Escola de Camins
Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de Camins, Canals i Ports
UPC BARCELONATECH

PROYECTO O TESINA DE ESPECIALIDAD

Título

Evolución temporal de rendimientos de cultivos y su relación con la señal climática en Tarragona

Autora

AIDA GARCIA BORIA

Tutor

OCTAVIO CESAR MÖSSO ARANDA

Tutor Externo

DAVID VARGAS

Departamento

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA HIDRÁULICA, MARÍTIMA Y AMBIENTAL

Intensificación

ESTUDIO DE LAS SERIES DE TIEMPO

Fecha

09.02.2015

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, me gustaría agradecer de manera muy especial el tiempo que ha dedicado César Mösso Aranda, tutor de este trabajo, a la corrección, respuesta a las dudas surgidas durante el desarrollo de este trabajo y por su orientación.

También querría agradecer a Víctor, Carla y Vanessa por su apoyo tanto en los buenos como en los malos momentos, que sin importar la gravedad del problema o lo bueno que fuera el suceso, siempre lo han hecho especial.

Y, por supuesto, agradecer a mis padres, Dani y Maite, y a mi hermano, Daniel, por enseñarme a luchar y a conquistar las metas que me proponga hasta agotar los recursos que sean necesarios. Sin su apoyo y cariño, no hubiera llegado donde estoy ahora.

ÍNDICE

RESUMEN **1**

1.- INTRODUCCIÓN **2**

1.1.- MOTIVACIÓN 2
1.2.- ANÁLISIS DE LAS SERIES DE TIEMPO 9
1.3.- DATOS 11
1.4.- LOS CULTIVOS EN TARRAGONA 12
1.5.- OBJETIVOS 14

2.- ÁREA DE ESTUDIO **15**

3.- METODOLOGIA **17**

3.1.- MÉTODOS DE ANÁLISIS DE TENDENCIA DE SERIES DE TIEMPO 17
3.1.1.- Métodos de análisis de la tendencia lineal *17*
3.1.2.- Métodos de análisis de la tendencia flexible *20*
3.1.3.- Análisis Espectral *26*
3.2.- ANÁLISIS DE REGRESIÓN Y CORRELACIÓN 26
3.2.1.- Coeficiente de correlación lineal *27*
3.2.2.- Modelos de regresión lineal simple *29*
3.2.3.- Correlación cruzada *29*

4.- RESULTADOS Y DISCUSIONES **32**

4.1.- ANÁLISIS DE TENDENCIA DE CADA SEÑAL 33
4.1.1.- Rendimiento del arroz *34*
4.1.2.- Rendimiento de la cebada *34*
4.1.3.- Rendimiento del maíz *35*
4.1.4.- Rendimiento del trigo *36*
4.1.5.- Rendimiento de la patata *36*
4.1.6.- Rendimiento de los viñedos *37*
4.1.7.- Rendimiento de la alfalfa *38*
4.1.8.- Temperatura media del aire *38*
4.1.9.- Precipitación *39*
4.2.- DENSIDADES ESPECTRALES 43
4.2.1.- Rendimiento del arroz *43*
4.2.2.- Rendimiento de la cebada *44*
4.2.3.- Rendimiento del maíz *45*
4.2.4.- Rendimiento del trigo *45*
4.2.5.- Rendimiento de la patata *46*
4.2.6.- Rendimiento de los viñedos *47*
4.2.7.- Rendimiento de la alfalfa *47*
4.2.8.- Temperatura media del aire *48*
4.2.9.- Precipitaciones *49*
4.3.- SEÑALES TOTALES 51
4.3.1.- Rendimiento del arroz *51*
4.3.2.- Rendimiento de la cebada *52*
4.3.3.- Rendimiento del maíz *54*
4.3.4.- Rendimiento del trigo *55*
4.3.5.- Rendimiento de la patata *56*
4.3.6.- Rendimiento de los viñedos *58*
4.3.7.- Rendimiento de la alfalfa *59*
4.4.- COMPONENTES CÍCLICAS 62
4.4.1.- Rendimiento del arroz *62*
4.4.2.- Rendimiento de la cebada *63*
4.4.3.- Rendimiento del maíz *65*
4.4.4.- Rendimiento del trigo *66*

4.4.5.- Rendimiento de la patata *67*
4.4.6.- Rendimiento de los viñedos *69*
4.4.7.- Rendimiento de la alfalfa *70*
4.5.- TENDENCIA DE LAS SEÑALES 72
4.5.1.- Rendimiento del arroz *73*
4.5.2.- Rendimiento da la cebada *74*
4.5.3.- Rendimiento del maíz *76*
4.5.4.- Rendimiento del trigo *77*
4.5.5.- Rendimiento de la patata *78*
4.5.6.- Rendimiento de los viñedos *80*
4.5.7.- Rendimiento de la alfalfa *81*

5.- CONCLUSIONES **87**

6.- REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA **89**

Figura 1.- El ciclo de la gestión. (Fuente: Pellicer y Yepes, 2005) 8
Figura 2.- Localización de la provincia de Tarragona en el mapa de la península ibérica y con más detalle en el mapa de Catalunya 16
Figura 3.- Valores y significados del coeficiente de correlación. (Fuente: Vila *et al.* (2003)). 28
Figura 4.- Tendencias lineal (obtenida por medio de la prueba Mann-Kendall) y flexibles (obtenida por medio del suavizado gaussiano y de los filtros de pasa banda (entre 2 y 20 años) y HP (λ = 100)) del rendimiento de arroz entre 1904 y 2006 34
Figura 5.- Componentes cíclicas del rendimiento de arroz obtenida por medio de los filtros de pasa banda (entre 2 y 20 años) y HP (λ = 100). 34
Figura 6.- Tendencias lineal (obtenida por medio de la prueba Mann-Kendall) y flexibles (obtenida por medio del suavizado gaussiano y de los filtros de pasa banda (entre 2 y 20 años) y HP (λ = 100)) del rendimiento de la cebada entre 1904 y 2006... 34
Figura 7.- Componentes cíclicas del rendimiento de la cebada obtenida por medio de los filtros de pasa banda (entre 2 y 20 años) y HP (λ = 100). 35
Figura 8.- Tendencias lineal (obtenida por medio de la prueba Mann-Kendall) y flexibles (obtenida por medio del suavizado gaussiano y de los filtros de pasa banda (entre 2 y 20 años) y HP (λ = 100)) del rendimiento del maíz entre 1904 y 2006..... 35
Figura 9.- Componentes cíclicas del rendimiento del maíz obtenida por medio de los filtros de pasa banda (entre 2 y 20 años) y HP (λ = 100). 35
Figura 10.- Tendencias lineal (obtenida por medio de la prueba Mann-Kendall) y flexibles (obtenida por medio del suavizado gaussiano y de los filtros de pasa banda (entre 2 y 20 años) y HP (λ = 100)) del rendimiento del trigo entre 1904 y 2006..... 36
Figura 11.- Componentes cíclicas del rendimiento del trigo obtenida por medio de los filtros de pasa banda (entre 2 y 20 años) y HP (λ = 100). 36
Figura 12.- Tendencias lineal (obtenida por medio de la prueba Mann-Kendall) y flexibles (obtenida por medio del suavizado gaussiano y de los filtros de pasa banda (entre 2 y 20 años) y HP (λ = 100)) del rendimiento de la patata entre 1929 y 2006 36
Figura 13.- Componentes cíclicas del rendimiento de la patata obtenida por medio de los filtros de pasa banda (entre 2 y 20 años) y HP (λ = 100). 37
Figura 14.- Tendencias lineal (obtenida por medio de la prueba Mann-Kendall) y flexibles (obtenida por medio del suavizado gaussiano y de los filtros de pasa banda (entre 2 y 20 años) y HP (λ = 100)) del rendimiento de los viñedos entre 1929 y 2006 37
Figura 15.- Componentes cíclicas del rendimiento de los viñedos obtenida por medio de los filtros de pasa banda (entre 2 y 20 años) y HP (λ = 100). 37

Figura 16.- Tendencias lineal (obtenida por medio de la prueba Mann-Kendall) y flexibles (obtenida por medio del suavizado gaussiano y de los filtros de pasa banda (entre 2 y 20 años) y HP (λ = 100)) del rendimiento de la alfalfa entre 1943 y 2006 ... 38
Figura 17.- Componentes cíclicas del rendimiento de la alfalfa obtenida por medio de los filtros de pasa banda (entre 2 y 20 años) y HP (λ = 100). 38
Figura 18.- Tendencias lineal (obtenida por medio de la prueba Mann-Kendall) y flexibles (obtenida por medio del suavizado gaussiano y de los filtros de pasa banda (entre 2 y 18 años) y HP (λ = 100)) de la temperatura del aire entre 1905 y 2008 38
Figura 19.- Componentes cíclicas de la temperatura del aire obtenida por medio de los filtros de pasa banda (entre 2 y 18 años) y HP (λ = 100). 39
Figura 20.- Tendencias lineal (obtenida por medio de la prueba Mann-Kendall) y flexibles (obtenida por medio del suavizado gaussiano y de los filtros de pasa banda (entre 2 y 20 años) y HP (λ = 100)) de los datos de precipitación entre 1904 y 2006 ... 39
Figura 21.- Componentes cíclicas de los datos de precipitación obtenidas por medio de los filtros de pasa banda (entre 2 y 20 años) y HP (λ = 100). 39
Figura 22.- Tendencias de los rendimientos de los cultivos analizados 41
Figura 23.- Análisis espectral de la señal total de la serie temporal del rendimiento de arroz. 43
Figura 24.- Diagrama de densidad espectral para el rendimiento de arroz. 44
Figura 25.- Análisis espectral de la señal total de la serie temporal del rendimiento de la cebada. 44
Figura 26.- Diagrama de densidad espectral para el rendimiento de la cebada..... 44
Figura 27.- Análisis espectral de la señal total de la serie temporal del rendimiento de maíz. 45
Figura 28.- Diagrama de densidad espectral para el rendimiento del maíz..... 45
Figura 29.- Análisis espectral de la señal total de la serie temporal del rendimiento de trigo..... 45
Figura 30.- Diagrama de densidad espectral para el rendimiento del trigo. 46
Figura 31.- Análisis espectral de la señal total de la serie temporal del rendimiento de la patata..... 46
Figura 32.- Diagrama de densidad espectral para el rendimiento de la patata. 46
Figura 33.- Análisis espectral de la señal total de la serie temporal del rendimiento de los viñedos. 47
Figura 34.- Diagrama de densidad espectral para el rendimiento de los viñedos. 47
Figura 35.- Análisis espectral de la señal total de la serie temporal del rendimiento de la alfalfa. 47
Figura 36.- Diagrama de densidad espectral para el rendimiento de la alfalfa. 48
Figura 37.- Análisis espectral de la señal total de la serie temporal de la temperatura del aire. 48
Figura 38.- Diagrama de densidad espectral para los datos de la temperatura del aire.. 48
Figura 39.- Análisis espectral de la señal total de la serie temporal de las precipitaciones. 49
Figura 40.- Diagrama de densidad espectral para los datos de precipitación. 49
Figura 41.- Gráfico lineal de las señales totales de las series temporales correspondientes al rendimiento del arroz y la temperatura del aire entre los años 1905 y 2006. 51
Figura 42.- Función de intercorrelación para la series temporales totales del rendimiento del arroz y la temperatura del aire con un desfase de ±20 años. 51

Figura 43.- Gráfico lineal de las señales totales de las series temporales correspondientes al rendimiento del arroz y los datos de precipitación entre los años 1906 y 2006. 52
Figura 44.- Función de intercorrelación para la series temporales totales del rendimiento del arroz y la precipitación con un desfase de ±20 años. 52
Figura 45.- Gráfico lineal de las señales totales de las series temporales correspondientes al rendimiento de la cebada y la temperatura del aire entre los años 1905 y 2006. 52
Figura 46.- Función de intercorrelación para la series temporales totales del rendimiento de la cebada y la temperatura del aire con un desfase de ±20 años. 53
Figura 47.- Gráfico lineal de las señales totales de las series temporales correspondientes al rendimiento de cebada y los datos de precipitación entre los años 1906 y 2006. 53
Figura 48.- Función de intercorrelación para la series temporales totales del rendimiento de la cebada y la precipitación con un desfase de ±20 años. 53
Figura49.- Gráfico lineal de las señales totales de las series temporales correspondientes al rendimiento del maíz y la temperatura del aire entre los años 1905 y 2006. 54
Figura 50.- Función de intercorrelación para la series temporales totales del rendimiento del maíz y la temperatura del aire con un desfase de ±20 años. 54
Figura 51.- Gráfico lineal de las señales totales de las series temporales correspondientes al rendimiento del maíz y los datos de precipitación entre los años 1906 y 2006. 54
Figura 52.- Función de intercorrelación para la series temporales totales del rendimiento del maíz y la precipitación con un desfase de ±20 años 55
Figura53.- Gráfico lineal de las señales totales de las series temporales correspondientes al rendimiento del trigo y la temperatura del aire entre los años 1905 y 2006. 55
Figura 54.- Función de intercorrelación para la series temporales totales del rendimiento del trigo y la temperatura del aire con un desfase de ±20 años. 55
Figura 55.- Gráfico lineal de las señales totales de las series temporales correspondientes al rendimiento del trigo y los datos de precipitación entre los años 1906 y 2006. 56
Figura 56.- Función de intercorrelación para la series temporales totales del rendimiento del trigo y la precipitación con un desfase de ±20 años. 56
Figura57.- Gráfico lineal de las señales totales de las series temporales correspondientes al rendimiento de la patata y la temperatura del aire entre los años 1905 y 2006. 56
Figura 58.- Función de intercorrelación para la series temporales totales del rendimiento de la patata y la temperatura del aire con un desfase de ±20 años. 57
Figura 59.- Gráfico lineal de las señales totales de las series temporales correspondientes al rendimiento de la patata y los datos de precipitación entre los años 1929 y 2006. 57
Figura 60.- Función de intercorrelación para la series temporales totales del rendimiento de la patata y la precipitación con un desfase de ±20 años. 57
Figura 61.- Gráfico lineal de las señales totales de las series temporales correspondientes al rendimiento de los viñedos y la temperatura del aire entre los años 1929 y 2006. 58
Figura 62.- Función de intercorrelación para la series temporales totales del rendimiento de los viñedos y la temperatura del aire con un desfase de ±20 años. 58
Figura 63.- Gráfico lineal de las señales totales de las series temporales correspondientes al rendimiento de los viñedos y los datos de precipitación entre los años 1929 y 2006. 58

