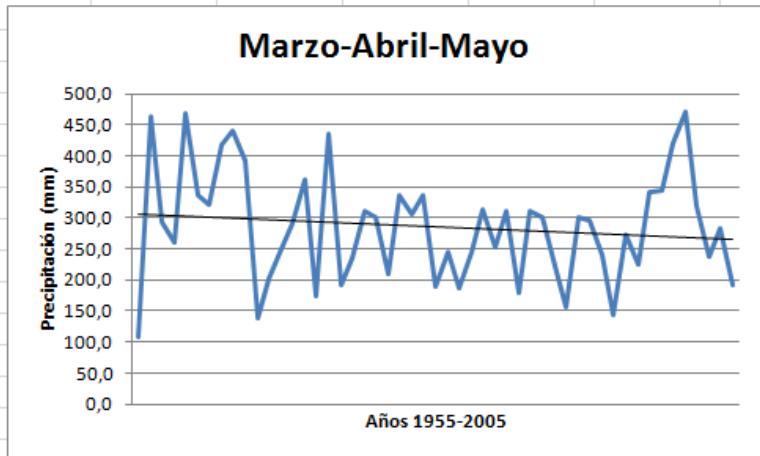
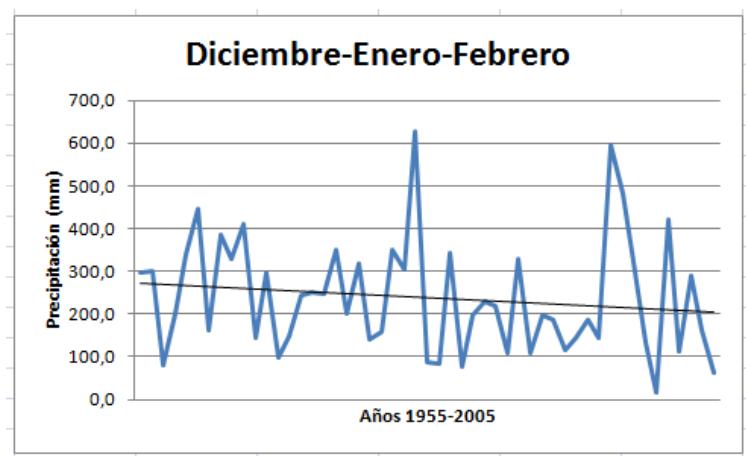
- San Blas (Comunidad de Teruel)

**Diciembre-Enero-Febrero**

**Marzo-Abril-Mayo**

**Junio-Julio-Agosto**

**Septiembre-Octubre-Noviembre**


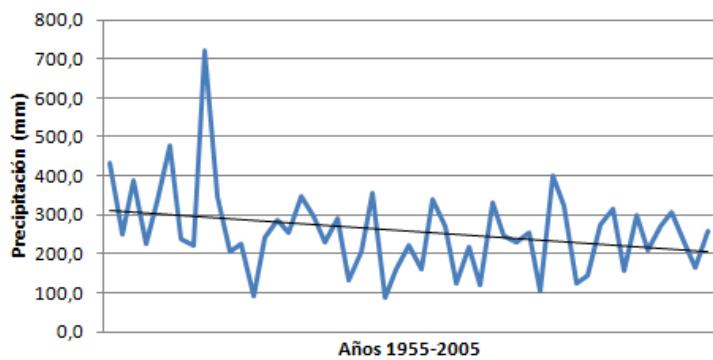
- San Esteban de Litera (La Litera)



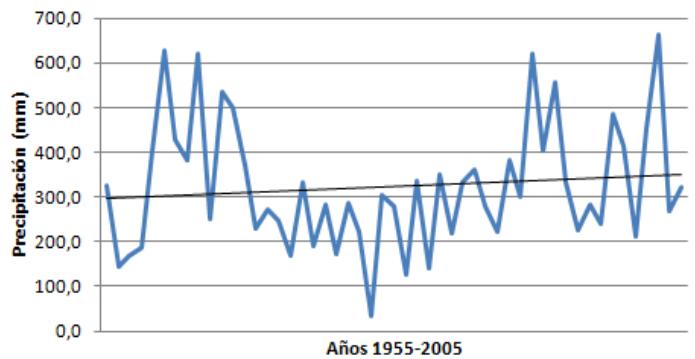
- Sesué-central (La Ribagorza)



