



Informe sobre evidencias en Córdoba (Andalucía)

Variables: temperatura y precipitación

Elaboración:

Consellería de Medio Ambiente Territorio e Infraestruturas. MeteoGalicia.
María de los Ángeles Lago Núñez.

Índice

Variable: temperatura

Datos y series	2
Problema con las series y solución	3
Control de calidad y homogeneización	
a. Control de calidad	3
b. Homogeneización	7

Resultados

a. Tendencias en temperatura	7
b. Análisis de extremos de temperatura	14
Conclusiones	19
Bibliografía	20

Variable: precipitación

Datos y series	22
Control de calidad y homogeneización	
a. Control de calidad	23
b. Homogeneización	25

Resultados

a. Tendencias en precipitación 26

b. Análisis de extremos de precipitación 29

Conclusiones 31

Bibliografía 32

Variable: temperatura

Datos y series

En este estudio se utilizan las series de temperatura máxima y mínima de las estaciones que aparecen en la figura 1. Se encuentran situadas en la provincia de Córdoba, muy poco separadas entre sí y altamente correlacionadas. Estas estaciones se usan tanto para la variable temperatura como la variable precipitación.



Figura 1: Distribución geográfica de las estaciones meteorológicas en Córdoba.

Se tienen datos de temperatura máxima, mínima y media como medidas individuales. Por ello, el estudio se realiza sobre estas 3 variables.

En la tabla 1 se muestran las series de temperatura utilizadas indicando su posición y altitud y los años de comienzo y final de la serie.

El período de estudio que se toma en el análisis de temperatura es 1960-2007, sólo 1 de las series cumple este período. Estas estaciones se encuentran separadas menos de 25 km entre sí y poseen correlaciones altas entre ellas durante el periodo 82-2007 (en el que entran las 3 series).

Las coordenadas UTMX y UTMY están dadas en el huso horario 30N.

Estaciones meteorológicas usadas en temperatura								
lista	codh	letra	estación	altitud	utmX	utmY	año inicial	año final
1	5402		CÓRDOBA AEROPUERTO	91	337197	4189964	1959	2007
2	5442	E	CÓRDOBA LA JAROSA	340	331702	4197288	1975	2007
3	5468	E	FUENTE PALMERA, MOLINO DE LA AFRICANA	130	319487	4180740	1982	2007

Tabla 1: Series de temperatura utilizadas en Córdoba.

Problema con las series y solución.

Como se puede observar en la Tabla1, sólo se tienen 3 series de temperatura que no tienen un periodo común hasta llegar al año 1982. Como se persigue el objetivo de calcular las evidencias en un periodo lo suficientemente largo se ha decidido realizar el estudio sobre la serie individual de Córdoba aeropuerto desde 1960 hasta 2007. Las otras series se utilizarán para poder aplicar el control de calidad desde 1975 pero no se emplearán para realizar los cálculos de evidencias. En este caso tampoco es posible generar una serie regional dada la diferencia de altitud de las series y el escaso número de estaciones.

Así, el estudio que se presenta a continuación será realizado para la serie de Córdoba Aeropuerto teniendo en cuenta que no ha sido posible cubrir algunos huecos mensuales en el período 1960-1975, que el control de calidad ha sido muy pobre hasta 1975 y que en el período 1983-1986 las series de temperatura de Córdoba aeropuerto han sido estimadas a partir de los datos diarios de las otras dos series.

Control de calidad y homogeneización

a. Control de calidad

El primer paso para realizar cualquier estudio es hacer un control de calidad de las series meteorológicas que se utilizan. En las series es habitual encontrarse con errores como que la temperatura máxima sea inferior a la mínima, no existencia de datos (valores perdidos), que los datos no estén en las unidades adecuadas o que se superen determinados umbrales físicos. Por ello en este estudio se ha prestado atención a estos puntos. Se han buscado cortes de varios días consecutivos en la serie de datos para ponerlos como perdidos y estimarlos posteriormente a partir de las series cercanas mejor correlacionadas. Los umbrales físicos establecidos se fijaron en que la temperatura máxima no superase los 50°C y que la mínima no fuese inferior a los -20°C. También se exigió que la temperatura media tuviese valores comprendidos entre la temperatura mínima y la máxima. Con esto también se evita sobreestimar el cálculo de la desviación típica dentro de una serie o en la series de diferencias respecto a otras (Peterson et. al., 1998a). En este trabajo, la baja densidad de estaciones hace que el control de calidad que se puede aplicar sea bastante somero si bien la buena correlación de las tres series para la variable temperatura permite sustituir los outliers temporales y espaciales por el valor predicho a partir de las otras dos series. Para la serie candidata se ha construido una serie de referencia a partir del promedio de los valores predichos por regresión lineal desde cada una de las series vecinas (en este caso las otras cuatro series) ponderando las estimas en función de la correlación al cuadrado existente entre ambas series en el mes considerado, esto ha sido en el período 1975-2007.

Para cada serie se valoró la existencia de outliers temporales y espaciales. Para la temperatura se consideró outlier temporal aquel que superó las 3 desviaciones típicas del valor medio normal para el mes correspondiente. En el análisis espacial se comparan los datos observados en una serie candidata con la serie de referencia construida a partir de las otras estaciones. Los datos se caracterizaban como outliers

cuando la diferencia entre el valor estimado y predicho superaba más de 3 desviaciones típicas del valor medio de la serie de diferencias. Los datos se consideraron sospechosos cuando esta diferencia se encontraba entre las 2 y 3 desviaciones típicas. Se sustituyeron aquellos datos perdidos y los outliers por su valor estimado cuando el proceso de validación era bueno.

La variable qc2 en los ficheros de lista predichos, que se entregan con este informe, para cada una de las estaciones representa los resultados del control de calidad.

En las siguientes tablas se muestra esta variable para cada una de las series después de una tabla explicativa de cada valor de este parámetro de control de calidad:

CONTROL DE CALIDAD	
QC2	Porcentaje
No validable (-99)	No existe ninguna otra estación con valor distinto de perdido. Por lo que el dato no se ha podido evaluar
Perdidos (0.1)	No hay dato
Outlier grave (1.1)	El dato original es un outlier temporal grave (se separa más de 3 desviaciones típicas respecto a la media mensual) y no pasa el control de calidad espacial, se desvía más de 3 desviaciones típicas de lo esperado.
Outlier leve (1.2)	El dato original es un outlier temporal leve (se separa más de 2 desviaciones típicas respecto a la media mensual) y no pasa el control de calidad espacial, se desvía de lo esperado más de 3 desviaciones típicas.
Outlier espacial (1.3)	El dato entra dentro del rango normal del mes pero no pasa el control de calidad espacial, se separa más de 3 desviaciones típicas de lo esperado.
Sospechoso espacial-temporal (2.0)	El dato original era un outlier temporal y se desvía del esperado más de 2 desviaciones típicas pero menos de 3.
Sospechoso espacial (3.0)	El dato original entra dentro del rango normal del mes pero se desvía de lo esperado más de 2 desviaciones típicas pero menos de 3.
Validado (10)	El dato original es un outlier temporal, pero la comparación espacial demuestra que es correcto.
Válido (100)	El dato es válido y totalmente normal temporal y estacionalmente.

Tabla 2: Significado del control de calidad de las series de temperatura

CÓRDOBA AEROPUERTO: tmax1	
Control de Calidad	Porcentaje
No validable (-99)	33.40%
Perdidos (0.1)	9.25%
Outlier grave (1.1)	0.02%
Outlier leve (1.2)	0.11%
Outlier espacial (1.3)	0.92%
Sospechoso espacial-temporal (2.0)	0.13%
Sospechoso espacial (3.0)	1.52%
Validado (10)	1.96%
Válido (100)	52.70%

CÓRDOBA LA JAROSA: tmax2	
Control de Calidad	Porcentaje
No validable (-99)	2.79%
Perdidos (0.1)	5.56 %
Outlier grave (1.1)	0.09%
Outlier leve (1.2)	0.24%
Outlier espacial (1.3)	1.35%
Sospechoso espacial-temporal (2.0)	0.38%
Sospechoso espacial (3.0)	2.17%
Validado (10)	3.07%
Válido (100)	84.34%

FUENTE PALMERA, MOLINO DE LA AFRICANA: tmax3	
Control de Calidad	Porcentaje
No validable (-99)	-
Perdidos (0.1)	7.73%
Outlier grave (1.1)	0.04%
Outlier leve (1.2)	0.19%
Outlier espacial (1.3)	1.33%
Sospechoso espacial-temporal (2.0)	0.23%
Sospechoso espacial (3.0)	2.07%
Validado (10)	3.09%
Válido (100)	85.32%

Tabla3: Resumen del control de calidad de las series de temperatura máxima de a) Presa Córdoba aeropuerto, b) Córdoba la Jarosa, c) Fuente Palmera, Molino de la Africana.

CÓRDOBA AEROPUERTO: tmed1	
Control de Calidad	Porcentaje
No validable (-99)	33.33%
Perdidos (0.1)	9.38%
Outlier grave (1.1)	0.01%
Outlier leve (1.2)	0.04%
Outlier espacial (1.3)	0.47%
Sospechoso espacial-temporal (2.0)	0.24%
Sospechoso espacial (3.0)	1.95%
Validado (10)	2.35%
Válido (100)	52.24%

CÓRDOBA LA JAROSA: tmed2	
Control de Calidad	Porcentaje
No validable (-99)	2.80%
Perdidos (0.1)	5.69%
Outlier grave (1.1)	0.04%
Outlier leve (1.2)	0.23%
Outlier espacial (1.3)	0.71%
Sospechoso espacial-temporal (2.0)	0.46%
Sospechoso espacial (3.0)	2.88%
Validado (10)	3.29%
Válido (100)	83.90%

FUENTE PALMERA, MOLINO DE LA AFRICANA: tmed3	
Control de Calidad	Porcentaje
No validable (-99)	—
Perdidos (0.1)	7.73%
Outlier grave (1.1)	0.02%
Outlier leve (1.2)	0.16%
Outlier espacial (1.3)	0.79%
Sospechoso espacial-temporal (2.0)	0.37%
Sospechoso espacial (3.0)	3.02%
Validado (10)	3.24%
Válido (100)	84.67%

Tabla4: Resumen del control de calidad de las series de temperatura media de a) Córdoba aeropuerto, b) Córdoba la Jarosa, c) Fuente Palmera, Molino de la Africana.

Por último se presentan los resultados del control de calidad para la temperatura mínima.