Figura 64.- Función de intercorrelación para la series temporales totales del rendimiento de los viñedos y la precipitación con un desfase de ±20 años..... 59
Figura 65.- Gráfico lineal de las señales totales de las series temporales correspondientes al rendimiento de la alfalfa y la temperatura del aire entre los años 1943 y 2006. 59
Figura 66.- Función de intercorrelación para la series temporales totales del rendimiento de alfalfa y la temperatura del aire con un desfase de ±20 años. 59
Figura 67.- Gráfico lineal de las señales totales de las series temporales correspondientes al rendimiento de alfalfa y los datos de precipitación entre los años 1929 y 2006. 60
Figura 68.- Función de intercorrelación para la series temporales totales del rendimiento de alfalfa y la precipitación con un desfase de ±20 años..... 60
Figura69.- Gráfico lineal de las componentes cíclicas (HP Cycle) de las series temporales correspondientes al rendimiento del arroz y la temperatura del aire entre los años 1905 y 2006. 62
Figura 70.- Función de intercorrelación para las componentes cíclicas del rendimiento del arroz y de la temperatura del aire con un desfase de ±20 años..... 62
Figura71.- Gráfico lineal de las componentes cíclicas (HP Cycle) de las series temporales correspondientes al rendimiento del arroz y la precipitación entre los años 1906 y 2006. 63
Figura 72.- Función de intercorrelación para las componentes cíclicas del rendimiento del arroz y de la precipitación con un desfase de ±20 años..... 63
Figura73.- Gráfico lineal de las componentes cíclicas (HP Cycle) de las series temporales correspondientes al rendimiento de la cebada y la temperatura del aire entre los años 1905 y 2006. 63
Figura 74.- Función de intercorrelación para lascomponentes cíclicas del rendimiento de la cebada y de la temperatura del aire con un desfase de ±20 años..... 64
Figura75.- Gráfico lineal de las componentes cíclicas (HP Cycle) de las series temporales correspondientes al rendimiento de la cebada y la precipitación entre los años 1906 y 2006. 64
Figura 76.- Función de intercorrelación para lascomponentes cíclicas del rendimiento de la cebada y de la precipitación con un desfase de ±20 años..... 64
Figura77.- Gráfico lineal de las componentes cíclicas (HP Cycle) de las series temporales correspondientes al rendimiento del maíz y la temperatura del aire entre los años 1905 y 2006. 65
Figura 78.- Función de intercorrelación para lascomponentes cíclicas del rendimiento de maíz y de la temperatura del aire con un desfase de ±20 años..... 65
Figura79.- Gráfico lineal de las componentes cíclicas (HP Cycle) de las series temporales correspondientes al rendimiento de maíz y la precipitación entre los años 1906 y 2006. 65
Figura 80.- Función de intercorrelación para lascomponentes cíclicas del rendimiento del maíz y de la precipitación con un desfase de ±20 años. 66
Figura81.- Gráfico lineal de las componentes cíclicas (HP Cycle) de las series temporales correspondientes al rendimiento del trigo y la temperatura del aire entre los años 1905 y 2006. 66
Figura 82.- Función deintercorrelación para las componentes cíclicas del rendimiento de trigo y de la temperatura del aire con un desfase de ±20 años. 66
Figura83.- Gráfico lineal de las componentes cíclicas (HP Cycle) de las series temporales correspondientes al rendimiento del trigo y la precipitación entre los años 1906 y 2006. 67

Figura 84.- Función deintercorrelación para las componentes cíclicas del rendimiento del trigo y de la precipitación con un desfase de ±20 años. 67
Figura85.- Gráfico lineal de las componentes cíclicas (HP Cycle) de las series temporales correspondientes al rendimiento de la patata y la temperatura del aire entre los años 1905 y 2006. 67
Figura 86.- Función de intercorrelación para las componentes cíclicas del rendimiento de la patata y de la temperatura del aire con un desfase de ±20 años. 68
Figura87.- Gráfico lineal de las componentes cíclicas (HP Cycle) de las series temporales correspondientes al rendimiento de la patata y la precipitación entre los años 1929 y 2006. 68
Figura 88.- Función deintercorrelación para las componentes cíclicas del rendimiento de la patata y de la precipitación con un desfase de ±20 años. 68
Figura89.- Gráfico lineal de las componentes cíclicas (HP Cycle) de las series temporales correspondientes al rendimiento de los viñedos y la temperatura del aire entre los años 1929 y 2006. 69
Figura 90.- Función deintercorrelación para las componentes cíclicas del rendimiento de los viñedos y de la temperatura del aire con un desfase de ±20 años..... 69
Figura91.- Gráfico lineal de las componentes cíclicas (HP Cycle) de las series temporales correspondientes al rendimiento de los viñedos y la precipitación entre los años 1929 y 2006. 69
Figura 92.- Función de intercorrelación para las componentes cíclicas del rendimiento de los viñedos y de la precipitación con un desfase de ±20 años 70
Figura 93.- Gráfico lineal de las componentes cíclicas (HP Cycle) de las series temporales correspondientes al rendimiento de la alfalfa y la temperatura del aire entre los años 1943 y 2006 70
Figura 94.- Función de intercorrelación para las componentes cíclicas del rendimiento de alfalfa y de la temperatura del aire con un desfase de ±20 años..... 70
Figura 95.- Gráfico lineal de las componentes cíclicas (HP Cycle) de las series temporales correspondientes al rendimiento de alfalfa y la precipitación entre los años 1943 y 2006. 71
Figura 96.- Función de intercorrelación para las componentes cíclicas del rendimiento de alfalfa y de la precipitación con un desfase de ±20 años..... 71
Figura 97.- Gráfico lineal de la tendencia de las señales (HP Trend) de las series temporales correspondientes al rendimiento del arroz y la temperatura del aire entre los años 1905 y 2006. 73
Figura 98.- Función de intercorrelación para la tendencia de la señal del rendimiento del arroz y de la temperatura del aire con un desfase de ±20 años. 73
Figura 99.- Gráfico lineal de la tendencia de las señales (HP Trend) de las series temporales correspondientes al rendimiento del arroz y la precipitación entre los años 1906 y 2006. 74
Figura 100.- Función de intercorrelación para la tendencia de las series del rendimiento del arroz y de la precipitación con un desfase de ±20 años..... 74
Figura 101.- Gráfico lineal de la tendencia de las señales (HP Trend) de las series temporales correspondientes al rendimiento de la cebada y la temperatura del aire entre los años 1905 y 2006. 74
Figura 102.- Función de intercorrelación para la tendencia de las series del rendimiento de la cebada y de la temperatura del aire con un desfase de ±20 años 75
Figura 103.- Gráfico lineal de la tendencia de las señales (HP Trend) de las series temporales correspondientes al rendimiento de la cebada y la precipitaciónentre los años 1906 y 2006. 75

Figura 104.- Función de intercorrelación para la tendencia de las series del rendimiento de la cebada y de la precipitación con un desfase de ±20 años. 75
Figura 105.- Gráfico lineal de la tendencia de las señales (HP Trend) de las series temporales correspondientes al rendimiento del maíz y la temperatura del aire entre los años 1905 y 2006. 76
Figura 106.- Función de intercorrelación para la tendencia de las series del rendimiento del maíz y de la temperatura del aire con un desfase de ±20 años 76
Figura 107.- Gráfico lineal de la tendencia de las señales (HP Trend) de las series temporales correspondientes al rendimiento del maíz y la precipitación entre los años 1906 y 2006. 76
Figura 108.- Función de intercorrelación para la tendencia de las series del rendimiento del maíz y de la precipitación con un desfase de ±20 años. 77
Figura 109.- Gráfico lineal de la tendencia de las señales (HP Trend) de las series temporales correspondientes al rendimiento del trigo y la temperatura del aire entre los años 1905 y 2006. 77
Figura 110.- Función de intercorrelación para la tendencia de las series del rendimiento del trigo y de la temperatura del aire con un desfase de ±20 años 77
Figura 111.- Gráfico lineal de la tendencia de las señales (HP Trend) de las series temporales correspondientes al rendimiento del trigo y la precipitación entre los años 1906 y 2006. 78
Figura 112.- Función de intercorrelación para la tendencia de las series del rendimiento del trigo y de la precipitación con un desfase de ±20 años 78
Figura 113.- Gráfico lineal de la tendencia de las señales (HP Trend) de las series temporales correspondientes al rendimiento de la patatay la temperatura del aire entre los años 1905 y 2006. 78
Figura 114.- Función de intercorrelación para la tendencia de las series del rendimiento de la patata y de la temperatura del aire con un desfase de ±20 años. 79
Figura 115.- Gráfico lineal de la tendencia de las señales (HP Trend) de las series temporales correspondientes al rendimiento de la patata y la precipitación entre los años 1929 y 2006. 79
Figura 116.- Función de intercorrelación para la tendencia de las series del rendimiento de la patata y de la precipitación con un desfase de ±20 años..... 79
Figura 117.- Gráfico lineal de la tendencia de las señales (HP Trend) de las series temporales correspondientes al rendimiento de los viñedos y la temperatura del aire entre los años 1929 y 2006. 80
Figura 118.- Función de intercorrelación para la tendencia de las series del rendimiento de los viñedos y de la temperatura del aire con un desfase de ±20 años. 80
Figura 119.- Gráfico lineal de la tendencia de las señales HP Trend de las series temporales correspondientes al rendimiento de los viñedos y la precipitación entre los años 1929 y 2006. 80
Figura 120.- Función de intercorrelación para la tendencia de las series del rendimiento de los viñedos y de la precipitación con un desfase de ±20 años. 81
Figura 121.- Gráfico lineal de la tendencia de las señales (HP Trend) de las series temporales correspondientes al rendimiento de la alfalfa y la temperatura del aire entre los años 1943 y 2006. 81
Figura 122.- Función de intercorrelación para la tendencia de las series del rendimiento de alfalfa y la temperatura del aire con un desfase de ±20 años. 81
Figura 123.- Gráfico lineal de la tendencia de las señales (HP Trend) de las series temporales correspondientes al rendimiento de alfalfa y la precipitación entre los años 1943 y 2006. 82

Figura 124.- Función de intercorrelación para la tendencia de las series del rendimiento de alfalfa y de la precipitación con un desfase de ±20 años. 82

RESUMEN

Título: Estudio de las series de tiempo. Análisis de la señal de los rendimientos de cultivos en Tarragona

Autor: Aida Garcia Boria

Tutor: Cesar Mösso Aranda

Palabras clave: series de tiempo, cambio climático, análisis de tendencia, correlación, temperatura media del aire, precipitaciones, rendimiento de los cultivos

El cambio climático es ya un hecho irrefutable, con impactos negativos que deben ser gestionados para reducir los daños que puede causar. El cambio climático afecta a todos los elementos del clima, pero en especial a la temperatura y a las precipitaciones. Se observa que las plantas son integradoras de distintas variables climáticas; a partir de esta observación se desarrolla este trabajo. Mediante los datos de la temperatura media del aire y de las precipitaciones del observatorio del Ebro y con los datos de los rendimientos de los cultivos en Tarragona del último siglo, se busca si existe alguna relación entre las variaciones de los cultivos y las de la temperatura y las precipitaciones. Para ello, en primer lugar se realiza un análisis de tendencia para cada serie y después se busca la correlación existente entre las series climáticas y las series de rendimiento de los cultivos, para el mismo año y para años desfasados, estudiando las señales totales y sus componentes de tendencia y cíclicas.

ABSTRACT

Title: Study of time series. Signal analysis of crop yields in Tarragona.

Student: Aida Garcia Boria

Tutor: Cesar Mösso Aranda

Keywords: time series, climate change, trend analysis, correlation, average air temperatures, rainfall, crop yields

Climate change is already an irrefutable fact, with negative impacts which must be managed in order to reduce the damage they can cause. Climate change affects all the components of the weather, but especially temperature and precipitation. It has been noticed that plants are integrators of many climate variables; this work is developed on the basis of this observation. By means of air temperature and precipitation data obtained from Observatory Ebro and data from last century's crop yields in Tarragona, it is seeked whether there is any relationship between changes in crops and changes in temperature or precipitation. To that end, firstly a trend analysis for each serie is done and then the correlation between climatic series and the series of yields (for the same year and lagged years) is searched by studying the total signals and their trend and cyclical components.

1.- INTRODUCCIÓN

1.1.-Motivación

El cambio climático es una de las principales amenazas para el desarrollo sostenible y representa uno de los principales retos ambientales con efectos sobre la economía global, la salud y el bienestar social.