### Junio-Julio-Agosto

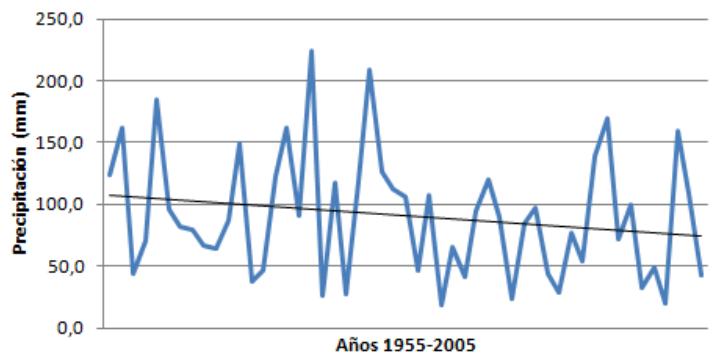


### Septiembre-Octubre-Noviembre

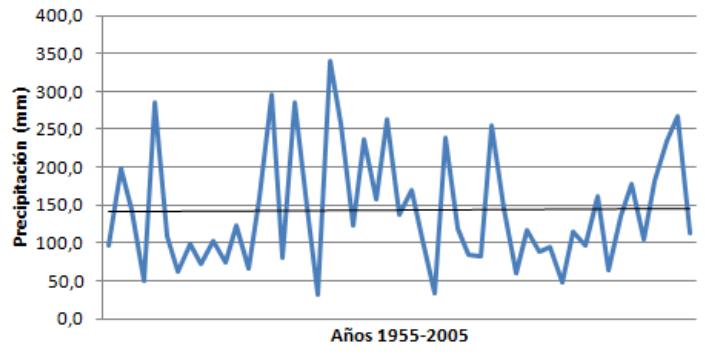


- Tosos (Campo de Cariñena)