CÓRDOBA AEROPUERTO: tmin1	
Control de Calidad	Porcentaje
No validable (-99)	33.35%
Perdidos (0.1)	9.36%
Outlier grave (1.1)	0.01%
Outlier leve (1.2)	0.15%
Outlier espacial (1.3)	0.47%
Sospechoso espacial-temporal (2.0)	0.54%
Sospechoso espacial (3.0)	1.93%
Validado (10)	1.67%
Válido (100)	52.53%

CÓRDOBA LA JAROSA: tmin2	
Control de Calidad	Porcentaje
No validable (-99)	2.80%
Perdidos (0.1)	5.69%
Outlier grave (1.1)	0.09%
Outlier leve (1.2)	0.23%
Outlier espacial (1.3)	0.61%
Sospechoso espacial-temporal (2.0)	0.68%
Sospechoso espacial (3.0)	3.04%
Validado (10)	3.23%
Válido (100)	83.63%

FUENTE PALMERA, MOLINO DE LA AFRICANA: tmin3	
Control de Calidad	Porcentaje
No validable (-99)	—
Perdidos (0.1)	7.73%
Outlier grave (1.1)	0.05%
Outlier leve (1.2)	0.13%
Outlier espacial (1.3)	0.64%
Sospechoso espacial-temporal (2.0)	0.54%
Sospechoso espacial (3.0)	2.89%
Validado (10)	3.31%
Válido (100)	84.72%

Tabla5: Resumen del control de calidad de las series de temperatura mínima de a) Córdoba aeropuerto, b) Córdoba la Jarosa, c) Fuente Palmera, Molino de la Africana.

b. Homogeneización

A partir de los datos diarios se construyeron las series mensuales, estacionales y anuales de temperatura máxima, mínima y media.

Se examinaron las series de Córdoba La Jarosa y Fuente Palmera, Molino de la Africana que presentaron menos del 10% de valores perdidos y al menos 20 años de datos aplicando el test de homogeneidad SNHT (Standard Normal Homogeneity Test) (Alexandersson y Moberg, 1997). Para ello se usó el software Anclim (Stepanek, 2003). En este test se recomienda no arreglar saltos que se produzcan en los diez primeros o diez últimos años de las series. Se corrigieron aquellos saltos que se reproducían anual y en al menos dos de las estaciones del año, aunque la corrección se hace en cada uno de los meses.

Para la serie de Córdoba Aeropuerto se aplicó el test SNHT para series individuales. Se trata de un método de homogeneización absoluto, por lo que es difícil determinar si una ruptura es resultado de influencias climáticas o no. Esto se agrava por el hecho de no disponer de los metadata de la estación. Sin embargo, este método se aconseja cuando se tiene una red de series muy dispersas o cuando no es posible construir una serie de referencia, como ocurre en este caso (Ahmed El Kenawy).

A continuación se muestra el resultado de la homogeneización indicando el número de saltos corregidos en cada una de las series. En la tabla 5 se presenta el resultado de homogeneización para la temperatura máxima, media y mínima.

APLICACIÓN DE SNHT HOMOGENEIZACIÓN TMAX	
Estación	Saltos corregidos
Córdoba Aeropuerto ¹	–
Córdoba La Jarosa	–
Fuente Palmera, Molino de la Africana	–
APLICACIÓN DE SNHT HOMOGENEIZACIÓN TMED	
Estación	Saltos corregidos
Córdoba Aeropuerto	–
Córdoba La Jarosa	–
Fuente Palmera, Molino de la Africana	–
APLICACIÓN DE SNHT HOMOGENEIZACIÓN TMIN	
Estación	Saltos corregidos
Córdoba Aeropuerto	–
Córdoba La Jarosa	1991
Fuente Palmera, Molino de la Africana	–

Tabla 5: Resultados SNHT en temperatura.

Resultados

a. Tendencias en temperatura

A continuación se presentan en una serie de tablas y gráficas las tendencias observadas en temperatura a escala anual, estacional y mensual. En las tablas se muestran las tendencias anuales, estacionales y mensuales (°C/década) en el período 1964-2009 para la temperatura máxima, media y mínima. Los asteriscos * indican el

¹Se ha calculado la homogeneidad de esta serie con SNHT para una serie individual.

nivel de significancia obtenido a través del test de correlación no paramétrica tau-b Kendall, una aproximación no paramétrica que encuentra los requerimientos de una distribución general no gaussiana y que es menos sensible a la presencia de valores definidos como outliers (Aguilar et. al, 2005). Así * indica que $P < 0.05$, ** indica que $P < 0.01$ y *** indica que $P < 0.001$. También se utiliza $P < 0.1$ para aquellos casos que resultaron ser casi significativos en el test. Asimismo, se muestra en las tablas el coeficiente de determinación R^2 obtenido en el modelo de regresión lineal. Las temperaturas han sido expresadas como anomalías respecto a la media de la variable en el período de referencia 1971-2000.

a.1.tendencias observadas en temperaturas para Córdoba Aeropuerto

Serie	Instante	°C/década	R^2
Córdoba Aeropuerto	Anual	0.18**	0.1246
Tmax	Invierno	0.19*	0.1178
	Primavera	No significativo	
	Verano	0.26*	0.0876
	Otoño	No significativo	
	Enero	No significativo	
	Febrero	No significativo	
	Marzo	0.54*	0.1215
	Abril	No significativo	
	Mayo	No significativo	
	Junio	0.43*	0.0692
	Julio	No significativo	
	Agosto	No significativo	
	Septiembre	No significativo	
	Octubre	No significativo	
	Noviembre	No significativo	
	Diciembre	0.29*	0.144

Serie	Instante	°C/década	R^2
Córdoba Aeropuerto	Anual	0.26***	0.2853
Tmed	Invierno	No significativo	
	Primavera	0.24*	0.0813
	Verano	0.39**	0.2476
	Otoño	0.30**	0.1709
	Enero	No significativo	
	Febrero	No significativo	
	Marzo	0.42*	0.1778
	Abril	No significativo	
	Mayo	No significativo	
	Junio	0.44*	0.1203
	Julio	0.37**	0.1721
	Agosto	0.39**	0.2107
	Septiembre	No significativo	
	Octubre	0.34*	0.0986
	Noviembre	No significativo	
	Diciembre	0.42*	0.1355

Serie	Instante	°C/década	R ²
Córdoba Aeropuerto	Anual	0.34***	0.3577
Tmin	Invierno	No significativo	
	Primavera	0.31**	0.2178
	Verano	0.59***	0.5807
	Otoño	0.46***	0.3410
	Enero	No significativo	
	Febrero	No significativo	
	Marzo	0.31 ^(P<0.1)	0.0904
	Abril	0.26 ^(P<0.1)	0.0889
	Mayo	0.40**	0.1911
	Junio	0.51***	0.2729
	Julio	0.57***	0.4772
	Agosto	0.72***	0.6182
	Septiembre	0.54***	0.2576
	Octubre	0.56***	0.2241
	Noviembre	No significativo	
	Diciembre	0.48 ^(P<0.1)	0.0770

a.2.resumen de las tendencias en temperatura.

Para la estación de Córdoba Aeropuerto se observa un aumento de las temperaturas máxima, mínima y media si se considera la escala anual. Este aumento es de 0.34°C/década en el caso de la temperatura mínima y de 0.18°C/década en la temperatura máxima.

Esta tendencia también se encuentra estacionalmente. El incremento más elevado se corresponde a la estación de verano y a la temperatura mínima con 0.59°C/década. Para la temperatura máxima las estaciones de primavera y otoño no muestran un incremento significativo como sí les ocurre a la temperatura media y a la temperatura mínima. Sin embargo, muestra una tendencia positiva en invierno (0.18°C/década) que no se observa en las otras dos.

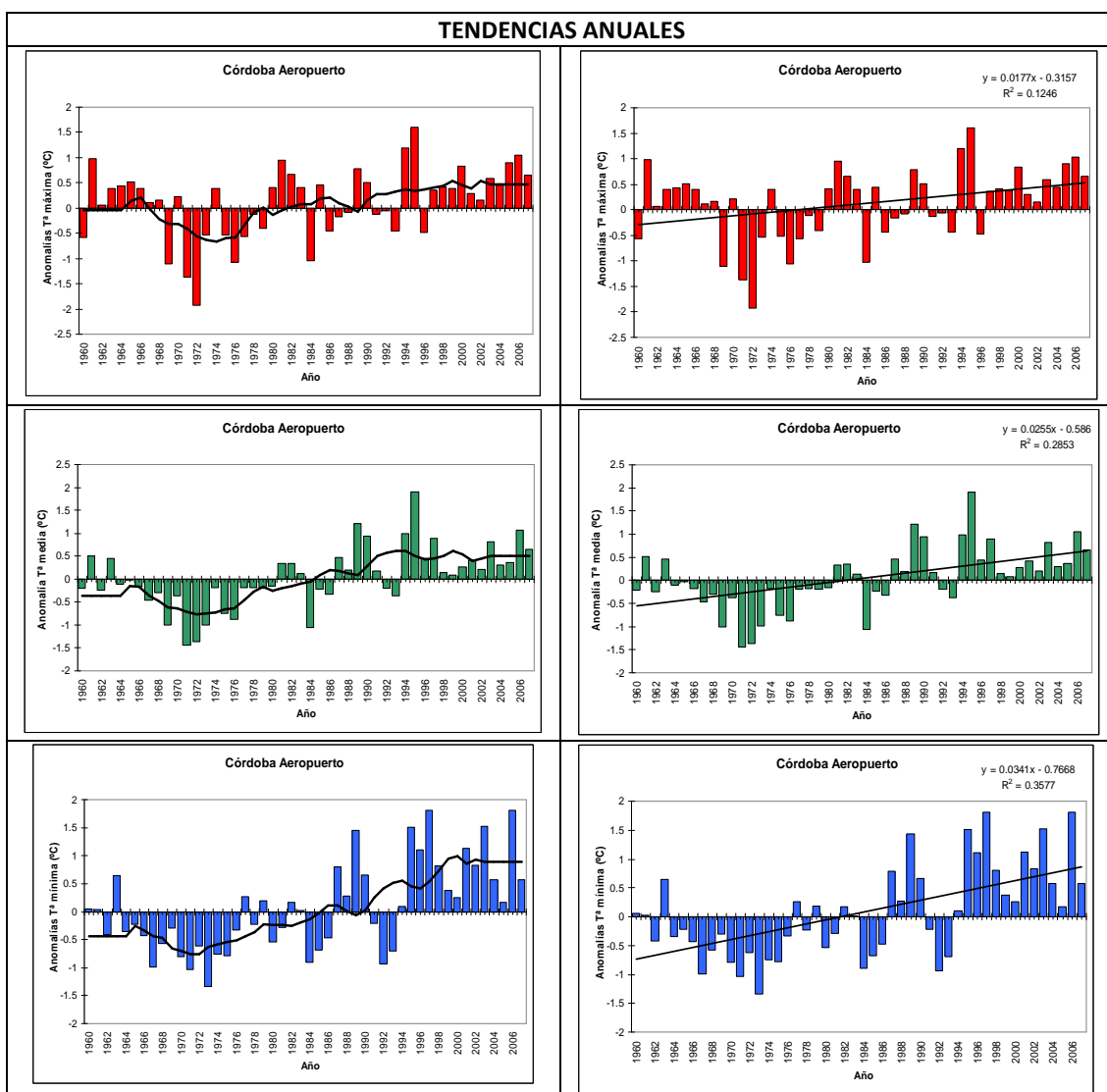
El comportamiento en las tendencias es similar al obtenido en Andalucía por diversos autores (Ordóñez *et al.*, 2009) si bien en ese estudio se coge una época (1971-2005) que no recoge los años 60 que en general, como se observa en las gráficas, son más fríos.