De acuerdo con el Commitee on the Science of Climate Change (2001), los gases invernadero se están acumulando en la atmosfera terrestre como resultado de las actividades humanas, provocando un aumento de las temperaturas del aire superficial y de los océanos, con una certidumbre superior al noventa por ciento, según el Grupo Intergubernamental de Expertos de Cambio Climático (IPCC), en la contribución del Grupo de Trabajo I al Cuarto Informe de Evaluación, aprobado en París el 2 de febrero de 2007. Los cambios observados a lo largo de las últimas décadas son, en gran parte, debido a las actividades humanas; pero no se puede descartar que una parte significativa de estos cambios sea también el reflejo de la variabilidad de la naturaleza. Por esa razón, se espera que el calentamiento global y la subida del nivel del mar, los principales efectos del cambio climático, continúen a lo largo del siglo XXI. Algunos efectos secundarios sugeridos incluyen aumentos en las tasas de lluvias y aumento de la susceptibilidad de las regiones semiáridas a las sequías.

España, por su situación geográfica y sus características socioeconómicas, es un país muy vulnerable al cambio climático, como así se viene poniendo de manifiesto en las más recientes evaluaciones e investigaciones. Los impactos del cambio climático pueden tener consecuencias especialmente graves, entre otras, en lo referente a la gestión de los recursos hídricos y la regresión de la costa, a las pérdidas de la diversidad biológica y alteraciones en los ecosistemas naturales, a los aumentos en los procesos de erosión del suelo y pérdidas de vidas y bienes derivadas de la intensificación de los sucesos adversos asociados a fenómenos climáticos extremos, tales como incendios forestales, olas de calor y eventuales inundaciones (Ministerio de Medio Ambiente, 2007).

El Libro Blanco[1] de adaptación al cambio climático publicado por la Unión Europea en 2009, señala la cuenca mediterránea como una de las regiones de Europa más sensibles a las modificaciones climáticas, con una disminución de lluvias y un aumento de la temperatura que comportarán un mayor grado de aridez. Y en las zonas de montaña se notará de forma muy directa (Boluda, 2010). En esta área, el aumento general de temperaturas anuales podría oscilar entre los 3.5 y 5.5ºC (según los resultados de tres modelos globales de circulación (GCMs) distintos: GISS, GFDL y UKMO) así como también se prevé el doble de la concentración de CO_2 en la atmósfera, entre ahora y finales del siglo XXI.

[1]Los libros blancos (White Papers) de la Comunidad Europea son documentos que contienen propuestas de acción específica en un área determinada y son publicados después de los libros verdes (Green Papers), que son sometidos a un período de consulta a escala europea. Mientras que los libros verdes contienen ideas presentadas en un marco de discusión pública y debate, los libros blancos contienen una propuesta oficial de una política específica.

Todo ello se traduce en significativos impactos negativos en los ecosistemas y sistemas socioeconómicos en todas las regiones del Planeta, que sufrirán aún con mayor intensidad las futuras generaciones. Por ello, es necesario actuar y reducir las emisiones con el objetivo de mitigar los efectos; a su vez, es necesario buscar formas para una correcta adaptación a los impactos del cambio climático y, finalmente, tener conocimiento y hacer frente a los costes que supone.

Respecto a la mitigación y en relación con los consumos energéticos, existe el Protocolo de Kioto (Naciones Unidas, 1998) que requiere actuar de forma decidida sobre las emisiones difusas llevando a la aprobación en 2005 del Plan de Acción de la Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España (PAE4), que tiene como objetivo la reducción de consumos energéticos mejorando la eficiencia de los procesos. Además, con el objetivo de reducir los efectos del cambio climático, la Unión Europea ha apostado fuertemente por el comercio de derechos de emisión como mecanismo para fomentar las reducciones de emisiones de gases de efecto invernadero de una forma eficaz y económicamente eficiente.

Por otro lado, la adaptación al cambio climático es necesaria y complementaria a las acciones de mitigación. Es una prioridad en el conjunto de actuaciones nacionales por la gran vulnerabilidad de España ante los efectos adversos del cambio climático. Por este motivo se ha elaborado y puesto en marcha el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC), encarado a la coordinación entre las Administraciones Públicas en las actividades de evaluación de impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático en España. El objetivo del Plan es facilitar conocimientos sobre el tema y proporcionar elementos, herramientas y métodos de evaluación para que conduzcan a la identificación y adopción de estrategias y medidas de adaptación.

Los potenciales efectos negativos del cambio climático pueden reducirse tomando medidas previas de adaptación o mitigación. Algunas propuestas de acuerdo con Felicísimo *et al.* (2011) son la reducción de la fragmentación de los bosques, adaptación y preparación de zonas potenciales, recolección de germoplasma y planes concretos sobre formaciones arbóreas o arbustivas. O bien de acuerdo con el Ministerio de Medio Ambiente (2007), fomentando modelos de desarrollo que limiten el crecimiento de las emisiones de gases de efecto invernadero, promoviendo la accesibilidad a tecnologías limpias, la captura y almacenamiento geológico de CO_2 propuesto por el IPCC, incrementando las energías limpias y renovables así como el ahorro y eficiencia energética, entre otras.

Finalmente, los efectos del cambio climático suponen unos costes tanto económicos como medioambientales, así como también unos riesgos. De acuerdo con el Commitee on the Science of Climate Change (2001) cualquier cambio significativo del clima resulta en un aumento de los costos debido a las inversiones en estructuras de abastecimiento de agua. Además, esta situación ha generado un aumento de la demanda de energía lo que precisa acciones sobre la producción y el consumo energético que apoyen al desarrollo sostenible.

Por eso, la necesidad de estimar el alcance de la influencia del cambio climático y de tomar medidas para la reducción de daños ha ido calando estos años en las agendas políticas internacionales y en conjunto son impactos que requieren de una buena gestión.

El clima suele confundirse con el tiempo meteorológico ya que ambos analizan las mismas variables pero con diferencias considerables de tiempo cronológico. El tiempo queda restringido a las condiciones diarias de una zona, mientras el clima corresponde al conjunto de fenómenos meteorológicos recurrentes de un determinado lugar, tomando en cuenta un mayor período de tiempo (por lo general, años).

De acuerdo con Cernuda (2011), no es posible hablar de variables del clima y variables del cambio climático por separado, sobre todo por estar instalados de lleno en esta última definición y porque la primera solo explica la teoría y no la realidad en la que se vive.

Las variables del clima o del cambio climático real, aquellas que lo determinan, no son pocas y actúan interconectadas, de tal forma que ninguna de ellas puede entenderse por sí sola aunque en determinadas ocasiones tengan más protagonismo unas que otras. Por ejemplo, un aumento en las temperaturas globales supondrá más precipitaciones en forma de lluvia en vez de nieve y provocará la reducción de los glaciares. Hay una gran dosis de aleatoriedad en todas ellas, pero sí que se conocen, no obstante, sus efectos y cómo su presencia e intensidad condiciona a las demás variables (Cernuda (2011)).

De acuerdo con el Instituto Geográfico Nacional de España, el clima de un territorio es resultado de la combinación de diversos "factores" y "elementos". Por un lado están los factores geográficos, como la latitud y la situación. Por otro lado, los factores termodinámicos o atmosféricos representan las condiciones generales de circulación en altura y en superficie; los cinturones de vientos, sus variaciones estacionales, los centros de acción, las masas de aire y los frentes, marcan la dinámica y los rasgos del clima. Frente a los "factores", los "elementos" representan las propiedades de la atmósfera, cuya combinación define las características climáticas. Este trabajo se realiza sobre los efectos en la provincia de Tarragona, de manera que la variable geográfica ya queda bien definida. Debido a la facilidad en la obtención de datos, las variables del clima que interesan en este trabajo son las que corresponden a los "elementos". Entre ellos se destacan los más relevantes: las precipitaciones y las temperaturas.

Los cambios en el clima tendrán un impacto importante en el comportamiento de las plantas en general. La evaluación preliminar realizada en España por el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marítimo en 2005, dejó constancia de que los efectos del cambio climático sobre el rico patrimonio natural que alberga nuestro país son ya evidentes. Estos afectan a múltiples aspectos de nuestra biodiversidad, como son los cambios en la distribución de los pisos de vegetación o las alteraciones en determinados parámetros fenológicos de las especies (como la brotación, floración y caída de la hoja).

Concretamente, respecto al efecto del cambio climático sobre los cultivos en España, el Primer Programa de Trabajo del PNACC (2008) afirma que el incremento de la temperatura del aire, de la concentración de CO_2 en la atmósfera, así como los cambios en las precipitaciones estacionales afectarán a la agricultura española, aunque los efectos serán contrapuestos y no uniformes en las regiones españolas. Esto es, mientras que en algunas zonas los efectos para algunos cultivos pueden ser negativos, en otras

pueden ser incluso positivos. El efecto negativo de las altas temperaturas o menores precipitaciones puede verse compensado por las mayores tasas fotosintéticas debido al incremento de CO_2. Por otro lado, las temperaturas más suaves en invierno permitirán mayores productividades en esta época, compensado las pérdidas de otras estaciones. Además, el mismo Plan advierte que los aumentos de temperatura pueden aumentar la demanda evapotranspirativa de los cultivos, incrementándose las necesidades de riego en algunos casos. En el sur y sureste de España la demanda de agua se incrementará, siendo el estrés térmico más frecuente. Así pues, debido a la variación en factores climáticos, y por modificación de la época y duración del ciclo de los cultivos, los efectos potenciales del cambio climático provocarán cambios en las demandas de aguas de riego para los cultivos, problema al que se deberá hacer frente mediante nuevas o mejores infraestructuras. Finalmente, el Programa alerta que la distribución y alcance de plagas y enfermedades de los cultivos de importancia económica pueden variar. Su control natural por las heladas y bajas temperaturas del invierno, en zonas como las mesetas, podría disminuir, lo que requerirá una adaptación en las secuencias de los cultivos. La modificación de las temperaturas puede producir el desplazamiento a latitudes mayores de algunas enfermedades.

El PNACC (2008) también informa que, según datos del seguro agrario (que considera que será uno de los sectores económicos más rápida e intensamente afectado por los cambios climáticos), la mitad oriental de la península se confirma como la zona más sensible a un cambio climático, por elevada peligrosidad de los fenómenos meteorológicos y climáticos, y por la concentración de cultivos sensibles a dichas variables.

Ya que las plantas requieren de unas condiciones climáticas y agua para vivir, resultan ser unas integradoras de muchas de las variables climáticas. Así pues, en el estudio del clima y sus cambios, los rendimientos de los cultivos son de utilidad porque integran muchas variables climáticas (precipitaciones, temperatura del aire, radiación solar, etc.).

Por esta razón, en este trabajo se estudia si existe o no alguna relación entre los cambios en las temperaturas medias del aire o las precipitaciones y los rendimientos de los cultivos en la zona de Tarragona.

Relación entre Ingeniería Civil y Medio Ambiente

Según Arce y Palomino (2006), el término “desarrollo sostenible”, acuñado, como es bien sabido, por el informe Brundtland en 1987 sobre la base de que "el uso actual de un recurso no debe comprometer su uso para las generaciones futuras", fue asumido por la Declaración de Río, en 1992, como el principio que debía presidir las actuaciones de desarrollo de los años sucesivos.

El planteamiento de un marco basado en los principios de desarrollo sostenible supone la aceptación de que es preciso tener en cuenta la protección del medio ambiente, pero, admitiendo a la vez, que el desarrollo supone también un elemento positivo para la humanidad. Se busca no contraponer desarrollo y medio ambiente. Pero, aunque es fácil de enunciar, no resulta siempre posible conseguir que las actuaciones derivadas del desarrollo no degraden los recursos naturales.

El objetivo de estos principios consiste en lograr la calidad de sostenibilidad, que tiende a representarse en un equilibrio entre las facetas ambiental, social y económica de proyectos, actuaciones y políticas.

Estas nuevas preocupaciones sobre la sostenibilidad plantean nuevos retos a los ingenieros civiles, cuya tares está fuertemente ligada a la sostenibilidad, y que se hallan con frecuencia en el centro del conflicto desarrollo-medio ambiente, especialmente en sus facetas proyectista y constructora, con una triple vertiente. Por un lado, los ingenieros, con sus obras, alteran sustancialmente el medio ambiente. Por otro lado, algunos aspectos de la mejora de la calidad ambiental son, normalmente, un problema práctico que han de resolver los ingenieros. De hecho, así ha sido con los grandes avances en la calidad del agua potable, por ejemplo, con la consecuente mejora sanitaria urbana, el acceso a agua potable o bien el acceso a la energía, entre otros. Finalmente, en general, las mejoras sociales y económicas van ligadas a la dotación de infraestructuras.

El papel de la ingeniería es importante en la importante tarea de luchar contra la contaminación ambiental y el consumo irracional de los recursos, pero también ha de estar en primera fila en la lucha contra los efectos del cambio climático (Arce, 2009).

Hay que tener en cuenta, además, que los problemas ambientales son fuente permanente de conflictos, porque en ellos confluyen actores con intereses enfrentados y, en muchos casos, irreconciliables (Aguilar, 1997). Y sin olvidar, tampoco, que el tratamiento de los problemas y las preocupaciones medioambientales de la sociedad ha generado un floreciente sector económico que puede denominarse el "sector ambiental".

Relación entre Ingeniería Civil y Clima

De acuerdo con National Science Foundation (2009), debido a que los investigadores trabajan juntos para resolver las dudas acerca del clima, se está revolucionando la forma de entender el sistema de la Tierra en su conjunto. Los investigadores se han dado cuenta que deben llegar, a través de las fronteras disciplinaras, a estudiar cuestiones que se extienden más allá de cualquier campo de la ciencia o de la ingeniería. De hecho, debido a la complejidad del clima de la Tierra, esta investigación contiene contribuciones de casi cada campo que existe de la ciencia, las matemáticas o la ingeniería.

Además, muchas obras de ingeniería son profundamente influenciadas por factores climáticos. Entre otros, destaca por su regularidad las precipitaciones pluviales; un correcto dimensionamiento del drenaje garantiza la vida útil de una carretera, una vía férrea, un aeropuerto, etc. El conocimiento de las precipitaciones pluviales extremas garantizará la seguridad de las presas y las poblaciones y demás estructuras que se sitúan aguas debajo de la misma. El conocimiento de los fenómenos meteorológicos comunes en una determinada zona es muy importante para la implementación de ciertas técnicas de construcción, el dimensionamiento del drenaje urbano, las señalizaciones, tomar las medidas preventivas necesarias, y así evitar inundaciones y otras catástrofes.