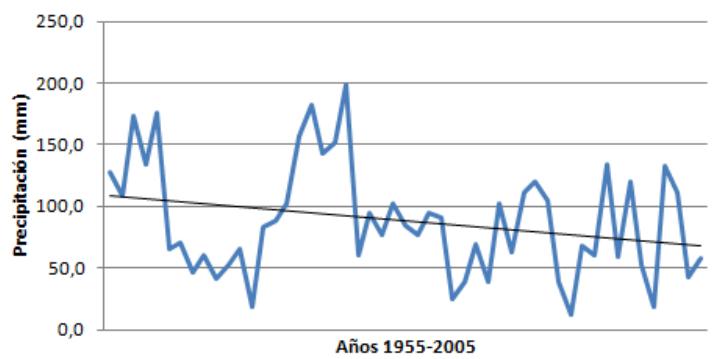
### Diciembre-Enero-Febrero



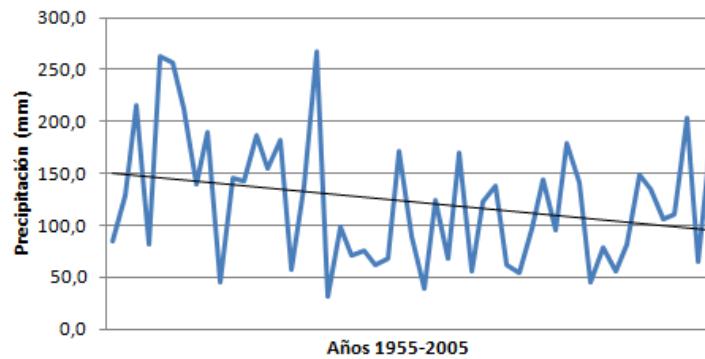
### Marzo-Abril-Mayo



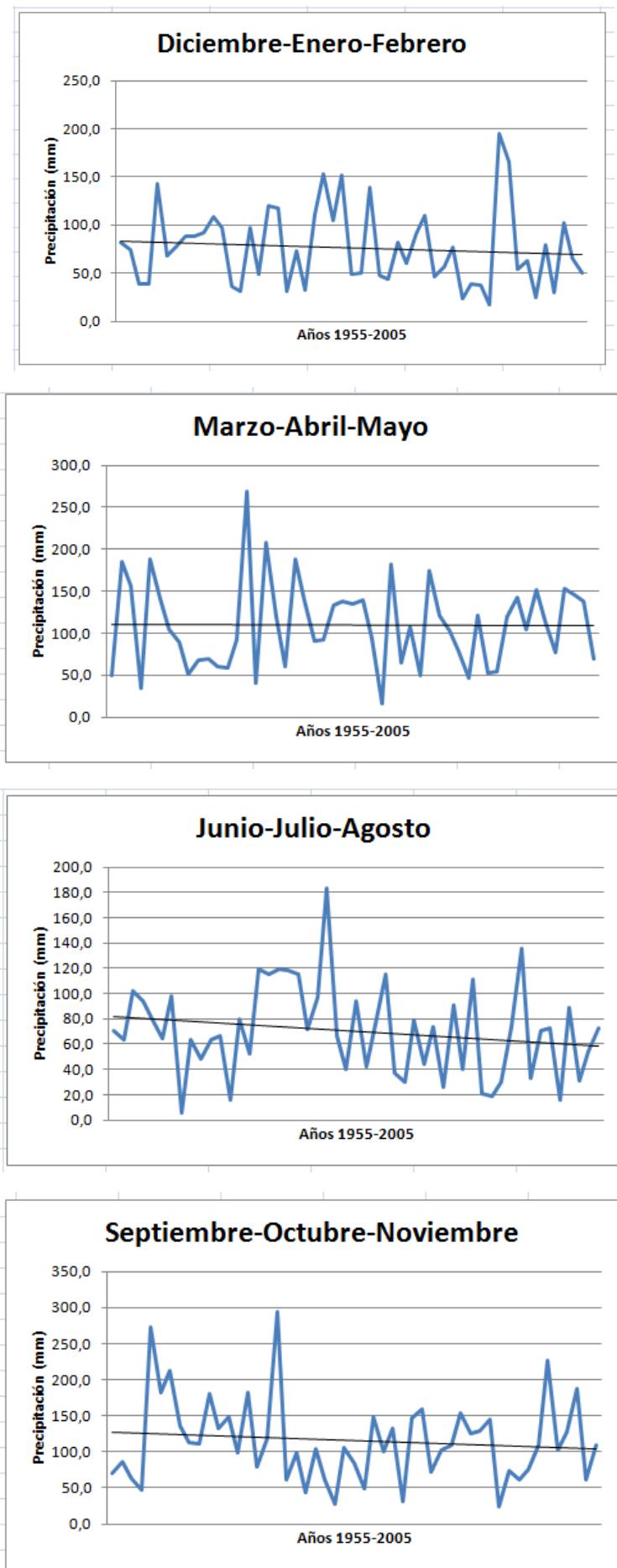
### Junio-Julio-Agosto



### Septiembre-Octubre-Noviembre



- Zaragoza-aeropuerto



## Bibliografía del anexo (datos meteorológicos)

Los datos meteorológicos empleados durante los diferentes análisis que se han hecho en el presente TFG provienen de los siguientes lugares:

- Instituto Aragonés de Estadística. Recuperado el 27 de mayo de 2015 en [http://www.aragon.es/DepartamentosOrganismosPublicos/Institutos/InstitutoAragonEstadistica/AreasTematicas/14\\_Medio\\_Ambiente\\_Y\\_Energia/ci.05\\_Climate\\_Datos\\_climatologicos.detalleDepartamento?channelSelected=ea9fa856c66de310VgnVCM2000002f551bacRCRD](http://www.aragon.es/DepartamentosOrganismosPublicos/Institutos/InstitutoAragonEstadistica/AreasTematicas/14_Medio_Ambiente_Y_Energia/ci.05_Climate_Datos_climatologicos.detalleDepartamento?channelSelected=ea9fa856c66de310VgnVCM2000002f551bacRCRD)
  - “Valores normales de precipitación mensual y anual, por comarcas, municipios y estaciones medidoras. Aragón. Períodos 1961-1990 y 1981-2010”.
  - “Precipitaciones y temperaturas medias mensuales y anuales en las estaciones climatológicas seleccionadas en el Atlas Climático de Aragón, por estación y año disponible”.
  - “Número de días de tormenta eléctrica por provincia y observatorios. Años 2006-2011”.
- Agencia Estatal de Meteorología. Pedidos hechos el 12 de mayo de 2015 y recibidos al correo electrónico en formato Excel el 2 y 9 de junio de 2015.