En los apartados posteriores se muestran las gráficas de aquellas tendencias significativas ya mencionadas en las tablas anteriores. En las gráficas de la izquierda se muestran las anomalías de temperatura respecto al período 1971-2000 y una línea que representa la media móvil de 10 años correspondiente a cada caso. En las gráficas de la derecha se muestran estas anomalías con una línea que se corresponde con la pendiente estimada en el modelo de regresión lineal.

También se puede observar que la pendiente no es homogénea a lo largo del período analizado, se comienza con un descenso (pendiente negativa) a mediados de los años 60 que cambia a un ascenso abrupto (pendiente positiva) en la segunda mitad de los años 70. Estos resultados son similares a los obtenidos en Galicia (Cruz *et. al.*, 2009), y en otras regiones de España (Brunet *et al.*, 2007b).

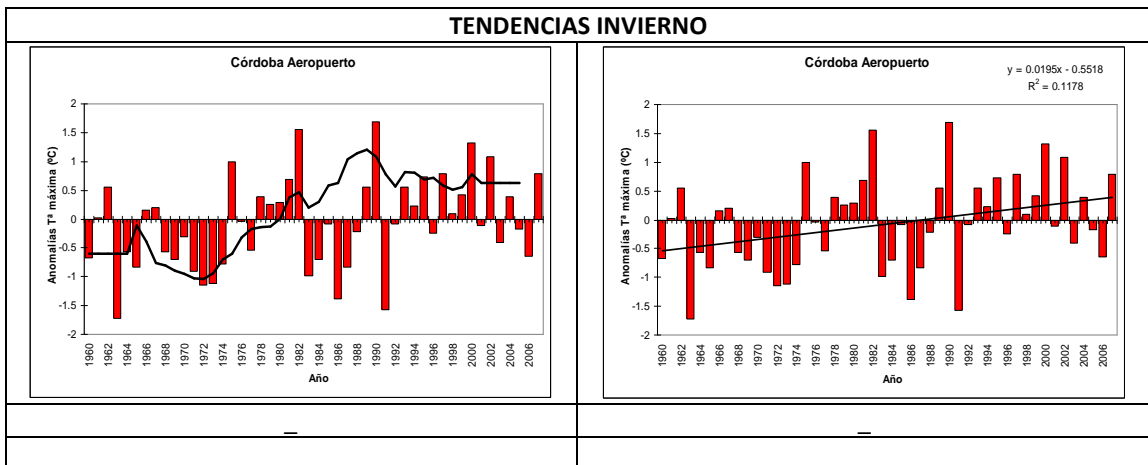
Debajo se muestra una tabla con la pendiente y el coeficiente de determinación R² resultado del modelo de regresión lineal.

a.3.gráficas anuales serie de córdoba Aeropuerto



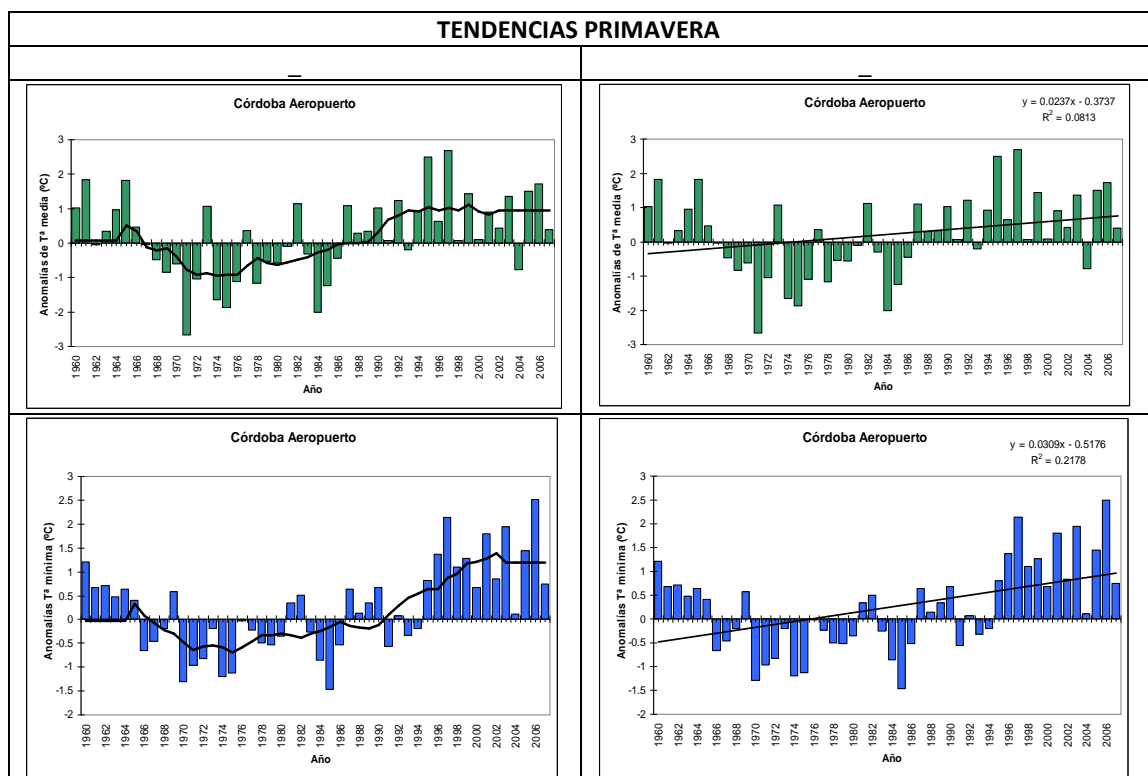
Córdoba Aeropuerto	pendiente b	R ²
Tmax	0.018**	0.1246
Tmed	0.026***	0.2853
Tmin	0.034***	0.3577

a.4.gráficas invierno serie de córdoba aeropuerto



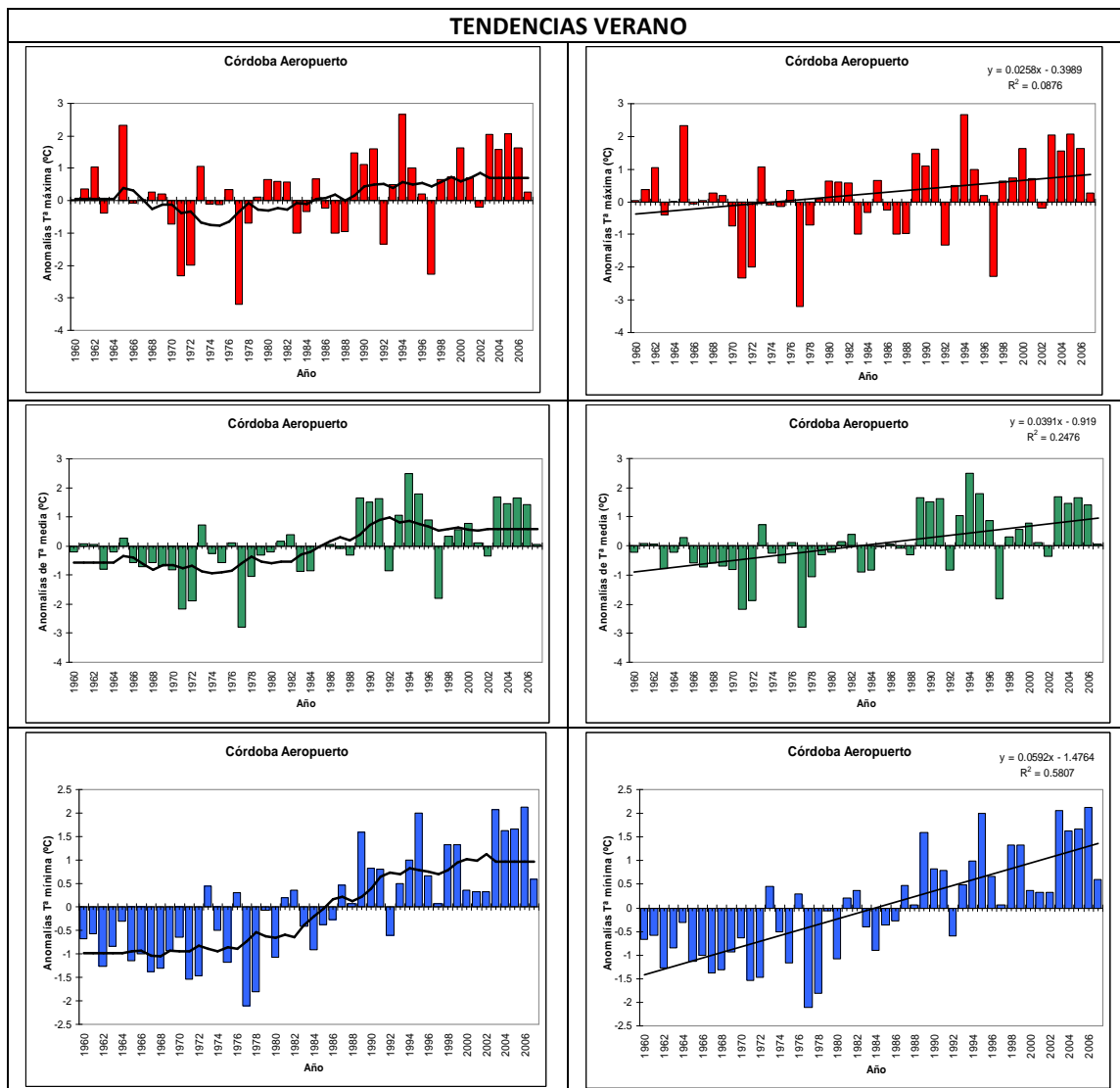
Córdoba Aeropuerto	pendiente b	R ²
Tmax	0.019	0.1178
Tmed	No significativo	
Tmin	No significativo	