En la ingeniería civil se necesitan todos los datos posibles para realizar una buena planificación de obra, evaluación de diseño, calcular los efectos de los diferentes fenómenos atmosféricos y como disminuir sus daños a las infraestructuras civiles (Batista, 2012).

Hablar de clima actual supone hablar del cambio climático. De acuerdo con Delgado (2009), éste es un hecho irrefutable y con impactos que ya son considerables. Las infraestructuras, los proyectos innovadores para lograr un desarrollo más sostenible y la búsqueda de alternativas a través de la investigación son algunos de los elementos que la ingeniería civil pone al servicio de la sociedad para ayudar a afrontar el desafío.

La preocupación por los impactos es ya una constante en la opinión pública. Superarlos con éxito, minimizando costes, requiere facilitar las medidas de adaptación tempranas y para ello se debe identificar con el mayor grado de precisión posible dónde y cómo se puede esperar alteraciones en el clima, así como sus consecuencias.

Desde el punto de vista de las infraestructuras, hay dos consecuencias muy destacables del cambio climático. Por un lado, una mayor irregularidad de las precipitaciones, con una mayor incidencia de períodos de sequía y, paralelamente de mayores inundaciones, lo que se traduce en la necesidad de gestionar de manera eficiente los recursos hídricos. Por otro lado, esta subida de las temperaturas también es la causa del aumento del nivel del mar, un aumento importante de la altura de ola (con la consiguiente reducción de operatividad en algunos puertos) y también producirá un retroceso de las playas. Todo esto es lo que afecta a determinadas estructuras y, en cualquier caso, de lo que se trata es, por un lado, de intentar frenar las emisiones de gases de efecto invernadero y ralentizar el proceso y, por el otro, de buscar alternativas de adecuación para aquellos fenómenos que ya son irreversibles.

Losada (en Delgado, 2009) propone, entre otras estrategias encaradas al proceso de adaptación de un cambio climático, introducir en el diseño de las nuevas infraestructuras el efecto del cambio climático en la vida útil de las obras.

De acuerdo con Arce (2009), el ingeniero civil ha de ser activo en la lucha contra el cambio climático y, por otro, ha de ser un pilar fundamental en la lucha contra sus desastrosos efectos.

Relación entre Ingeniería Civil y Gestión

Hoy en día las empresas necesitan auténticos gestores de recursos. El ingeniero de Caminos, Canales y Puertos ha pasado de estar presente, únicamente, en el área de obra civil a ocupar espacios relevantes en otros campos, como por ejemplo, en la gestión de infraestructuras.

El ingeniero también está unido a tareas de gestión por medio del proyecto de construcción. De acuerdo con Pellicer y Yepes (2005), todo proceso proyectual conlleva el paso de la idea a la realidad mediante fases sucesivas. Para el sector de la construcción se utiliza la expresión “proceso proyecto-construcción”, al reflejar más adecuadamente la aplicación de este proceso a la ingeniería civil y a la edificación. Las tres fases del proceso son: diseño, construcción y uso y explotación de la

infraestructura. Consecuentemente, se entiende que el "proyecto" incluye el diseño de la infraestructura y su documentación, considerando los aspectos formales y las normas vigentes.

La gestión óptima de este proyecto persigue la utilización eficaz y eficiente de los principios clásicos de planificación, organización, dirección y control que, a su vez, conforman las cuatro funciones básicas de la gestión. Durante el control del proyecto, estas cuatro funciones básicas se aplican simultánea o sucesivamente, pero siempre en constante retroalimentación, tal y como se define el ciclo de la gestión y se aprecia en la figura 1.

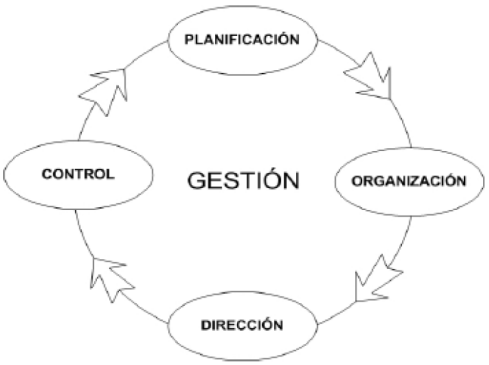

Figura 1.- El ciclo de la gestión. (Fuente: Pellicer y Yepes, 2005)

La utilización de estos cuatro principios clásicos permite la obtención de un diseño óptimo y una documentación adecuada al mismo, cumpliendo los objetivos económicos, temporales y cualitativos previamente establecidos.

Además, de acuerdo con Fernández (en Delgado, 2009) y respecto al cambio climático y a sus impactos, la ingeniería civil juega un papel estratégico de primer orden y no se refiere simplemente a subir los márgenes de seguridad en los diseños de las infraestructuras. Donde realmente la ingeniería civil debe contribuir es en los aspectos de planificación territorial, estrategias de transporte, la logística del mismo y las nuevas tecnologías de energías renovables. Además, según Sánchez (en Delgado, 2009), "los procesos asociados al cambio climático crean un escenario de incertidumbre para la planificación y mantenimiento de nuestras infraestructuras hidráulicas y los Ingenieros de Caminos podemos y debemos liderar ese campo".

Relación entre Gestión y Medio Ambiente

De acuerdo con Ramos (2000), desde el inicio de la era industrial hasta hace pocos años, las sociedades creían a ciegas en la doctrina del crecimiento económico exponencial, que se basaba en las posibilidades ilimitadas de la Tierra para sustentar el crecimiento económico. Pero hoy se sabe que no es capaz de soportar indefinidamente el actual orden económico internacional, que los recursos naturales no son bienes ilimitados y que los residuos sólidos, líquidos o gaseosos de nuestro sistema de vida conllevan un grave riesgo para la salud del planeta, incluido lógicamente el hombre.

Desde la década de 1970 se aceleró la conciencia ecológica y la sociedad comenzó a entender que el origen de los problemas ambientales se encontraba en las estructuras

económicas y productivas de la economía y dado que los principales problemas que aquejan al medio ambiente, tienen su origen en los procesos productivos mal planificados y gestionados, es precisamente mediante la transformación de tales sistemas como se podía acceder a una mejora integral del medio ambiente.

El concepto de gestión ambiental surge precisamente de esta tendencia y se define como un conjunto de técnicas que buscan como propósito fundamental un manejo de los asuntos humanos de forma que sea posible un sistema de vida en armonía con la naturaleza.

Como expresaron hace algún tiempo Edmunds y Letey (1975), "la gestión ambiental pretende reducir al mínimo nuestras intrusiones en los diversos ecosistemas, elevar al máximo las posibilidades de supervivencia de todas las formas de vida, por muy pequeñas e insignificantes que resulten desde nuestro punto de vista, y no por una especie de magnanimidad por las criaturas más débiles, sino por verdadera humildad intelectual, por reconocer que no sabemos realmente lo que la perdida de cualquier especie viviente puede significar para el equilibrio biológico."

La gestión del medio ambiente implica la interrelación con múltiples ciencias, debiendo existir una inter y transdisciplinariedad para poder abordar las problemáticas, ya que la gestión del ambiente, tiene que ver con las ciencias sociales (economía, sociología, geografía, etc.) con el ámbito de las ciencias naturales (geología, biología, química, etc.), con la gestión de empresas, etc.

De acuerdo con Negrão (2004), el principal objetivo de esta clase de gestión, que surge como el elemento fundamental en la búsqueda de la sustentabilidad, es conciliar las actividades humanas y el medioambiente, a través de instrumentos que estimulen y viabilicen esa tarea, la cual implica la modificación del comportamiento del hombre en relación con la naturaleza.

1.2.-Análisis de las series de tiempo

De acuerdo con Terrádez y Juan (2002), una serie de tiempo es una secuencia de observaciones, que están ordenadas en el tiempo (o espacio). El objetivo del análisis de una serie temporal es el conocimiento de su patrón de comportamiento. En general hay dos tipos de datos de series de tiempo: continuos, donde las observaciones se realizan en cada instante de tiempo o bien discretos, donde las observaciones se realizan normalmente en intervalos equiespaciados. También hay dos tipos de series de tiempo: las univariadas son aquellas donde se mide una sola variable, mientras que las múltiples son aquellas en las que se mide de forma simultánea más de una variable. En el caso de este trabajo, los datos son de tipo discreto y las series de tiempo son univariadas.
Por lo general, una serie de tiempo consta de cuatro componentes:

- La componente de tendencia: la tendencia es un movimiento a largo plazo en una serie de tiempo. Es la dirección subyacente (creciente o decreciente) y la

tasa de cambio en una serie de tiempo, permitiendo la existencia de las otras componentes.

- La componente estacional: son fluctuaciones estacionales de periodicidad conocida. Es la componente de variación en una serie de tiempo que depende de la época del año. En ella se describen las fluctuaciones regulares con un período de menos de un año.

- La componente cíclica: las variaciones cíclicas de la naturaleza no estacional, cuya periodicidad es desconocida.

- La componente irregular - residuos (ruido) aleatorios o caóticos que quedan cuando las demás componentes de la serie (tendencia, estacional y cíclica) se han eliminado.

En este trabajo no existe la componente estacional ya que se trabaja a partir de datos anuales (un dato por cada año) y tampoco se estudia el ruido ya que los datos son medias anuales que no dan paso a las componentes irregulares.

Una serie de tiempo observada puede asumirse como la realización de un proceso estocástico[2], dado que no se trata de fenómenos deterministas, sino sujetos a una aleatoriedad. Una vez entendido cómo funciona el proceso, es posible desarrollar un modelo matemático para predecir los valores futuros de la serie de tiempo. Por lo tanto, hay dos objetivos principales de análisis de series temporales: el primero consiste en entender la estructura subyacente de la serie de tiempo, descomponiéndola en sus componentes; el segundo, ajustar un modelo matemático y luego proceder a realizar predicciones el futuro. Este trabajo profundiza en el primer de los objetivos comentados.

Básicamente, existen dos enfoques para el análisis de series temporales, que están asociadas con el dominio del tiempo (es decir, la componente de la tendencia) o con el dominio de la frecuencia (es decir, la componente periódica).
El estudio en el dominio del tiempo representa a las serie de tiempo como una función del tiempo. Su objetivo principal es explorar si la serie de tiempo tiene una tendencia (creciente o decreciente) y si es así, poder ajustarla a un modelo de predicción.
El estudio en el dominio de la frecuencia se basa en el supuesto de que el comportamiento más regular, y por lo tanto predecible, de una serie de tiempo sea periódico. Por lo tanto, el principal objetivo de este enfoque consiste en determinar las componentes periódicas integradas en la serie de tiempo.

En este trabajo se han tenido en cuenta los dos enfoques para poder hacer un estudio de cada serie y posteriormente un análisis de correlación entre las series.

[2] Un proceso estocástico es una colección o familia de variables aleatorias $\{X_t, \text{ con } t \in T\}$, ordenadas según el subíndice *t* que en general se suele identificar con el tiempo. Un proceso estocástico es aquel cuyo comportamiento es no determinista (en un proceso determinista el azar no está involucrado en el desarrollo de los futuros estados del sistema), en la medida que el subsiguiente estado del sistema está determinado tanto por las acciones predecibles del proceso como por elementos aleatorios.

1.3.-Datos

Para la realización de este trabajo se cuenta con las series de tiempo que se especifican a continuación:

- Producción anual de productos agrícolas: rendimiento (en kg/ha) de arroz, cebada, maíz, trigo (1904-2006), patata, viñedos (1929-2006) y alfalfa (1943-2006) en la provincia de Tarragona.

- Precipitación (en mm) y temperatura media del aire (en ºC): Observatorio Ebro (1905-2008).

Los datos de producción de los cultivos agrícolas provienen de la provincia de Tarragona. Por otro lado, los datos de precipitación y de la temperatura del aire se han obtenido del Observatorio Ebro, un Instituto de Recerca fundado en el año 1904.

Según los datos proporcionados por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, los productos agrícolas que se estudian en este proyecto tienen las siguientes características:

Cereales – cebada, maíz y trigo:
Su adaptabilidad a diferentes suelos y condiciones climáticas ha propiciado su uso extendido en países en desarrollo y desarrollados, desempeñando un papel importante en la vida rural.
El sector de los cereales (excluido el arroz), con un valor de producción en 2009, de 3.216 millones de euros, representó en 2009, el 8,6% de la PRA (Producción de la Rama Agraria) y el 14% de la PRV (Producción de la Rama Vegetal) en España.

Arroz:
El arroz (*Oryza sativa* y *Oryzaglaberrima*) es un cereal de primordial importancia para la alimentación humana, a la que se dedica el 95% de la producción, siendo básico en la dieta de más de la mitad de la población mundial, especialmente en países subdesarrollados o en vías de desarrollo. La Unión en su conjunto es deficitaria si bien Italia y España son excedentarias.
El sector del arroz, con un valor de su producción en 2009 de 275 M€, representó en 2009, el 0,73% de la PRA (Producción de la Rama Agraria) y el 1,19% de la PRV (Producción de la Rama Vegetal) en España.

Forrajes desecados – alfalfa:
Los forrajes constituyen una parte importante de la alimentación animal. Forman este grupo de vegetales plantas herbáceas, anuales o plurianuales, gramíneas o leguminosas, cuyo aprovechamiento ganadero se puede realizar directamente mediante pastoreo, o derivando la producción mediante la práctica agrícola de la siega. De entre todas las especies forrajeras cultivadas en España, la alfalfa es la que más importancia superficial, productiva y económica posee.
Las plantas forrajeras aportaron aproximadamente en 2009 el 1,88% a la Producción Agraria y el 3,06% a la Producción Vegetal en España. Según el Anuario de Estadística del MAGRAMA, en 2008 (último año con datos

disponibles), el valor de la producción asciende a 439,698 millones de euros para 11,273 millones de toneladas de alfalfa producidas en verde.

Frutas y hortalizas – patata:
El sector hortofrutícola agrupa a un gran número de productos con modelos de producción muy diversos, desde la producción intensiva de hortícolas de invernadero hasta el secano extensivo de los frutos de cáscara.
El valor de la producción del sector de frutas y hortalizas exclusivamente (sin incluir flores y plantas, uva de vinificación ni aceitunas) se sitúa en 10.000 millones de euros (media 2008 –2013) aportando el 41% de la Producción Vegetal y el 24% de la Producción de la Rama Agraria, lo que le sitúa como el sector más importante en el conjunto del sector agrario

Vitivinicultura – viñedos:
El valor de la producción del sector del vino y mosto, según la 2ª estimación de la Renta Agraria de 2013, ha crecido un 26% respecto al año anterior, ascendiendo a 2.142,8 millones de euros (estimación en valores corrientes a precios básicos), aportando el 8,02% de la Producción Vegetal y casi el 4,8% de la Producción de la Rama Agraria.
En España la superficie plantada de viñedo según datos del Registro Vitícola de cada comunidad autónoma a 31 de julio de 2013 asciende a 957.573 has. La evolución de esta superficie ha sido descendente en los últimos años, si bien en la última campaña se ha invertido la tendencia con un incremento de la superficie plantada en 4.400 has respecto a la superficie de la campaña anterior.

1.4.-Los cultivos en Tarragona

De acuerdo con Margalef (2012), la importancia de la agricultura y su estructura comercial-exportadora era el elemento motor de la actividad productiva de la provincia de Tarragona en el siglo XX.

A principios de los años sesenta, el empleo agrario representaba en España un 40% del total de la población ocupada; en Tarragona, el 46,84%, y al conjunto catalán el 16,44%. La agricultura era el principal sector de empleo en el área y la comercialización de sus productos, el motor que impulsaba el funcionamiento del modelo económico de entonces, ya que la industria tenía una función hasta cierto punto marginal y los servicios también estaban en función de aquella. Pero se encontraron en una situación donde las producciones no aumentaban y los precios no compensaban. Esta situación llevó a una disminución de rentas en el sector que determinó que prácticamente no se crease empleo a lo largo de todo el período, lo que tendría importantes repercusiones sobre el conjunto de la actividad económica. A pesar de las dificultades de aumentar renta, la creencia en las posibilidades de crecimiento económico a través del sector primario fueron una constante, y eso implicó que se plantearan alternativas de cultivos y mejoras en su funcionamiento para superar la situación. Se dieron varios cambios significativos para buscar aumentos de rentas que posibilitaran no sólo unas mejores condiciones de vida a los agricultores sino también la dinamización de la actividad comercial y la transformadora de aquellos productos. De estos intentos y voluntades podemos destacar los siguientes:

- Aumento de hectáreas de arroz, llevado a cabo por la población del Delta produciendo en esa área los mayores incrementos demográficos de la zona.
- Replantación de la viña con pie americano, aunque en un contexto de disminución de las hectáreas de este cultivo, que se iba sustituyendo por el fruto seco y el olivo.

A partir de los años sesenta, los cambios en el empleo sectorial se aceleraron, aumentaron el número de activos con un fuerte descenso de los dedicados a la agricultura y un aumento importante de los dedicados a la industria y principalmente a los servicios y la construcción.

Los dos principales cultivos de la zona a principios del siglo XX eran el olivo y la viña, que representaban el 71,05% del total de las tierras cultivadas. El olivo aumentaba el número de hectáreas hasta 1951 mientras que la viña se estabilizaba en unas 100.000 después de la caída desde principios de siglo hasta 1920. El sembrado disminuía después de la guerra del treinta y seis, en parte como consecuencia del establecimiento de un sistema estatal de distribución del cereal que no hace interesante el cultivo para el consumo local. El almendro, el avellano y el arroz aumentaron la superficie cultivada y pasaron de un 6,63% de principios de siglo en un 15,82% en los años sesenta. El arroz tuvo un aumento constante hasta 1951, con todas las hectáreas concentradas en el Delta de l'Ebre. En todas partes donde fue posible se plantaron estos productos como alternativa al estancamiento de rentas de los más tradicionales.
Otros cultivos fueron las hortalizas, la fruta dulce, los algarrobos y otros cultivos industriales. Las hortalizas y tubérculos (de los cuales el cultivo más importante era la patata) representaron unas 7.580 hectáreas en 1962, utilizadas con varias cosechas.

Las ciudades de Reus y Tortosa eran los grandes núcleos comerciales de la producción agraria de la zona, pero para la exportación de los productos tenía una gran relevancia el puerto de Tarragona, un punto de agrupación de mercancía para exportar, esencial para la actividad comercial de la zona. Era un puerto de carga, y la gran mayoría de productos que salieron eran las exportaciones agrarias. La exportación vinícola generará una significativa dinámica inducida alrededor del puerto, donde se crearon una serie de empresas complementarias al tráfico vinícola (toneleros, carreteros, etc.), y también una concentración comercial muy relacionada en la gestión del tráfico portuario. Pero la exportación será cada vez menos relevante en el comercio del área, lo que tendrá implicaciones en toda esta actividad en torno al puerto, que tendrá una incidencia relativa cada vez menor sobre el total transportado.
Hasta que no se posibilitó el transporte por ferrocarril con el resto del país, exportar los productos agrarios era más fácil que distribuirlos en el mercado interior, que por otra parte tenía excedentes de los principales productos cultivados en la zona, el vino y el aceite, lo que no ofrecía ninguna ventaja comercial.

Según el Censo Agrario (2009), a principios del siglo XXI la provincia de Tarragona constaba de 44.801,43 Ha. de cereales para grano (entre ellos el arroz, la cebada, el maíz y el trigo), 141,09 Ha. de patata, 29.326,16 Ha. de viñedos y 969,39 Ha. de cultivos forrajeros (entre ellos la alfalfa).

1.5.-Objetivos

En primer lugar se hará una recolección y procesamiento de las series temporales que se quiere estudiar, presentadas anteriormente.

A continuación se realiza un análisis de tendencias lineales a cada serie individualmente que consiste en determinar si existe o no existe una tendencia en las señales que se estudian, y en caso que haya tendencia, cuantificar dicha tendencia lineal. Para ello se aplica dos test estadísticos: el método no paramétrico Mann-Kendall y el test no-paramétrico de la pendiente de Sen (Gilbert, 1987). En esta primera parte se obtiene una tendencia lineal para cada señal estudiada.

Después se obtienen las tendencias flexibles de cada una de las series de tiempo. Para ello se utilizan tres técnicas de filtrado distintas que permiten separar componentes específicas de las series de tiempo. Las técnicas de filtrado utilizadas son: el suavizado Gaussiano, el filtro Pasa Banda y el filtro Hodrick-Prescott.

Después de ajustar la ecuación que define la tendencia, el siguiente paso es eliminar la tendencia de la serie de tiempo. Con estos resultados y con un simple método de diferenciación, se extrae la componente cíclica de las señales de tiempo.

También se realiza un análisis espectral de las series de tiempo para obtener los periodos temporales donde se observan mayor presencia de ciclos o la presencia de una tendencia.

Finalmente se hace un análisis de regresión lineal y correlación cruzada entre las señales. El objetivo de estos análisis es determinar si las señales climáticas son variables explicativas del rendimiento de los cultivos. Para eso se utiliza el coeficiente de correlación lineal de Pearson y se aplica el método de la correlación cruzada para determinar si existe alguna relación entre los comportamientos de ambas series en tiempo real o desfasado. La función intercorrelación permite determinar el grado de correlación entre las componentes de las señales (total, temporal o cíclica) teniendo en cuenta los rezagos temporales entre las series de los rendimientos de cultivos y las series climáticas.

En consecuencia se consigue un estudio de las series de tiempo que proporciona un informe con una base sólida e ingenieril de la relación entre el rendimiento de los cultivos de Tarragona y los cambios en los factores climáticos de la zona.

2.- ÁREA DE ESTUDIO

El estudio se acota en la provincia de Tarragona, situada al sur de Cataluña y en la costa mediterránea, tiene una superficie de 6.303 km^2 y una población total de 813.287 habitantes (según un estudio facilitados por IDESCAT de 2012). La provincia está compuesta por 183 municipios distribuidos en 10 comarcas. Los municipios más extensos son Tortosa y Tivisa, superando los 200 kilómetros cuadrados cada uno de ellos.

La capital de esta provincia es la ciudad de Tarragona fundada el año III aC con un importante puerto marítimo y el centro de un gran complejo petroquímico. La situación privilegiada de la ciudad de Tarragona, tanto desde el punto de vista topográfico como estratégico, y la existencia de una pequeña playa en la desembocadura del rio Francolí ha sido la razón para que diferentes poblados se instalasen en la zona a lo largo del tiempo. A finales del siglo XIX tuvieron lugar las realizaciones más importantes en el puerto de Tarragona que contribuyeron a conseguir un puerto artificial y calificado como de primera categoría durante el siglo XX. Estas modificaciones en el puerto de Tarragona en el siglo XIX coincidieron con el aumento considerable del tránsito, sobre todo con la explotación de productos. La pesca ha sido una de las actividades económicas más importantes de la zona tanto por el número de embarcaciones como por el valor de las capturas. A partir de los años sesenta y a consecuencia de la implantación de la industria petroquímica en la zona, el tránsito portuario aumentó notablemente.

Tarragona es la más meridional de las provincias catalanas. Sus playas junto con el río Ebro, son los elementos geográficos que la caracterizan. Los servicios y la industria, basada en la química y la energía, convierten a Tarragona en la capital de la segunda área de desarrollo económico de Cataluña tras Barcelona.

De acuerdo con Barbero *et al.* (2004), a causa de su situación geográfica, la costa mediterránea española está protegida de los típicos sistemas frontales de origen atlántico que cruzan la Península Ibérica. En su lugar, se produce usualmente un efecto *foehn* con vientos cálidos e intensos (ponientes), mientras que las precipitaciones en este área están principalmente asociadas con flujos del Este (Millán *et al.*, 1995).
El clima de Cataluña, a grandes rasgos, viene marcado por la influencia mediterránea que da lugar a una pluviometría irregular y estacional con inviernos húmedos y relativamente suaves en las zonas costeras y los veranos muy calurosos y secos. Los tipos de clima mediterráneo que hay en la provincia de Tarragona son:

- Clima mediterráneo de costa con la característica suavidad del invierno, ya que por un lado muy pocas veces hiela, pasan varios años sin que el termómetro baje de los cero grados, y por otro las temperaturas medias de los meses más fríos del año (diciembre, enero y febrero) son cerca de los 12 °C (en el Delta de l'Ebre). En verano las temperaturas medias se sitúan entre los 24 y 25 °C con fuerte humedad ambiental (bochorno) pero con marinada que hace que la media de las temperaturas máximas no llegue a los 30 °C. Las precipitaciones medias anuales en la zona litoral están cerca de los 480 (en Tarragona). El máximo de lluvias es en otoño con peligro de inundaciones fuertes. La irregularidad de las lluvias es la típica del clima mediterráneo.

- Clima mediterráneo de interior cubre toda la zona de la Depresión Central Catalana, el Priorat, el interior de las Terres de l'Ebre que no tocan a los Puertos de Tortosa-Beseit, sobre todo Tarragona, Conca de Barberà y del Alt Camp. La variación de las temperaturas a lo largo del año es mayor que en la costa. El verano es caluroso con máximas más altas que en la costa pero las mínimas son 7 u 8 grados más bajas y con humedad relativa y por tanto bochorno más baja.

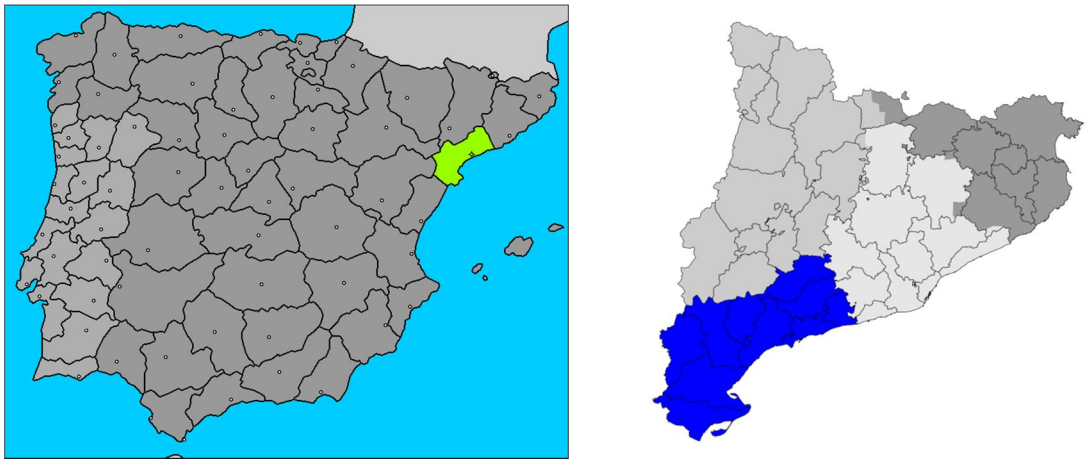

Figura 2.- Localización de la provincia de Tarragona en el mapa de la península ibérica y con más detalle en el mapa de Catalunya

Las reivindicaciones de los regantes de la zona a finales del siglo XIX y la necesidad de proveer agua de refrigeración para las instalaciones petroquímicas en las cercanías de la ciudad de Tarragona durante el siglo XX llevaron a la construcción de embalses y pantanos. Además, la morfología del río Ebro, encajonado entre plataformas tabulares calcáreas, facilitaron las construcciones de muchos de estos pantanos o embalses. Entre ellos se destacan: el pantano de Riba-Roja, un embalse que pertenece a las provincias de Tarragona y Zaragoza en la conca hidrográfica del Ebro, para uso hidroeléctrico, de regadío y consumo, finalizado el año 1969; el pantano del Catllar en las comarcas del Tarragonès y Alt Camp, un embalse que pertenece a la conca hidrográfica del Gaià, para uso hidroeléctrico, de regadío y consumo, finalizado el año 1975; el pantano de Siurana, en la comarca del Priorat y en la conca hidrográfica del Ebro, para regadío y consumo construido durante los años 1968-1973; en la misma comarca y en la misma conca hidrográfica se encuentra el pantano de Guiamets, para uso hidroeléctrico, de regadío y consumo, construido entre los años 1951-1971; el pantano de Riudecanyes en la comarca del Baix Camp y en la conca hidrográfica de la Riera de Riudecanyes, para regadío y consumo, construido entre los años 1904-1918; el pantano de Flix, en la comarca de la Riera d'Ebre, en la conca hidrográfica del Ebro, para uso exclusivamente hidroeléctrico inaugurado el año 1948; y finalmente, el pantano de Margalef, en la comarca del Priorat y en la conca hidrográfica del Ebro, para regadío y consumo, construido el año 1992.