a.5.gráficas primavera serie de córdoba aeropuerto



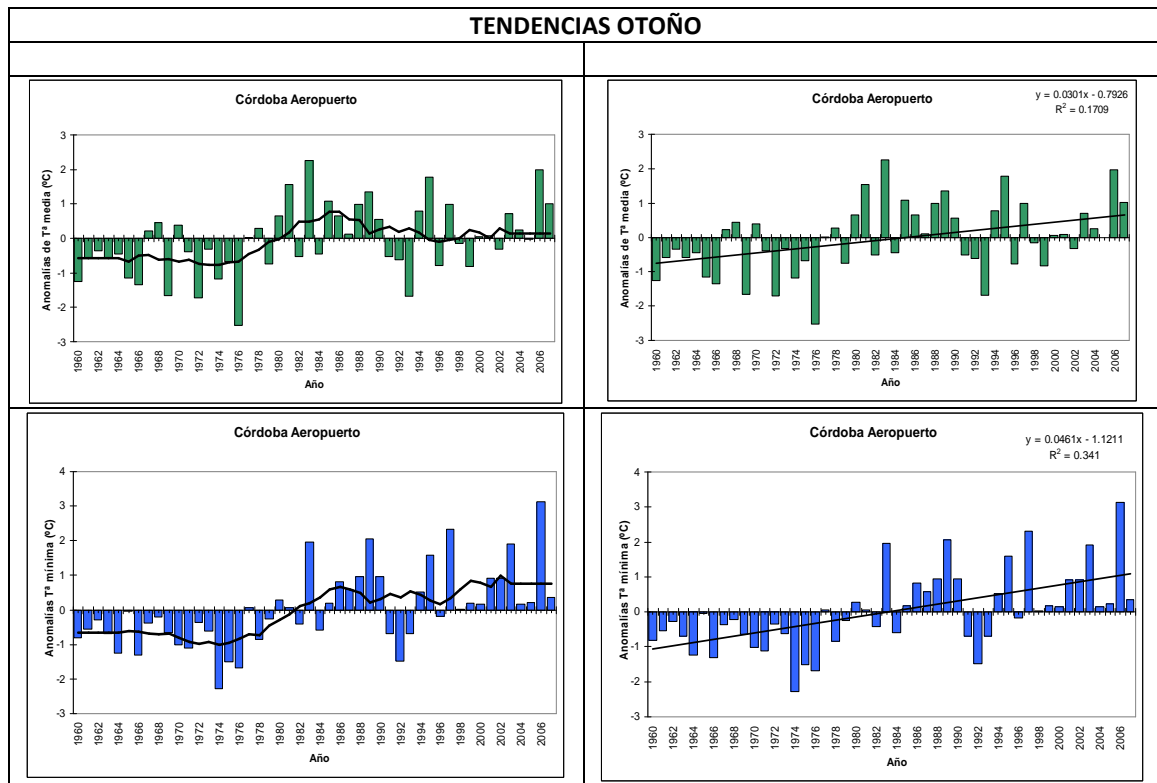
Córdoba Aeropuerto	pendiente b	R ²
Tmax	No significativo	
Tmed	0.024*	0.0813
Tmin	0.031**	0.2178

a.6.gráficas verano serie córdoba aeropuerto



Córdoba Aeropuerto	pendiente b	R ²
Tmax	0.026*	0.0876
Tmed	0.039*	0.2476
Tmin	0.059***	0.5807

a.8.gráficas otoño serie córdoba aeropuerto



Córdoba Aeropuerto	pendiente b	R ²
Tmax	No significativo	
Tmed	0.030**	0.1709
Tmin	0.046***	0.3410

b. Análisis de extremos de temperatura

A partir de los datos diarios de la serie individual de Córdoba aeropuerto, se analizó la frecuencia de días extremos de temperatura. Para ello se calcularon los percentiles p95 y p5 para las temperaturas máxima y mínima, en cada serie y en cada estación del año. Los días cuya temperatura máxima superó el percentil 95 se denominaron días cálidos. Los días cuya temperatura mínima superó el percentil 95 se denominaron noches cálidas. Los días cuya temperatura máxima fue inferior al percentil 5 se denominaron días fríos y por último, los días cuya temperatura mínima fue inferior al percentil 5 se denominaron noches frías.

La frecuencia del número de días y noches cálidas y frías se transformó en anomalías respecto al período 1971-2000.

A continuación se presentan las tendencias observadas en la serie². Al igual que en el cálculo de tendencias en la temperatura se aplica el test de correlación no paramétrica tau-b Kendall para estudiar la significancia de la tendencia y se aplica un modelo de regresión lineal, obteniéndose una pendiente b y el coeficiente de determinación R². Se hizo un estudio comparativo entre lo obtenido con los datos revisados y los datos originales. Se obtuvieron resultados similares en ambos casos (no mostrado).

Es necesario aquí recordar el hecho de que no se tiene un buen control de calidad hasta el año 1982 o el año 1975 con una sola serie con la que contrastar. Por ello, **los resultados obtenidos deben considerarse con cautela.**

En la tabla6, la pendiente b está expresada en nºde días /década.

DÍAS FRÍOS (tmax<p5)	Invierno		Primavera		Verano		Otoño	
Estación	b	R ²	b	R ²	b	R ²	b	R ²
Aeropuerto	-1.52**	0.1909	NS		-1.28**	0.1422	NS	
NOCHES FRÍAS (tmin<p5)	Invierno		Primavera		Verano		Otoño	
Estación	b	R ²	b	R ²	b	R ²	b	R ²
Aeropuerto	NS		-1.56*	0.1557	-2.52***	0.4233	NS	
DÍAS CÁLIDOS (tmax>p95)	Invierno		Primavera		Verano		Otoño	
Estación	B	R ²	b	R ²	b	R ²	b	R ²
Aeropuerto	NS		NS		1.56**	0.2157	NS	
NOCHES CÁLIDAS (tmin>p95)	Invierno		Primavera		Verano		Otoño	
Estación	B	R ²	b	R ²	b	R ²	b	R ²
Aeropuerto	NS		1.40**	0.2227	3.93***	0.5015	1.61***	0.2567

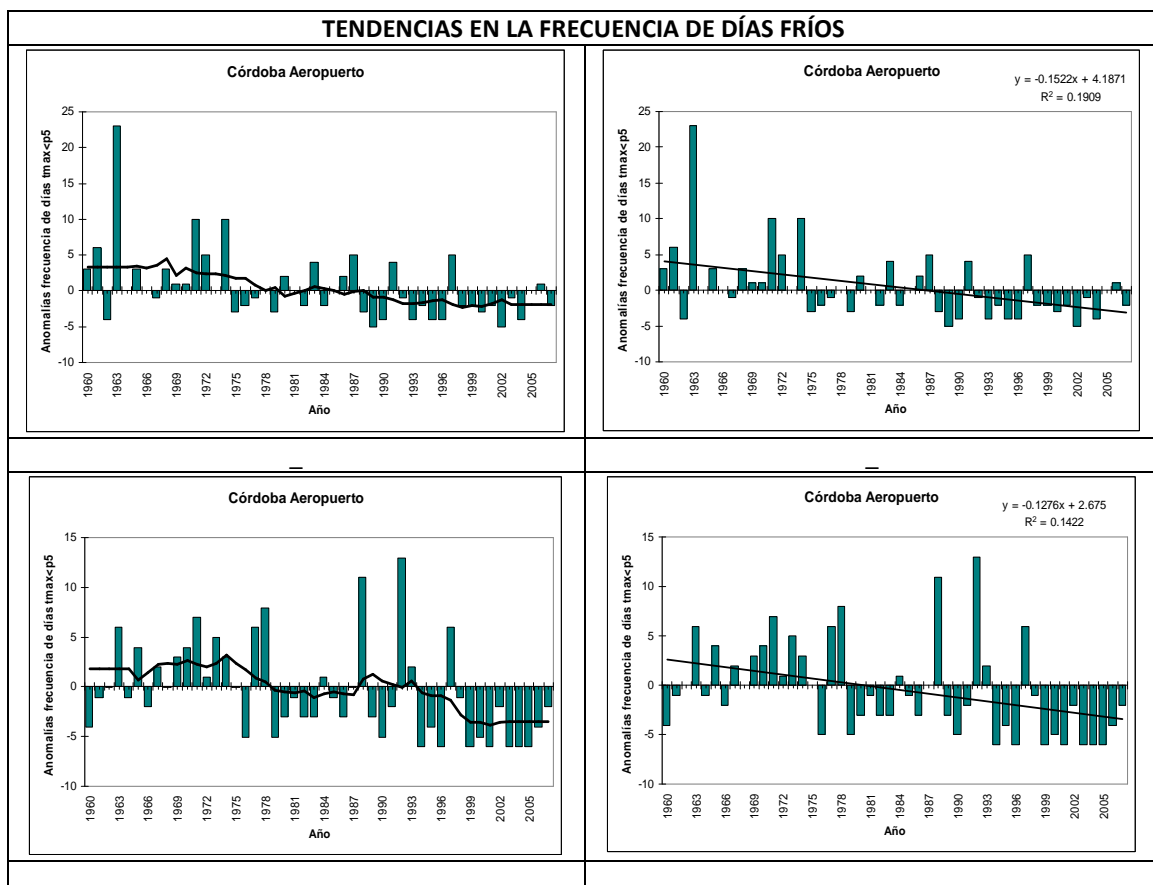
Tabla 6. Tendencias en extremos de temperatura.

² Series: Córdoba aeropuerto (Aeropuerto).

En la tabla anterior en invierno se observa un descenso de los días fríos (-1.52 días/década) y en primavera un descenso de las noches frías y un aumento de las noches cálidas. Destaca especialmente verano donde el número de noches frías desciende en -2.52 días/década, mientras que el número de noches cálidas aumenta en 3.93 días/década además, hay un aumento de los días cálidos y un descenso de los días fríos. En otoño, se observa únicamente un aumento significativo del número de noches cálidas.