3.- METODOLOGIA

3.1.-Métodos de análisis de tendencia de series de tiempo

3.1.1.- Métodos de análisis de la tendencia lineal

El análisis de la tendencia es un método que consiste en ajustar un modelo de tendencia general a una serie temporal. El objetivo de las técnicas de análisis de tendencias lineales consiste en determinar si existe o no existe una tendencia en las señales que se estudian, y en caso que haya tendencia, cuantificarla. Para obtener toda esta información, se realiza dos tipos de análisis estadísticos. En primer lugar, se prueba la presencia de una tendencia creciente o decreciente con la prueba no paramétrica de Mann-Kendall y, en segundo lugar, se estima la pendiente de la tendencia lineal con el método no paramétrico de Sen (Gilbert, 1987). Esto métodos se utilizan en su forma básica. La prueba de Mann-Kendall es adecuada para casos donde se asume que la tendencia es monótona y, por lo tanto, no hay ciclos estacionales o de otros tipos presentes en los datos. El método de Sen utiliza un modelo lineal para estimar la pendiente de la tendencia y la varianza de los residuales debe ser constante en el tiempo. Estos métodos presentan muchas ventajas, entre los que destaca el hecho de que no se ven afectados por errores de datos individuales o atípicos.

3.1.1.1.- Método Mann-Kendall

El método Mann-Kendall es un método no-paramétrico que se aplica a series de tiempo con datos anuales, es decir, sin variaciones o ciclos estacionales o de cualquier otro tipo, en el que se estima una tendencia lineal (creciente o decreciente). La prueba de Mann-Kendall es adecuada para los casos en que la tendencia se supone monótona. El hecho de trabajar con datos de medias anuales, por lo tanto sin componentes estacionales o ruidos, hace que sea un método adecuado para este trabajo. A partir de este método se obtiene la moda de las variaciones y el valor de los estadísticos.

El test Mann-Kendall es aplicable a casos donde los valores de los datos x_i de una serie de tiempo se ajusten al modelo:

$$x_i = f(t_i) + \varepsilon_i$$

Expresión 1.- Modelo de series de tiempo donde se puede aplicar el test Mann-Kendall

Donde $f(t_i)$ es una función continua y monótona creciente o decreciente en el tiempo y se asume que los residuos ε_i son parte de la misma distribución con una media cero. Por lo tanto, se asume que la varianza de la distribución es constante en el tiempo.

Los test no-paramétricos tienen la ventaja de que su hipótesis nula es sencilla, y por lo tanto más fácil de satisfacer. El objetivo es probar la hipótesis nula de no-tendencia, H_0, es decir, si las x_i observaciones siguen un orden aleatorio en el tiempo, contra la hipótesis alternativa, H_1, donde hay una tendencia monótona creciente o decreciente.

En el cálculo de esta prueba estadística, se utilizan tanto la llamada estadística *S* (Gilbert, 1987) y la aproximación normal (estadística *Z*).

Por un lado, la prueba estadística S corresponde a la siguiente expresión:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^{n} \operatorname{sgn}(x_j - x_k)$$

Expresión 2.- Prueba estadística S

Donde x_j y x_k son los valores anuales de los años *j* y *k* y *j*>*k* respectivamente, y:

$$\operatorname{sgn}(x_j - x_k) = \begin{Bmatrix} 1 & si & x_j - x_k > 0 \\ 0 & si & x_j - x_k = 0 \\ -1 & si & x_j - x_k < 0 \end{Bmatrix}$$

Expresión 3.- Función signo que obtiene el signo de los valores anuales que se toman por entrada

En un cierto nivel de probabilidad, H_0 es rechazada a favor de H_1 si el valor absoluto de *S* es mayor o igual a un valor específico de $S_{\alpha/2}$, donde $S_{\alpha/2}$ es el valor más pequeño de *S* que tiene una probabilidad menor que $\alpha/2$ de aparecer en caso de que no haya tendencia. Un valor positivo o negativo de *S* indica una tendencia creciente o decreciente, respectivamente. El método usa la prueba de dos colas para cuatro niveles de significancia (α = 0.1, 0.05, 0.01, 0.001). El número requerido de datos para alcanzar los niveles de significancia quedan detallados en la tabla 1:

Nivel de significancia α	*n* requeridas
0.1	≥4
0.05	≥5
0.01	≥6
0.001	≥7

Tabla 1.- Número de datos requeridos para alcanzar los niveles de significancia

El nivel de significancia 0.001 significa que hay una probabilidad de 0.1% de que los valores de x_i sean de una distribución aleatoria. Por lo tanto, hay una certeza del 99.9% de que la señal que se estudia tenga una estructura y con esa probabilidad es un error rechazar la hipótesis nula de no tendencia H_0.

Por otro lado, en la prueba estadística *Z* primero se calcula la varianza de *S*, considerando que puede haber datos iguales ("empates") dentro de la serie, con la siguiente ecuación

$$VAR(S) = \frac{1}{18}\left[n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^{q} t_p(t_p - 1)(2t_p + 5) \right]$$

Expresión 4.- Ecuación para calcular la varianza de la prueba estadística S

Donde q es el número de grupos de datos iguales, y t_p es el número de valores en el grupo p-ésimo. Los valores S y $VAR(S)$ se utilizan para calcular el estadístico de prueba Z como se muestra a continuación:

$$Z = \begin{cases} \dfrac{S-1}{\sqrt{VAR(S)}} & si \quad S > 0 \\ 0 & si \quad S = 0 \\ \dfrac{S+1}{\sqrt{VAR(S)}} & si \quad S < 0 \end{cases}$$

Expresión 5.- Cálculo del estadístico de prueba Z

La presencia de una tendencia estadísticamente significativa se evalúa utilizando el valor de Z. Un valor positivo (negativo) indica una tendencia creciente (decreciente). Para probar si hay tendencias monótonas crecientes o decrecientes (una prueba de dos colas) con un nivel de significancia α, H_0 se rechaza si el valor absoluto de Z es mayor que $Z_{1-\alpha/2}$, donde $Z_{1-\alpha/2}$se obtiene de las tablas estándar de la distribución acumulativa.

Para las series temporales con menos de 10 datos se usa la prueba S, mientras que para las series temporales con 10 o más datos, se usa la aproximación normal.

3.1.1.2.- El método o estimación de Sen

Una vez conocidas las tendencias con el método Mann-Kendall, la aplicación del test no-paramétrico de la pendiente de Sen's (Gilbert, 1987) facilita la magnitud de dicha tendencia, obteniéndose así de una rápida y fiable información de la evolución del sistema.

El método de Sen utiliza un modelo lineal para estimar la pendiente de la tendencia y la varianza de los residuos, que debe ser constante en el tiempo. Con él se tratan los valores de los estadísticos para obtener la regresión lineal. Estima la pendiente real de una tendencia lineal existente (como cambios por año). Esto significa que $f(t_i)$ en la expresión 1 es igual a la expresión 6, donde Qt es la pendiente y B es una constante:

$$f(t) = Qt + B$$

Expresión 6.- Modelo lineal utilizado por el método de Sen

Para estimar la pendiente Q_t en la expresión 6 primero se calculan las pendientes de todos los pares de valores:

$$Q_i = \frac{x_j - x_k}{j - k}$$

Expresión 7.- Pendiente de cada uno de los pares de valores

Si hay n valores de x_j en la serie de tiempo, se obtienen $N = n(n-1)/2$ estimaciones de Q_i. El estimador de la pendiente de Sen es la mediana de esos N valores de Q_i. Los N valores de Q_i se clasifican de mayor a menor y el estimador de Sen es:

$$Q = \begin{cases} Q_{[\frac{(N+1)}{2}]} & si \quad N \quad es \quad impar \\ \frac{1}{2}(Q_{[\frac{N}{2}]} + Q_{[\frac{(N+1)}{2}]}) & si \quad N \quad es \quad par \end{cases}$$

Expresión 8.- Estimador de la pendiente de Sen

Estos métodos ofrecen muchas ventajas que los hacen útiles para analizar datos de variables temporales a escala anual. Además, permiten valores faltantes y a los datos no les presupone ninguna distribución particular. Tampoco se ven afectados por errores en los datos o por valores fuera de rango (*outliers*).

Para estudiar la tendencia lineal de una señal también existe el método de la regresión lineal el cual obtiene una recta por mínimos cuadrados. Una desventaja de los modelos de regresión lineal es que no pueden detectar tendencias no lineales, aun cuando sean monótonas. En este caso se ha utilizado el test de Mann-Kendall frente a la pendiente de regresión lineal, ya que es un método más robusto que la regresión lineal para obtener la tendencia lineal de una señal, porque es un método que aporta el nivel de significancia de las señales.

3.1.2.- Métodos de análisis de la tendencia flexible

Estos análisis buscan el ajuste de sensibilidad de la tendencia a las fluctuaciones a corto plazo, de modo que son métodos de descomposición de series de tiempo, de manera que puedan establecerse los ciclos, en tanto "fluctuaciones recurrentes en la actividad real respecto a una tendencia". Buscan distinguir la tendencia del ciclo. En este caso se ha utilizado técnicas de filtrado ya que los filtros separan componentes específicas de una serie de tiempo, como por ejemplo un rango específico de frecuencias.

Si una serie de tiempo es monótona (creciendo o decreciendo consistentemente) y no contiene un ruido considerable, como en es el caso de este trabajo, la tendencia puede ser modelada como una función del tiempo. Sin embargo, si la serie de tiempo contuviera un ruido aleatorio considerable, entonces sería necesario filtrar el ruido antes de la identificación de la tendencia. El filtro más simple y más utilizado es el filtro lineal, que aproxima adecuadamente muchas series de tiempo monótonas. Sin embargo, si claramente existe una componente monótona no-lineal, entonces deben considerarse otras formas de filtrar la serie. En este estudio se han utilizado las siguientes técnicas de filtrado: suavizado Gaussiano, filtro Hodrick Prescott y filtro Pasa Banda ideal.

Después de ajustar la ecuación que define la tendencia, el siguiente paso es eliminar la tendencia de la serie de tiempo. El método empleado en este estudio consiste en restar el valor de la tendencia de los datos originales, lo que da una serie de tiempo con los residuos de la tendencia. Esta opción de diferenciar es atractiva por su simplicidad, y porque desglosa convenientemente la varianza. La serie de residuos tiene las mismas

unidades que la serie original, y la suma total de los cuadrados de los datos originales es igual a la suma de los cuadrados de la tendencia más la suma de los cuadrados de los residuos.

3.1.2.1.- Filtrado por media móvil

Aunque no es un método de filtrado utilizado en este trabajo, es necesario para entender el método del suavizado Gaussiano. De acuerdo con Terrádez y Juan (2002), el método de las medias móviles es un método dinámico que consiste en promediar observaciones consecutivas de una serie para "suavizar" el patrón que siguen los datos y realizar predicciones a corto plazo. Este procedimiento suele emplearse cuando las observaciones no muestran patrones de tendencia o estacionarios, si bien es posible emplearlo también con series que tengan componentes estacionarios o de tendencia.

La media móvil (no ponderada) es el filtro más común para suavizar las series de tiempo, sobretodo porque es el método más fácil de entender y usar para filtrar una serie. A pesar de su simplicidad, el filtrado por media móvil es ideal para reducir el ruido aleatorio, al tiempo que mantiene la tendencia, lo que lo hace el filtro más importante para el análisis del dominio del tiempo. Sin embargo, la media móvil es el peor filtro para el análisis en el dominio de las frecuencias, con poca capacidad para separar una banda de frecuencias de las otras.

Como su nombre indica, opera promediando un cierto número de datos (puntos) de la señal de entrada, es decir, de la serie de tiempo dada, para producir la señal de salida, la serie filtrada. Se expresa en la siguiente expresión:

$$y_t = \sum_{k=0}^{W} b_k x_{t-k}$$

Expresión 9.- Ecuación que define el filtrado por media móvil

La media móvil (no ponderada), con un número relativamente pequeño de elementos (una ventana de tres a cinco datos) tendrá su efecto de suavizado, sin destruir la estacionalidad presente en la serie.

Una media móvil ponderada, con un mayor número de elementos con pesos diseñados para enfatizar los elementos hacia el valor central de la subserie (ponderación), posiblemente podría ser aún más eficiente en la eliminación de la variación irregular, aunque también tiende a destruir la estacionalidad.

3.1.2.2.- Suavizado Gaussiano

Es similar a una media móvil (ponderada), pero es más sofisticado y a menudo da mejores resultados, ya que en el proceso de promediado, se asigna mayor peso a los puntos más cercanos al centro de la ventana de suavizado en comparación con los puntos de los extremos de dicha ventana (a diferencia de la media móvil, que asigna el mismo peso a todos los datos en la ventana de suavizado). En término matemáticos el suavizado Gaussiano es una media móvil ponderada. La distribución de los valores de

los pesos en la ventana de suavizado sigue una forma de distribución Gaussiana. En teoría, el filtro gaussiano debe ser capaz de eliminar mejor el ruido de alta frecuencia distribuido normalmente en los datos, manteniendo la forma de la señal.

3.1.2.3.- Filtro Hodrick Prescott

El filtro Hodrick Prescott (en adelante filtro HP), propuesto por Hodrick & Prescott (1980), es un método flexible usado para separar la componente de la tendencia y dar lugar a componentes cíclicos estacionarios; es decir, suprime la tendencia de la señal. Se utiliza especialmente en gran parte de los estudios sobre ciclos de negocios. Este filtro descompone las series de tiempo en una componente de tendencia y en un componente cíclico. De esta manera es posible utilizar el filtro para estimar la tendencia estocástica de una serie, si existen evidencias de que no la describe correctamente una tendencia determinística.

Suponiendo que la serie original x_t se compone de una componente de tendencia g_t y de una componente cíclica c_t, de tal manera que:

$$x_t = g_t + c_t$$

Expresión 10.- Descomposición de la serie de tiempo original en una componente de tendencia y una componente cíclica por medio del Filtro Hodrick Prescott

El objetivo de la aplicación del filtro de Hodrick-Prescott consiste en separar la componente de la tendencia de los datos, de manera que el residuo pueda ser interpretado como el componente cíclico de la serie.

El filtro HP minimiza la suma de cuadrados de las desviaciones de la tendencia sancionando los cambios en la aceleración de la tendencia de la serie. Así aísla la componente cíclica minimizando el error cuadrático medio:

$$\sum_{t=1}^{T}\left(x_t - g_t\right)^2 + \lambda\sum_{t=2}^{T-1}\left[\left(g_{t+1} - g_t\right) - \left(g_t - g_{t-1}\right)\right]^2$$

Expresión 11.- Problema de error cuadrático medio que se minimiza durante el empleo del filtro Hodrick Prescott

En la expresión 11 el primer término es una medida del ajuste de la serie de tiempo, mientras que el segundo término es una medida del suavizado.

Hay un conflicto entre "bondad de ajuste" y "suavizado". De acuerdo con Segura y Vásquez (2011), el parámetro de castigo, compensación o suavizado es conocido como lambda (λ) y debe ser elegido por el investigador previamente al inicio del procedimiento; lo cual constituye una de las principales críticas que se le han realizado. Se utiliza para realizar el seguimiento de este problema, que controla la variación de aumento dela componente tendencia. El principal problema de este método radica en la arbitrariedad con la que es elegido el parámetro de suavizado. A través de la modificación de este parámetro se puede alterar el equilibrio entre bondad de ajuste y

suavizado. Nótese que si λ es 0, la componente de la tendencia tiende a la serie original, mientras que si $\lambda \to \infty$ (tiende a infinito), la componente de la tendencia se aproxima a una tendencia lineal. Como se puede apreciar, el filtro HP elimina la tendencia de los datos mediante la solución de un problema de mínimos cuadrados. En notación matricial se obtiene:

$$(X-G)'(X-G)+\lambda G'K'KG \to \min_{G \in R^T}$$

Expresión 12.- Notación matricial del problema de mínimos cuadrados que resuelve el filtro de Hodrick Prescott

Donde, $X=(x_1,...,x_T)', G=(g_1,...,g_T)$ y $K=\begin{pmatrix} 1 & -2 & 1 & 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -2 & 1 & 0 & \cdots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -2 & 0 & \cdots & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \cdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \cdots & 1 & -2 & 1 \end{pmatrix}$

Se puede demostrar que la solución del problema de minimización está dada por la expresión 13, donde I_T es la matriz identidad con dimensión T:

$$G=(I_T+\lambda K'K)^{-1}X$$

Expresión 13.- Notación matricial de la solución del problema de minimización

El valor de λ depende de la frecuencia de los datos. De acuerdo con Segura y Vásquez (2011), la escogencia hecha por Hodrick y Prescott sobre este parámetro para datos trimestrales se basó en una consideración *a priori* sobre la variabilidad del componente de tendencia y ciclo de la economía estadounidense. La tabla 2 muestra los valores sugeridos en la literatura para el valor de λ, propuestos por los autores, Hodrick y Prescott (1980):

100	para datos anuales
1600	para datos trimestrales
14400	para datos mensuales

Tabla 2.- Valores propuestos para el valor de λ en el filtro HP (Hodrick y Prescott, 1980).

En este estudio se trabaja con datos anuales, por lo tanto se ha utilizado un valor para el parámetro de ajuste λ igual a 100.

El uso del filtro HP para la estimación del ciclo ha sido sujeto a una profunda discusión académica y estudios sobre las propiedades del filtro como el realizado por King y Rebelo (1993); pero a pesar de ello, su uso es extendido y los analistas han encontrado

uso en los resultados obtenidos, de acuerdo con Baxter y King (1999). Algunas de las criticas entorno de la aplicación del filtro HP son las siguientes: puede dar lugar a ciclos de carácter espurio debido a sus características de ser un filtro con una estructura fija y el hecho de que produce estimaciones imprecisas sobre el final de la muestra.

3.1.2.4.- Filtro Pasa Banda ideal

Como se explica más adelante y de acuerdo con Christiano y Fitzgerald (1999), la teoría del análisis espectral de series de tiempo aporta la idea de la presencia de distintas componentes de frecuencia en los datos y también aporta una herramienta para extraer estas componentes. Esta herramienta es el filtro Pasa Banda ideal. Consiste en una transformación lineal de los datos, que deja intactas las componentes de los datos que están dentro de un rango de frecuencias y elimina las que están fuera. Construye una función de transformación lineal entre la señal de entrada (serie a filtrar) y la señal de salida (serie filtrada) que elimina por completo las frecuencias no deseadas y mantiene incambiado el peso de las frecuencias que pertenecen al rango de interés.

Un inconveniente de este filtro es que se debe precisar una frecuencia de corte adecuada y de que si no se aplican cuidadosamente pueden introducir distorsiones para las dos frecuencias extremas de la banda seleccionada y en frecuencias múltiples del valor de corte. Este método requiere dos parámetros de ajuste; la frecuencia límite superior y la inferior:

- El mínimo periodo de oscilación (p_l) de la componente deseada
- El máximo periodo de oscilación (p_u) de la componente deseada

De tal manera que $2 \leq p_l \leq p_u \leq \infty$; según el Teorema Nyquist-Shannon (formulado por Nyquist el año 1928 y demostrado por Shannon el año 1949) se debe medir por lo menos dos veces una frecuencia para probar su existencia. El ancho de banda de la señal está representado por la diferencia entre estas dos frecuencias límite.

Además, el adjetivo "ideal" refleja una limitación importante, y es que la aplicación del filtro Pasa Banda ideal requeriría de un número infinito de datos. La imposibilidad de tener un número infinito de datos obliga a utilizar aproximaciones del filtro ideal; las distintas maneras de realizar dicha aproximación conforman los diferentes filtros. La aproximación que detallan Christiano y Fitzgerald en su artículo consiste en una aproximación lineal óptima. Para entenderla mejor, se parte de la siguiente terminología: y_t son los datos generados aplicando el filtro pasa banda ideal, pero no factible, a los datos observados originales, x_t. Se aproxima y_t con $\hat{y}_t$, una función lineal o filtro de las muestras originales x_t. Se escogen los pesos del filtro para aproximar al máximo posible $\hat{y}_t$ al objeto de interés y_t, en términos de minimizar el error cuadrático entre las dos componentes, teniendo en cuenta que el operador esperanza es evaluado usando las propiedades de la serie de tiempo x_t:

$$E[(y_t - \widehat{y}_t)^2 | x], \qquad x = [x_1, ..., x_T]$$

Expresión 14.- Expresión para minimizar el error cuadrático entre las dos componentes y_t y $\widehat{y}_t$

De este modo, $\widehat{y}_t$ es la proyección lineal de y_t para cada dato del conjunto x y cada proyección es diferente para cada valor de t. Entonces, es necesario calibrar el filtro de manera correcta para cada una de esas proyecciones.

Para aislar la componente de x_t con períodos de oscilación entre p_l y p_u, Christiano y Fitzgerald recomiendan realizar la aproximación de y_t, $\widehat{y}_t$, de la siguiente manera:

$$\widehat{y}_t = B_0 x_t + B_1 x_{t+1} + ... + B_{T-1-t} x_{T-1} + \widehat{B}_{T-t} x_T + B_1 x_{t-1} + ... + B_{t-2} x_2 + \widehat{B}_{t-1} x_1$$

Expresión 15.- Aproximación de y_t, $\widehat{y}_t$

Para $t = 3, 4, ..., T\text{-}2$.Dónde $B_j = \dfrac{sen(bj) - sen(aj)}{\pi j}, j \geq 1$ y $B_0 = \dfrac{b-a}{\pi}$; con $a = \dfrac{2\pi}{p_u}$ y $b = \dfrac{2\pi}{p_l}$. Y $\widehat{B}_{T-t}, \widehat{B}_{t-1}$ son funciones lineales simples de B_j 's.

Se considera la siguiente descomposición ortogonal del proceso estocástico, x_t:

$$x_t = y_t + \tilde{x}_t$$

Expresión 16.- Descomposición ortogonal del proceso estocástico, x_t

El proceso y_t sólo se ejecuta en las frecuencias comprendidas en el intervalo $\{(a,b) \cup (-b,-a)\} \in (-\pi, \pi)$. El proceso $\tilde{x}_t$ sólo se ejecuta en el complementario de este intervalo, $(-\pi, \pi)$. Aquí, $0 < a \leq b \leq \pi$.

Es bien conocido, por ejemplo, de acuerdo con Sargent (1987), que:

$$y_t = B(L) x_t$$

Expresión 17.- Relación entre los datos originales y los datos obtenidos con el filtro Pasa Banda ideal.

Dónde el filtro Pasa Banda ideal, *B(L)*, tiene la siguiente estructura:

$$B(L) = \sum_{j=-\infty}^{\infty} B_j L^j, \qquad L^l x_t \equiv x_{t-l}$$

Expresión 18.- Función que define el filtro Pasa Banda ideal.

Dónde B_j 's se han definido anteriormente. Teniendo en cuenta estas especificaciones, se tiene:

$$B(e^{-iw})\begin{cases} =1, & for \quad w \in (a,b) \cup (-b,-a) \\ =0, & otherwise \end{cases}$$

Expresión 19.- Función a trozos del filtro Pasa Banda ideal.

En este trabajo se observa que *a>0*, y juntamente con la expresión 19 implica que *B(1)=0*. Se debe tener en cuenta que para computar y_t usando *B(L)* como en la expresión 17, se requiere un infinito número de observaciones de x_t. Además, no está claro que un simple truncamiento de B_j's pueda producir unos buenos resultados.

3.1.3.- Análisis Espectral

De acuerdo con Christiano y Fitzgerald (1999), la teoría del análisis espectral de las series de tiempo aporta unos rigurosos fundamentos para la noción de la existencia de distintas componentes de frecuencia de los datos. El procedimiento de análisis espectral se utiliza para identificar el comportamiento periódico en una serie temporal. En lugar de analizar la variación desde un punto temporal al siguiente, analiza la variación de las series como un todo en componentes periódicos de frecuencias diferentes. Las series suaves tienen componentes periódicos más fuertes a bajas frecuencias; la variación aleatoria ("ruido blanco") dispersa la variación a través de todas las frecuencias.
El análisis espectral permite transformar una serie de tiempo en el dominio de las frecuencias, y luego analizar sus características en este dominio. De este análisis se puede extraer la magnitud (amplitud de las fluctuaciones), la fase, construir representaciones tales como el periodograma y la densidad espectral, y probar si la serie es estacionaria. De la densidad espectral, es posible identificar las componentes estacionales, y decidir hasta qué punto se debería filtrar el ruido de la serie.

La representación espectral de una serie de tiempo (*Xt*), con *t = 1, ..., n*, descompone *Xt* en una suma de componentes sinusoidales con coeficientes aleatorios no correlacionados. A partir de ahí se puede obtener la descomposición de la autocovarianza y las funciones de autocorrelación en sinusoides.

La densidad espectral corresponde a la transformada de una serie temporal continua. Sin embargo, por lo general sólo tienen acceso a un número limitado de datos igualmente espaciados, y por lo tanto, es necesario obtener primero las coordenadas de Fourier discretas (las transformadas coseno y seno), y luego el periodograma. De aquí y utilizando una función de suavizado, se puede obtener una estimación de la densidad espectral que es un mejor estimador del espectro.

3.2.-Análisis de regresión y correlación

La regresión y la correlación son dos técnicas estrechamente relacionadas y comprenden una forma de estimación.

En forma más específica, el análisis de correlación y el de regresión comprenden el análisis de los datos para saber cómo se relacionan entre si dos o más variables en una

población. Concretamente, se investiga la relación entre una o más variables independientes (predictores) y una variable dependiente (variable de respuesta). El análisis de correlación estudia el grado de asociación de dos o más variables; y el análisis de regresión da lugar a una ecuación matemática que describe dicha relación.