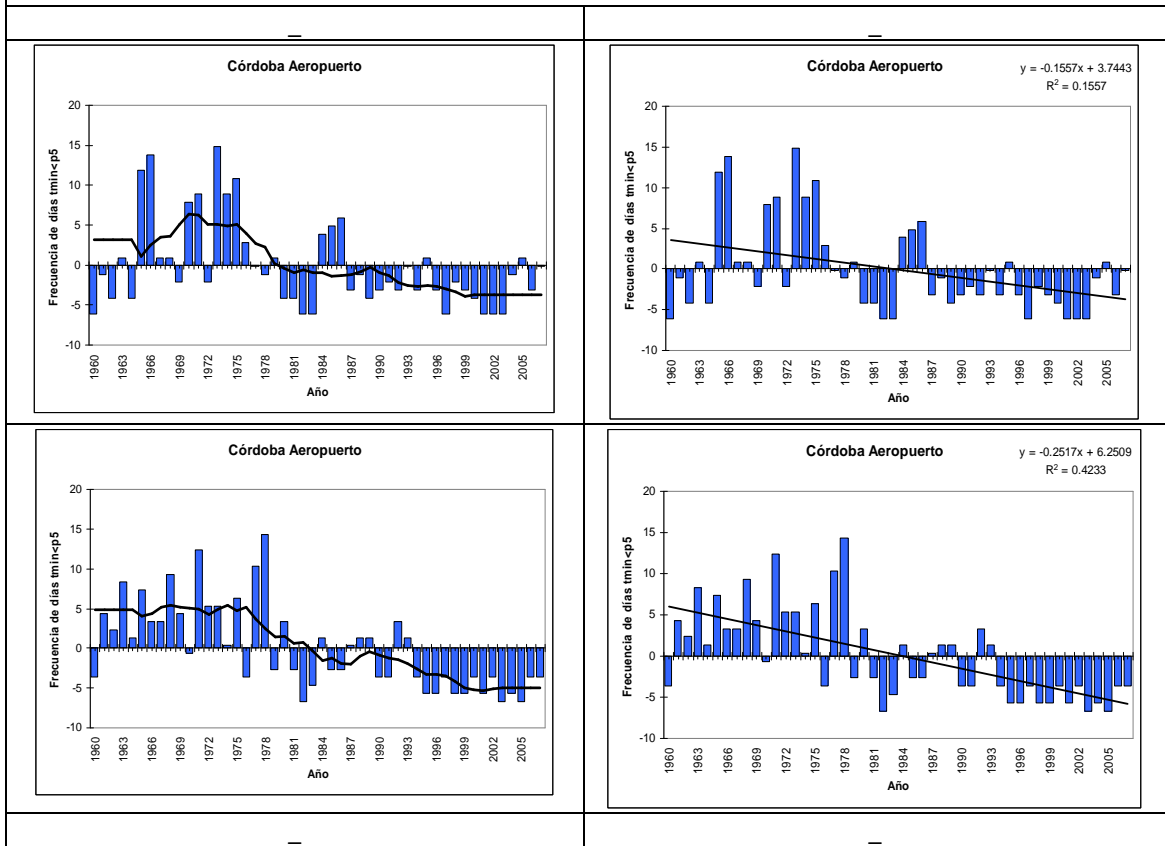
A continuación se presentan los gráficos de temperaturas extremas, para aquellas frecuencias de días extremos que resultaron significativos mediante el test de correlación no paramétrica tau-b Kendall. Se presentan las tendencias en las frecuencias de días estacionalmente. En los gráficos de la izquierda se presenta la media móvil de 10 años de la frecuencia de días y en la derecha las líneas indican la pendiente estimada por regresión lineal.

b1. Gráficas análisis de extremos



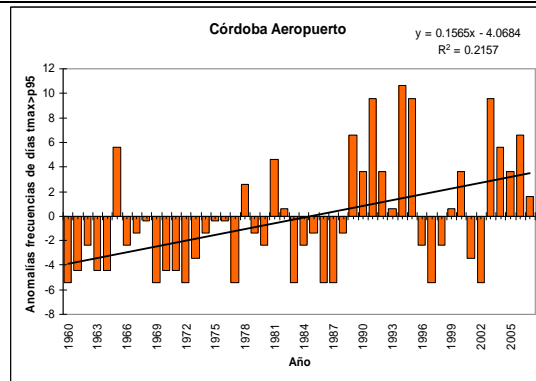
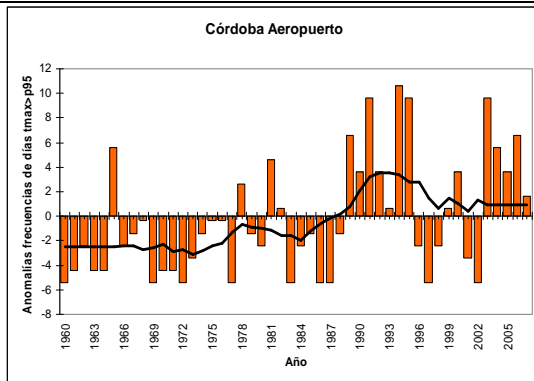
Córdoba Aeropuerto	pendiente b	R ²
Invierno	-0.152**	0.1909
Primavera	No significativo	
Verano	-0.128	0.1422
Otoño	No significativo	

TENDENCIAS EN LA FRECUENCIA DE NOCHES FRÍAS



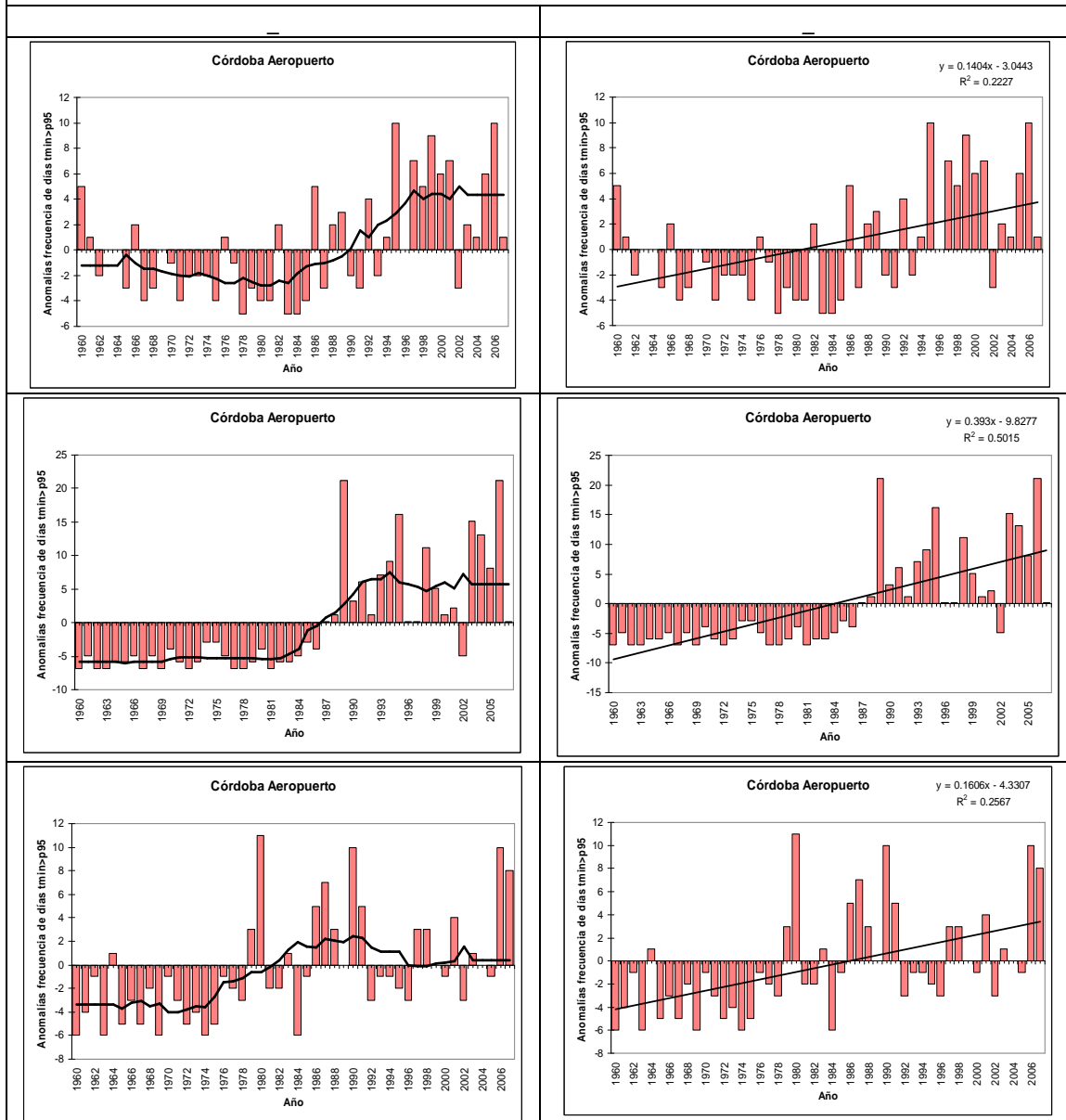
Córdoba Aeropuerto	pendiente b	R ²
Invierno	No significativo	
Primavera	-0.156*	0.1557
Verano	-0.252***	0.4233
Otoño	No significativo	

TENDENCIAS EN LA FRECUENCIA DE DIAS CÁLIDOS



Córdoba Aeropuerto	pendiente b	R ²
Invierno	No significativo	
Primavera	No significativo	
Verano	0.156	0.2157
Otoño	No significativo	

TENDENCIAS EN LA FRECUENCIA DE NOCHES CÁLIDAS



Córdoba Aeropuerto	pendiente b	R ²
Invierno	No significativo	
Primavera	0.140**	0.2227
Verano	0.393***	0.5015
Otoño	0.161***	0.2567

Conclusiones

- Anualmente, se encuentra un aumento significativo para las temperaturas máxima, mínima y media. Este incremento es más alto para la temperatura mínima ($0.34^{\circ}\text{C}/\text{década}$).
- Estacionalmente, destaca el verano con un incremento en la temperatura mínima de $0.59^{\circ}\text{C}/\text{década}$. La temperatura máxima muestra un incremento en invierno que no se observa en la temperatura media y mínima ($0.18^{\circ}\text{C}/\text{década}$).
- Los resultados de temperatura extrema deben considerarse con cautela debido al pobre control de calidad en la series antes de 1975.
- Destaca especialmente verano donde el número de noches frías desciende en -2.52 días/década, mientras que el número de noches cálidas aumenta en 3.93 días/década además, hay un aumento de los días cálidos y un descenso de los días fríos.
- Se han estudiado estos resultados para la serie original obteniéndose tendencias similares a las obtenidas con la serie a la que se le pasa un control de calidad.

Bibliografía

Aguilar E., Peterson T. C., Ramírez Obando P., Frutos R., Retana J.A., Solera M., Soley J., González García I., Araujo R. M., Rosa Santos A., Valle V.E., Brunet M., Aguilar L., Álvarez L., Bautista M., Castañón C., Herrera L., Ruano E., Sinay J.J., Sánchez E., Hernández Oviedo G. I., Obed F., Salgado J.E., Vázquez J.L., Baca M., Gutiérrez M., Centella C., Espinosa J., Martínez D., Olmedo B., Ojeda Espinoza C. E., Núñez R., Haylock M., Benavides H. and Mayorga R. (2005). Changes in precipitation and temperature extremes in Central America and northern South America, 1961-2003. *Journal of Geophysical research*, **110**, D23107, doi: 10.1029/2005JD006119.

Ahmed El Kenawy (2009) Quality control, Reconstruction and Homogeneity of climate data sets. *III Curso de métodos estadísticos avanzados para estudios climáticos*. Zaragoza. Instituto Pirenaico de ecología (Consejo Superior de Investigaciones Científicas) con la colaboración de la Asociación Española de Climatología y la Universidad de Zaragoza.

Alexandersson H. and Moberg A. (1997). Homogenization of Swedish Temperature Data Part. I: Homogeneity test for linear trends. *International Journal of Climatology*, **17**, 25-37.

Brunet M., Jones P.D., Sigró J., Saladié O., Aguilar E., Moberg A., Della-Marta P.M., Lister D., Walter A. and López D. (2007b). Temporal and spatial temperature variability and change over Spain during 1850-2005. *Journal of geophysical research* **112**, D12117, doi: 10.129/2006JD008249

Cruz R., Lago A., Lage A., Rial M.E., Díaz Fierros F. y Salsón S. (2009) Evolución reciente do clima de Galicia, tendencias observadas en variables meteorolóxicas. En: Evidencias e Impactos do Cambio Climático en Galicia. Xunta de Galicia.

Ordóñez Pérez P., Ceacero Ruíz C.J., Mesas Robles A. I., Méndez Jiménez J.M., Barba Salcedo R. (2009) Análisis del estado del clima en Andalucía mediante índices climáticos atmosféricos. En: Congreso nacional del medio Ambiente. Cumbre del Desarrollo Sostenible. CONAMA9.

Peterson T.C, Vose R., Schmoyer R. and Razuvaev V. (1998a). Global historical climatology network (GHCN) quality control of monthly temperature data. *International Journal of Climatology*, **18**, 1169-1179.

Stepanek P. (2003) AnClim: a software, specially developed for the homogenisation of climate data. <http://www.sci.muni.cz/pest>

Variable: precipitación

Datos y series

Para el estudio de la precipitación se usan las mismas estaciones que en el caso de temperatura. A todas ellas se les aplica un control de calidad, si bien esta vez no se sustituyen los outliers por tener una escasa densidad de estaciones. Además del control de calidad las series se homogenizan, aunque para la serie de Córdoba aeropuerto al igual que en temperatura, se empleará SNHT para series individuales por el mismo problema ya descrito en temperatura. Además se hará el estudio de tendencias sobre la serie de Córdoba Aeropuerto. Las estaciones se muestran en la figura 1.

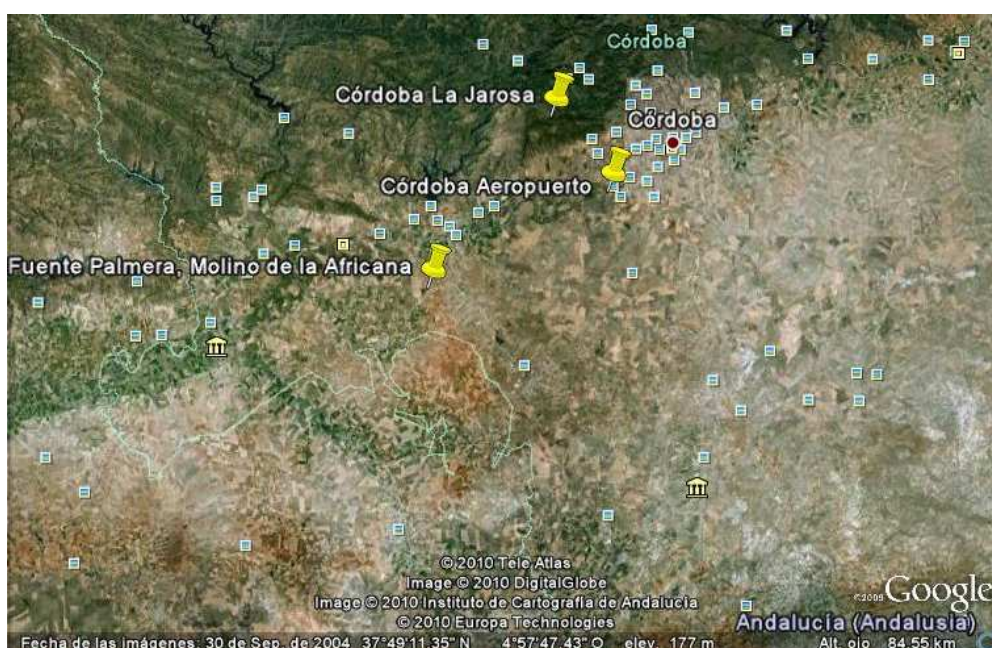


Figura 1: Distribución geográfica de las estaciones meteorológicas de precipitación.

A continuación se muestra una tabla con las series de precipitación empleadas indicando su posición, altitud y año de comienzo y fin de cada serie. En tendencias se estudiará el período 1960-2007.

Estaciones meteorológicas usadas en temperatura								
lista	codh	letra	estación	altitud	utm _x	utm _y	año inicial	año final
1	5402		CÓRDOBA AEROPUERTO	91	337197	4189964	1959	2007
2	5442	E	CÓRDOBA LA JAROSA	340	331702	4197288	1975	2007
3	5468	E	FUENTE PALMERA, MOLINO DE LA AFRICANA	130	319487	4180740	1982	2007

Tabla 1: Series de precipitación utilizadas en Córdoba.

Control de calidad y homogeneización

a. Control de calidad

Los principales errores que nos podemos encontrar en precipitación son la ausencia de datos (valores perdidos), datos que deberían ser diarios y son un acumulado de varios días, datos extremos exageradamente elevados, problemas con las unidades en que se presentan los datos de las series, días con datos de precipitación menor que 0 l/m^2 , etc. Otro error muy común es que haya un fallo en la digitalización del dato, esto es muy habitual sobre todo porque hay muchos registros de 0 l/m^2 , en las series de precipitación. En este estudio para evitar que un dato diario fuese un dato acumulado se empleó una función en la que se construía una serie retrasada un día de forma que cada vez que salía el código -4 (acumulado), el día siguiente se eliminaba (sería un acumulado y no un dato diario). En los ficheros utilizados también aparecía el código -3, que indica que la precipitación es inferior a 0.1 l/m^2 , en ese caso se pone precipitación=0 ya que el valor entra dentro del error de la propia medida.

El proceso del control de calidad se ha basado en la comparación, dentro de cada mes, de cada una de las series con una serie de referencia construida con las otras dos 2 estaciones, esto sólo ha sido posible hacerlo con las series a partir de 1975. Destacar el hecho de que la serie de Córdoba aeropuerto tiene un control de calidad muy pobre hasta 1975 y que el período 1983-1986 la serie de precipitación de esta estación meteorológica ha sido estimada a partir de los datos diarios de las otras dos series. Por este motivo no ha sido posible construir una serie de referencia para la longitud de la serie, con un periodo (1960-2007).

Para cada serie se valoró la existencia de outliers temporales y espaciales. Para la precipitación se consideró un outlier temporal aquel que superó las 4 desviaciones típicas del valor medio normal para el mes correspondiente. En el análisis espacial se comparan los datos observados en una serie candidata con una serie de referencia construida con las otras series, mediante regresión ponderada en función del cuadrado de la correlación. Los datos se caracterizan como outliers cuando la diferencia entre el valor estimado y el predicho supera las 4 desviaciones típicas. Si la diferencia se encuentra entre las 3 y las 4 desviaciones típicas el dato se cataloga como sospechoso. En precipitación además se añadió una nueva categoría: cero sospechoso, en la que, la serie original registra 0 l/m^2 pero la precipitación media en su entorno es superior a los 10 l/m^2 . Sin embargo en el control de calidad de las series no se ha encontrado ningún valor dentro de esta categoría.

Para la precipitación los outliers no han sido sustituidos sino que se han eliminado del cálculo de valores mensuales para evitar introducir errores mayores que los que se pretenden evaluar.

En este estudio se exigió además de un buen control de calidad, que el número de datos perdidos de la serie original no superase el 10% para su homogeneización y análisis de tendencias. A continuación se muestran unas tablas con los resultados

obtenidos en el control de calidad de cada una de las series, la primera de estas tablas muestra una explicación del significado de la variable de control de calidad qc2 que se muestra en los ficheros de lista predichos que se adjuntan con este trabajo.

CONTROL DE CALIDAD	
QC2	Porcentaje
No validable (-99)	No existe ninguna otra estación con valor distinto de perdido. Por lo que el dato no se ha podido evaluar
Perdidos (0.1)	No hay dato
Outlier grave (1.1)	El dato original es un outlier temporal grave (se separa más de 4 desviaciones típicas respecto a la media mensual) y no pasa el control de calidad espacial, se desvía más de 4 desviaciones típicas de lo esperado.
Outlier leve (1.2)	El dato original es un outlier temporal leve (se separa más de 3 desviaciones típicas respecto a la media mensual) y no pasa el control de calidad espacial, se desvía de lo esperado más de 4 desviaciones típicas.
Outlier espacial (1.3)	El dato entra dentro del rango normal del mes pero no pasa el control de calidad espacial, se separa más de 4 desviaciones típicas de lo esperado.
Sospechoso espacial-temporal (2.0)	El dato original era un outlier temporal y se desvía del esperado más de 3 desviaciones típicas pero menos de 4.
Sospechoso espacial (3.0)	El dato original entra dentro del rango normal del mes pero se desvía de lo esperado más de 3 desviaciones típicas pero menos de 4.
Validado (10)	El dato original es un outlier temporal, pero la comparación espacial demuestra que es correcto.
Válido (100)	El dato es válido y totalmente normal temporal y estacionalmente.

Tabla 2: Significado del control de calidad de las series de precipitación

CÓRDOBA AEROPUERTO: pp1	
Control de Calidad	Porcentaje
No validable (-99)	33.98%
Perdidos (0.1)	8.7%
Outlier grave (1.1)	0.43%
Outlier leve (1.2)	0.11%
Outlier espacial (1.3)	0.48%
Sospechoso espacial-temporal (2.0)	0.14%
Sospechoso espacial (3.0)	0.46%
Validado (10)	0.35%
Válido (100)	55.37%

CÓRDOBA LA JAROSA: pp2	
Control de Calidad	Porcentaje
No validable (-99)	0.26
Perdidos (0.1)	7.35
Outlier grave (1.1)	0.71
Outlier leve (1.2)	0.24
Outlier espacial (1.3)	0.41
Sospechoso espacial-temporal (2.0)	0.27
Sospechoso espacial (3.0)	0.44
Validado (10)	0.85
Válido (100)	89.47

FUENTE PALMERA, MOLINO DE LA AFRICANA: pp3	
Control de Calidad	Porcentaje
No validable (-99)	0.51%
Perdidos (0.1)	7.42%
Outlier grave (1.1)	0.59%
Outlier leve (1.2)	0.13%
Outlier espacial (1.3)	0.46%
Sospechoso espacial-temporal (2.0)	0.22%
Sospechoso espacial (3.0)	0.46%
Validado (10)	0.88%
Válido (100)	89.34%

Tabla 3: Control de calidad para a) Córdoba Aeropuerto, b)Córdoba Aeropuerto, c)Fuente Palmera, Molino de la Africana.

b. Homogeneización

A partir de los datos diarios de precipitación se construyeron las series mensuales, estacionales y anuales. Además de exigir un control de calidad someramente bueno se exigió que el número de valores perdidos tuviese un porcentaje inferior al 10%; que la correlación obs-esp fuese buena y por último, que las estaciones presentasen un mínimo de 20 años, y tuviesen al menos 4 años en las décadas del período de referencia 1971-2000.

Se examinaron las series de Córdoba La Jarosa y Fuente Palmera-Molino de la Africana que presentaron menos del 10% de valores perdidos y al menos 20 años de datos aplicando el el test de homogeneidad SNHT (Standard Normal Homogeneity Test) (Alexandersson y Moberg, 1997). Para ello se usó el software Anclim (Stepanek, 2003). En este test se recomienda no arreglar saltos que se produzcan en los diez primeros o diez últimos años de las series. Se corrigieron aquellos saltos que se reproducían anual y en al menos dos de las estaciones del año, aunque la corrección se hace en cada uno de los meses. Sin embargo, estas series después no se emplearán en el cálculo de las tendencias.

Para la serie de Córdoba Aeropuerto se aplicó el test SNHT (Standard Normal Homogeneity Test) (Alexandersson y Moberg, 1997) para series individuales del mismo modo que en temperatura. Este método se aconseja cuando se tiene una red de series muy dispersas o cuando no es posible construir una serie de referencia, como ocurre en este caso (Ahmed El Kenawy)

En precipitación ninguna de las series analizadas mostró una inhomogeneidad clara. Esto ocurre tanto para Córdoba Aeropuerto como para las otras dos estaciones. Sin embargo, como se dijo con anterioridad sólo se calcularán las tendencias para esta estación.

Resultados

A continuación se presentan en una serie de tablas y gráficos las tendencias observadas en precipitación a escala anual, estacional y mensual. En las tablas se muestran las tendencias anuales, estacionales y mensuales (pendientes positivas apuntan hacia un aumento de la precipitación y pendientes negativas a un descenso) en el período 1960-2007. Para estas tendencias se presentan las anomalías estandarizadas, se hace así, para asegurar que aquellas estaciones con mucha precipitación no dominen la serie temporal y poder comparar las estaciones (Aguilar et. al., 2005). En este caso no hay suficientes estaciones para comparar pero aún así se considera más adecuado escoger las anomalías estandarizadas. Los asteriscos * indican el nivel de significancia obtenido a través del test de correlación no paramétrica tau-b kendall también usado en temperatura. Así, * indica $P < 0.05$, ** indica $P < 0.01$ y *** indica que $P < 0.001$. También se utiliza $P < 0.1$ para aquellos casos que resultaron ser casi significativos en el test. Así mismo, en las tablas se muestra el coeficiente de determinación R^2 obtenido en el modelo de regresión lineal.

Se muestran las tendencias en la precipitación acumulada en el período 1960-2007 con respecto al periodo de referencia 1971-2000.

a. Tendencias en precipitación

a.1. Tendencias en precipitación series individuales

Serie	Instante	Pendiente b	R^2
CÓRDOBA	Anual	-0.070**	0.2823
AEROPUERTO	Invierno	-0.029*	0.1074
(1960-2007)	Primavera	-0.039**	0.2434
	Verano	-0.053***	0.3404
	Otoño	No significativo	
	Enero	-0.030*	0.0911
	Febrero	-0.065**	0.2553
	Marzo	-0.054*	0.1977
	Abril	-0.021 ^($P < 0.1$)	0.0834
	Mayo	No significativo	
	Junio	-0.050***	0.3166
	Julio	No significativo	
	Agosto	No significativo	
	Septiembre	No significativo	
	Octubre	No significativo	
	Noviembre	No significativo	
	Diciembre	No significativo	

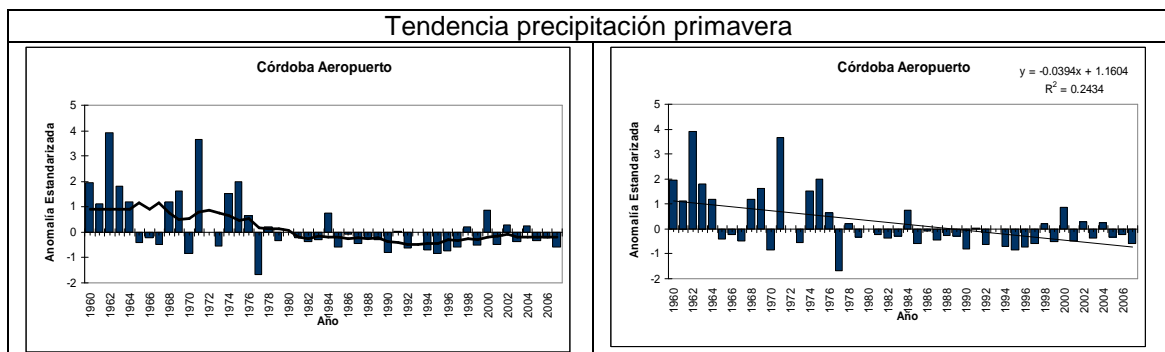
En este caso, al contrario que en otros estudios de este proyecto, no se construye una serie regional debido a la escasez de estaciones.

Respecto a la precipitación acumulada se observa un descenso en la precipitación tanto a escala anual como a escala estacional con excepción del otoño que es no significativo. Esto está de acuerdo con lo que encontraron en la región de Córdoba en su estudio de España, S. Del Río et. al. (2010), donde destaca el descenso

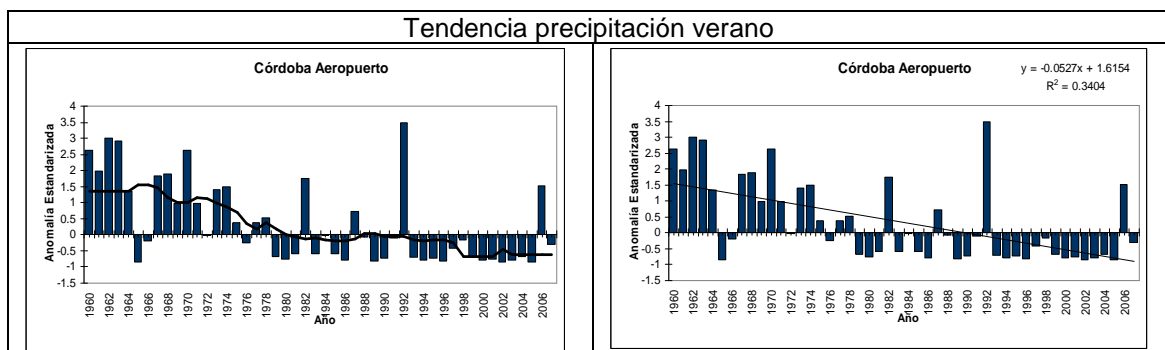
de la precipitación en Febrero y Junio, además aquí se ha encontrado un descenso significativo en Enero y Marzo.

A continuación se presentan los gráficos en los que las tendencias son significativas para la serie de Córdoba Aeropuerto. A la izquierda se muestran estas tendencias con una media móvil de 10 años, mientras que en la derecha se muestran las gráficas de la regresión lineal resultante en cada caso. No se presentan aquellas gráficas que mostraron huecos, como por ejemplo la gráfica de invierno que posee un hueco en 1975.

Debajo se muestra una tabla con la pendiente y el coeficiente de determinación R^2 , resultado del modelo de regresión lineal.

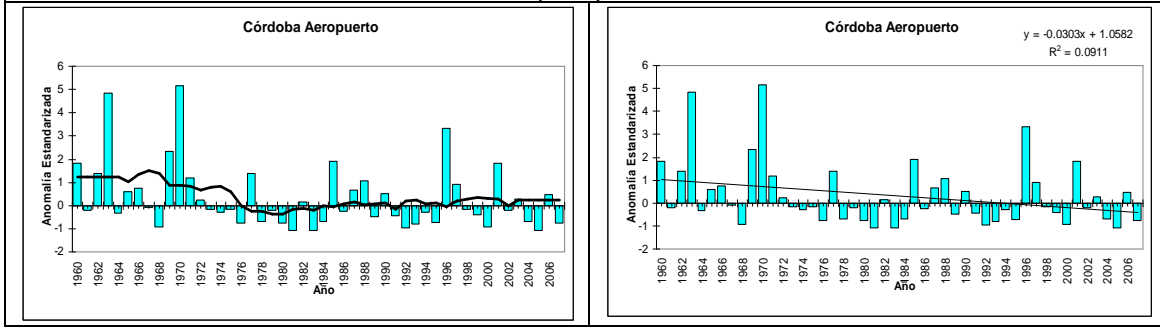


Precipitación primavera	Pendiente b	R^2
Córdoba Aeropuerto	-0.039**	0.2434



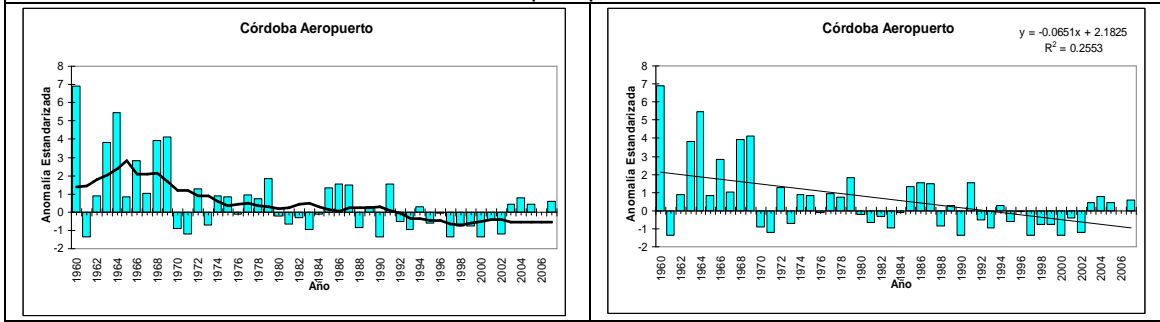
Precipitación verano	Pendiente b	R^2
Córdoba Aeropuerto	-0.024***	0.3404

Tendencia precipitación Enero



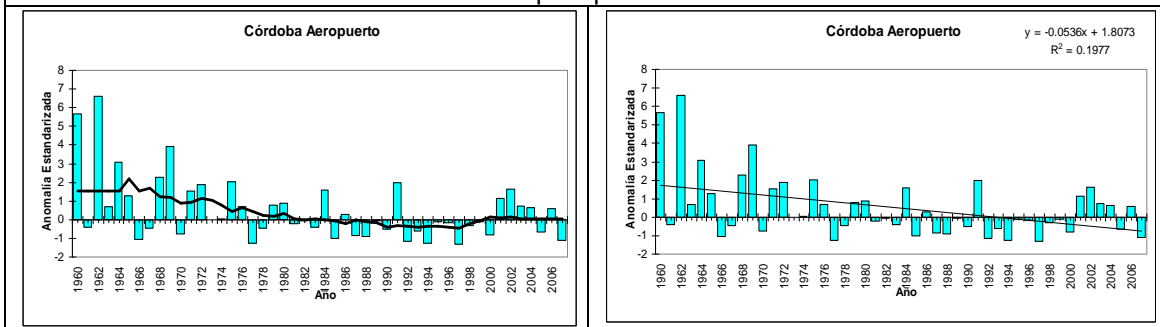
Precipitación enero	Pendiente b	R ²
Córdoba Aeropuerto	-0.030*	0.0911

Tendencia precipitación febrero

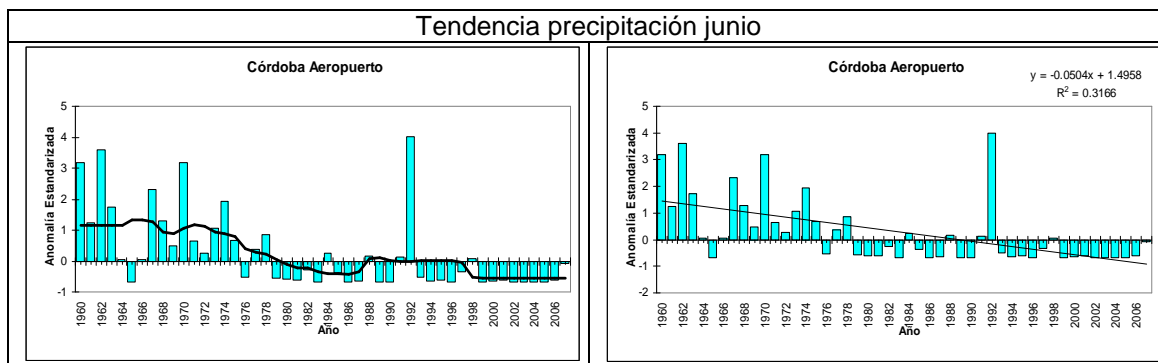


Precipitación febrero	Pendiente b	R ²
Coruña Aeropuerto	-0.065**	0.2553

Tendencia precipitación marzo



Precipitación marzo	Pendiente b	R ²
Córdoba Aeropuerto	-0.054*	0.1977



Precipitación marzo	Pendiente b	R ²
Córdoba Aeropuerto	-0.050***	0.3166

b. Análisis de extremos de precipitación

A partir de los datos de precipitación diaria, se analizó la frecuencia de días de lluvia (precipitación >1mm), la frecuencia de días en que se superaron los umbrales de 5, 10 y 30 mm y por último se estudió la frecuencia de días que superaron los percentiles p90, p95, p99, a lo largo del período 1964-2009. Se construyeron las anomalías de esta frecuencia de días en el período 1971-2000. Este análisis se ejecutó sobre los valores diarios de la serie de Córdoba Aeropuerto a la que aplicó el control calidad a partir de 1975-2007 y, sobre la serie de valores diarios de la serie original.

A continuación se ponen unas tablas con las tendencias encontradas en estas series. Como en el caso de temperatura se hace una comparación entre las series originales y las series revisadas. Al ser eliminados los outliers en el control de calidad, hay que tener mucho cuidado en el estudio de extremos. Esto es así a pesar de que representan un porcentaje muy pequeño en el total de la serie. Así, se presentan los resultados de las series revisadas y las series originales tanto en escala anual como estacional.

ESTACIÓN		
	Anual	
Días de lluvia > 1 l/m ²	Pendiente b con su significación	R ²
Días de lluvia > 5 l/m ²	Pendiente b con su significación	R ²
Días de lluvia > 10 l/m ²	Pendiente b con su significación	R ²
Días de lluvia > 30 l/m ²	Pendiente b con su significación	R ²
Días de lluvia > P90	Pendiente b con su significación	R ²
Días de lluvia > P95	Pendiente b con su significación	R ²
Días de lluvia > P99	Pendiente b con su significación	R ²

ESTACIÓN				
	Invierno	Primavera	Verano	Otoño
Días de lluvia > 1 l/m ²	Pendiente b significación /R ²	Idem	Idem	Idem
Días de lluvia > 5 l/m ²	Pendiente significación /R ²	Idem	Idem	Idem
Días de lluvia > 10 l/m ²	Pendiente significación /R ²	Idem	Idem	Idem
Días de lluvia > 30 l/m ²	Pendiente significación /R ²	Idem	Idem	Idem
Días de lluvia > P90	Pendiente significación /R ²	Idem	Idem	Idem
Días de lluvia > P95	Pendiente significación /R ²	Idem	Idem	Idem
Días de lluvia > P99	Pendiente significación /R ²	Idem	Idem	Idem

CÓRDOBA AEROPUERTO		
	Anual	
Días de lluvia > 1 l/m ²	-0.453***	0.2693
Días de lluvia > 5 l/m ²	-0.402***	0.2776
Días de lluvia > 10 l/m ²	-0.309***	0.2682
Días de lluvia > 30 l/m ²	-0.086*	0.1764
Días de lluvia > P90	-0.195**	0.2792
Días de lluvia > P95	-0.128*	0.2446
Días de lluvia > P99	-0.119**	0.2773
ORIGINAL		
Días de lluvia > 1 l/m ²	No significativo	
Días de lluvia > 5 l/m ²	No significativo	
Días de lluvia > 10 l/m ²	No significativo	
Días de lluvia > 30 l/m ²	No significativo	
Días de lluvia > P90	No significativo	
Días de lluvia > P95	No significativo	
Días de lluvia > P99	No significativo	

CÓRDOBA AEROPUERTO				
	Invierno	Primavera	Verano	Otoño
Días de lluvia > 1 l/m ²	-0.156 ^(P<0.1) /0.0651	-0.120 ^(P<0.1) /0.0718	-0.092***/0.3864	No significativo
Días de lluvia > 5 l/m ²	-0.148*/0.0937	-0.119**/0.1533	-0.056***/0.3368	No significativo
Días de lluvia > 10 l/m ²	-0.116*/0.0957	-0.108***/0.2914	-0.027***/0.2905	No significativo
Días de lluvia > 30 l/m ²	No significativo	-0.023**/0.2210	No significativo	-0.038 ^(P<0.1) /0.1344
Días de lluvia > P90	-0.061*/0.1161	-0.068*/0.2298	-0.023**/0.2079	No significativo
Días de lluvia > P95	No significativo	-0.042*/0.2249	-0.023**/0.2079	No significativo
Días de lluvia > P99	-0.030*/0.1325	-0.040**/0.2727	-0.023**/0.2079	No significativo
ORIGINAL				
Días de lluvia > 1 l/m ²	No significativo	No significativo	-0.066**/0.1269	No significativo
Días de lluvia > 5 l/m ²	No significativo	No significativo	-0.031*/0.0734	No significativo
Días de lluvia > 10 l/m ²	No significativo	No significativo	-0.011 ^(P<0.1) /0.0219	No significativo
Días de lluvia > 30 l/m ²	No significativo	No significativo	0.005 ^(P<0.1) /0.0732	0.023 ^(P<0.1) /0.0902
Días de lluvia > P90	No significativo	No significativo	No significativo	0.027 ^(P<0.1) /0.0927
Días de lluvia > P95	No significativo	No significativo	No significativo	0.016 ^(P<0.1) /0.0753
Días de lluvia > P99	No significativo	No significativo	No significativo	No significativo

Como se puede observar en la tabla existen muchas diferencias entre la serie original y la serie revisada. Dado el pobre control de calidad que empieza en 1975 y a la vista de estos resultados se decide no considerarlos, por lo que no se puede decir nada concluyente en lo que respecta a los días de lluvia y la frecuencia de días con precipitación extrema.

Conclusiones

- Se observa en general un descenso de la precipitación acumulada tanto a escala anual (3.5%) como en las estaciones de invierno (3.2%), primavera (3.8%) y verano (10.2%). Estos descensos también se observan en los meses de enero, febrero (8.0%), marzo y junio (12.2%)
- En el estudio de la frecuencia de días de lluvia y días que superan los percentiles p90, p95, p99 (precipitación intensa) no se ha podido sacar ninguna conclusión debido al pobre control de calidad que se pudo aplicar a la serie de Córdoba Aeropuerto.

Bibliografía

Aguilar E., Peterson T. C., Ramírez Obando P., Frutos R., Retana J.A., Solera M., Soley J., González García I., Araujo R. M., Rosa Santos A., Valle V.E., Brunet M., Aguilar L., Álvarez L., Bautista M., Castañón C., Herrera L., Ruano E., Sinay J.J., Sánchez E., Hernández Oviedo G. I., Obed F., Salgado J.E., Vázquez J.L., Baca M., Gutiérrez M., Centella C., Espinosa J., Martínez D., Olmedo B., Ojeda Espinoza C. E., Núñez R., Haylock M., Benavides H. and Mayorga R. (2005). Changes in precipitation and temperature extremes in Central America and northern South America, 1961-2003. *Journal of Geophysical research*, **110**, D23107, doi: 10.1029/2005JD006119.

Ahmed El Kenawy (2009) Quality control, Reconstruction and Homogeneity of climate data sets. *III Curso de métodos estadísticos avanzados para estudios climáticos*. Zaragoza. Instituto Pirenaico de ecología (Consejo Superior de Investigaciones Científicas) con la colaboración de la Asociación Española de Climatología y la Universidad de Zaragoza.

Alexandersson H. and Moberg A. (1997). Homogenization of Swedish Temperature Data Part. I: Homogeneity test for linear trends. *International Journal of Climatology*, **17**, 25-37.

Jose Agustín García, María Cruz Gallego, Antonio Serrano y Jose Manuel Vaquero (2007). Trends in Block-Seasonal Extreme Rainfall over the Iberian Peninsula in the Second Half of the Twentieth Century. *Journal of Climate*. **20**, 113-130. DOI: 10.1175/JCLI3995.1

S. del Río, L. Herrero, R. Fraile and A. Penas (2010) Spatial distribution of recent rainfall in Spain (1961-2006). *International Journal of Climatology*, **online**, DOI: 10.1002/joc.2111.

Stepanek P. (2003) AnClim: a software, specially developed for the homogenisation of climate data. <http://www.sci.muni.cz/> pest