Por un lado, el análisis de correlación generalmente resulta útil para un trabajo de exploración cuando un investigador o analista trata de determinar qué variables son potencialmente importantes, el interés radica básicamente en la fuerza de la relación entre variables. El término "correlación" significa relación mutua, ya que indica el grado en el que los valores de una variable se relacionan con los valores de la otra. El análisis de correlación emplea métodos para medir la significación del grado o intensidad de asociación entre dos o más variables. El concepto de correlación está estrechamente vinculado al concepto de regresión, pues, para que una ecuación de regresión sea razonable, los puntos muestrales deben estar ceñidos a la ecuación de regresión. Por otro lado, la regresión da lugar a una ecuación que describe dicha relación en términos matemáticos. El análisis de regresión consiste en emplear métodos que permitan determinar la mejor relación funcional entre dos o más variables concomitantes (o relacionadas).

Los datos necesarios para análisis de regresión y correlación provienen de observaciones de variables relacionadas.

3.2.1.- Coeficiente de correlación lineal

De acuerdo con Vila *et al.* (2003), la correlación lineal se utiliza cuando interesa estudiar si existe o no algún tipo de relación entre dos variables aleatorias. Si en particular interesa cuantificar la intensidad de la relación lineal entre dos variables, el parámetro que indica tal cuantificación es el coeficiente de correlación lineal de Pearson (r), cuyo valor oscila entre -1 y +1 como se observa en la expresión 20:

$$-1 \leq r = \frac{Cov(X,Y)}{s_X s_Y} = \frac{\sum_{t=1}^{n}(X_t - \bar{X})(Y_t - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{t=1}^{n}(X_t - \bar{X})^2}\sqrt{\sum_{t=1}^{n}(Y_t - \bar{Y})^2}} \leq +1$$

Expresión 20.- Definición del coeficiente de correlación lineal de Pearson

El valor de este parámetro se aproxima a +1 cuando la correlación tiende a ser lineal directa (a mayores valores de X significan mayores valores de Y), y se aproxima a -1 cuando la correlación tiende a ser lineal inversa. Es importante notar que la existencia de correlación entre variables no implica causalidad.

Es importante notar que la existencia de correlación entre variables no implica causalidad.

En la figura 3 se muestra un diagrama que resume el análisis del coeficiente de correlación entre dos variables:

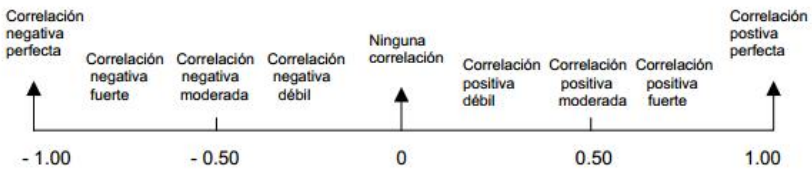

Figura 3.- Valores y significados del coeficiente de correlación. (Fuente: Vila *et al.* (2003)).

3.2.1.1.- Covarianza

Para entender el coeficiente de correlación lineal es necesario hablar de la covarianza, que aparece en la expresión 20. La covarianza es un valor que indica el grado de variación conjunta de dos variables aleatorias. Es el dato básico para determinar si existe una dependencia entre ambas variables y además es el dato necesario para estimar otros parámetros básicos, como el coeficiente de correlación lineal o la recta de regresión.

Cuando a grandes valores de una de las variables suelen corresponderles los grandes de la otra y lo mismo se verifica para los pequeños valores de una y la otra, se corrobora que tienden a mostrar similar comportamiento lo que se refleja en un valor positivo de la covarianza. Por el contrario, cuando a los mayores valores de una variable suelen corresponder en general los menores de la otra, expresando un opuesto comportamiento, la covarianza es negativa.El signo de la covarianza, por lo tanto, expresa la tendencia en la relación lineal entre las variables.

La covarianza entre dos distribuciones conjuntas variables aleatorias reales se define como se muestra en la expresión 21:

$$\sigma(x,y) = E[(x - E[x])(y - E[y])]$$

Expresión 21.- Definición de covarianza entre dos distribuciones conjuntas variables aleatorias reales (x e y)

Donde *E[x]* es el valor esperado de *x*, conocido también como la esperanza de *x*.

Apelando a la propiedad de la esperanza matemática lineal, se puede simplificar como se muestra en la expresión 22:

$$\begin{aligned}\sigma(x,y) &= E[(x - E[x])(y - E[y])] = E[xy - xE[y] - E[x]y + E[x]E[y]] = \\ &= E[xy] - E[x]E[y] - E[x]E[y] + E[x]E[y] = E[xy] - E[x]E[y]\end{aligned}$$

Expresión 22.- Simplificación de la definición de covarianza

El estimador insesgado de la covarianza denotado s_{xy} de dos variables aleatorias *x* e *y* es la que se muestra en la expresión 23:

$$s_{xy} = \frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^{n} (x_i - \overline{x})(y_i - \overline{y})$$

Expresión 23.- Estimador insesgado de la covarianza de dos variables aleatorias x e y

3.2.2.- Modelos de regresión lineal simple

De acuerdo con Vila *et al.* (2003), en aquellos casos en que el coeficiente de correlación lineal sea "cercano" a +1 o a -1, tiene sentido considerar la ecuación de la recta que "mejor se ajuste" a la nube de puntos (recta de mínimos cuadrados). Uno de los principales usos de dicha recta será el de predecir o estimar los valores de *Y* que obtendríamos para distintos valores de *X*. Estos conceptos quedan representados en el diagrama de dispersión.

El análisis de regresión lineal puede utilizarse para explorar y cuantificar la relación entre una variable llamada dependiente o criterio (*Y*) y una o más variables (en el caso de regresión múltiple) llamadas independientes o predictores ($X_1, X_2, \ldots, X_k$), así como para desarrollar una ecuación lineal con fines predictivos.

Cuando la relación funcional entre las variables dependientes (*Y*) e independientes (*X*) es una línea recta, se tiene una regresión lineal simple, dad por la ecuación:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon$$

Expresión 24.- Ecuación de una regresión lineal simple.

La estimación de parámetros consiste en determinar los parámetros β_0 y β_1 a partir de los datos muestrales observados. Además, el análisis de regresión lleva asociados una serie de procedimientos de diagnóstico (análisis de los residuos, puntos de influencia, etc.) que informan sobre la estabilidad e idoneidad del análisis y que proporcionan pistas sobre cómo perfeccionarlo.

Se adapta a una amplia variedad de situaciones. En la investigación social, el análisis de regresión se utiliza para predecir un amplio rango de fenómenos, desde medidas económicas hasta diferentes aspectos del comportamiento humano. En el contexto de la investigación de mercados puede utilizarse para determinar en cuál de los diferentes medios de comunicación puedes resultar más eficaz invertir; o para predecir el número de ventas de un determinado producto.

3.2.3.- Correlación cruzada

Este trabajo estudia la correlación cruzada entre los datos temporales del rendimiento de los cultivos y los datos de los factores climáticos. Pero previamente a la correlación

cruzada (o intercorrelación), es necesario entender la autocorrelación[3], ya que ayudará a entender este proceso de correlación. La correlación cruzada es una medida de similitud entre dos series de tiempo. Matemáticamente hablando, es el coeficiente de correlación lineal entre dos series de tiempo en función del tiempo transcurrido entre las dos series. Considérese la posibilidad de *n* pares de observaciones en dos series de tiempo x_t y y_t. La función de covarianza cruzada viene dada por la fórmula de la expresión 25:

$$\gamma_{xy}(k) = \frac{1}{N}\sum_{t=1}^{N-k}(x_t - \bar{x})(y_{t+k} - \bar{y}) \quad \text{para} \quad k = 1,2,3,\ldots,(N-1)$$

$$\gamma_{yx}(k) = \frac{1}{N}\sum_{t=1-k}^{N}(x_t - \bar{x})(y_{t+k} - \bar{y}) \quad \text{para} \quad k = -1,-2,-3,\ldots,-(N-1)$$

Expresión 25.- Función de covarianza cruzada de *n* pares de observaciones en dos series de tiempo *x* e *y*

Dónde:

$\gamma_{xy}(k)$ es la covarianza cruzada cuando y_t va rezagada de x_t

$\gamma_{yx}(k)$ es la covarianza cruzada cuando x_t va rezagada de y_t

N es la longitud de la serie de tiempo

$\bar{x}$ e $\bar{y}$ son la media de las respectivas series

k es el desfase o retraso

La correlación cruzada es la covarianza cruzada escalada por las varianzas de las dos series.

$$r_{xy}(k) = \frac{\gamma_{xy}(k)}{\sqrt{\gamma_{xx}(0)\gamma_{yy}(0)}}$$

Expresión 26.- Correlación cruzada

Donde $\gamma_{xx}(0)$ y $\gamma_{yy}(0)$ son las varianzas de las series x_t y y_t. La varianza de una variable aleatoria es una medida de dispersión definida como la esperanza del cuadrado de la desviación de dicha variable respecto a su media.

Si se tiene un conjunto de datos de una misma variable, la varianza se calcula de la siguiente forma:

[3]El rasgo más distintivo de una serie de tiempo no aleatoria es que los valores sucesivos no son independientes sino que están relacionados unos con otros, es decir, están correlacionados serialmente o autocorrelacionados.
Aunque la autocorrelación no se emplea en este trabajo, ayudará a entender los procesos realizados. La autocorrelación es una medida de la dependencia de los valores de las series de tiempo en un momento determinado con los valores de la serie en otro momento. Es la correlación de Pearson entre todos los pares de puntos en la serie de tiempo con una separación dada en el tiempo (rezago). Las series de tiempo con una autocorrelación positiva se conocen como persistentes, debido a que valores altos son precedidos por otros valores altos y valores bajos son precedidos por otros valores bajos. Una serie con una autocorrelación negativa se caracterizan por inversiones de valores altos a valores bajos en determinados segmentos sucesivos del tiempo, y viceversa.

$$s_n^2 = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(X_i - \overline{X})^2 = (\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}X_i^2) - \overline{X}^2$$

Expresión 27.- Cálculo de la varianza cuando se tiene un conjunto de datos de una misma variable

Dónde:

X_i: cada dato
n : el número de datos
$\overline{X}$: la media aritmética de los datos

Aplicando este concepto a una variable aleatoria con media $\mu=E[X]$, se define su varianza, *Var(X)*, como:

$$Var(X) = E[(X-\mu)^2]$$

Expresión 28.- Varianza de la variable aleatoria X

Desarrollando la definición de la expresión 28, se obtiene la siguiente definición alternativa (y equivalente) de la expresión 29:

$$Var(X) = E[(X-\mu)^2] = E[(X^2 - 2X\mu + \mu^2)] =$$
$$= E[X^2] - 2\mu E[X] + \mu^2 = E[X^2] - 2\mu^2 + \mu^2 = E[X^2] - \mu^2$$

Expresión 29.- Definición alternativa y equivalente de varianza de la variable aleatoria X

Mientras que la función de autocovarianza y la función de autocorrelación son funciones simétricas (valor en el retraso *k* es igual al valor en el retraso -*k*, la función de covarianza cruzada y la función de correlación cruzada son funciones asimétricas (el valor en el retraso *k* no es igual al de -*k*). La asimetría requiere las dos partes de la expresión 25. La primera parte se aplica a y_t desfasada (*lagging*) x_t, y la segunda parte a x_t desfasada y_t.

4.- RESULTADOS Y DISCUSIONES

En el apartado *4.1.- Análisis de tendencia de cada señal*, cabe destacar que la tendencia flexible obtenida con los tres métodos (suavizado Gaussiano, filtro Hodrick-Prescott y filtro pasa banda) es muy similar y presenta un coeficiente de correlación entre ellas de 0.99 en todas las señales analizadas, a excepción de las precipitaciones, donde la tendencia flexible obtenida con el método Pasa Banda difiere un poco más de las otras dos con un coeficiente de correlación con cada una de ellas de 0.75.
También las componentes cíclicas de cada una de las señales, obtenidas por ambos métodos (filtro pasa banda y Hodrick-Prescott), son muy similares con un coeficiente de correlación entre ellas de 0.98, en todos los casos.
Todo esto se debe al ajuste que se ha realizado en este trabajo. Los métodos de análisis de la tendencia flexible utilizados requieren de unos parámetros de ajuste que condicionan los resultados. El filtro de Hodrick-Prescott sólo tiene un parámetro de ajuste que viene sugerido por el estado del arte y con el cual se obtienen buenos resultados para períodos inferiores a 20 años. Los dos parámetros de ajuste del filtro pasa banda y el parámetro de ajuste del suavizado Gaussiano se han determinado ajustando los resultados a los del filtro de Hodrick-Prescott.

Por esta razón, los análisis espectrales de las componentes cíclicas del apartado *4.2.- Densidades Espectrales* y en los apartados *4.4.- Componentes Cíclicas* y *4.5.-Tendencia de las Señales*, se ha utilizado las señales obtenidas mediante el filtro de Hodrick-Prescott, dado que los resultados no están condicionados por un parámetro aleatorio sino por un valor sugerido.

En el apartado *4.2.- Densidades Espectrales,* con la información proporcionada por los análisis espectrales de cada una de las señales totales se establece un rango de períodos de 0 a 20 años dentro del cual, de forma general, se incluyen todos los comportamientos cíclicos de las señales. Por eso, con la finalidad de analizar de manera razonable y uniforme las correlaciones cruzadas entre las series, en las funciones de intercorrelación de los siguientes apartados se limita el dominio de años desfasados entre las dos señales en un desfase como máximo de 20 años (± 20 años). Además, un desfase mayor daría un resultado poco creíble ya que significaría que los rendimientos de los cultivos responderían después de más de 20 años del registro de las señales climáticas.

En los apartados*4.3.- Señales Totales*, *4.4.- Componentes Cíclicas* y *4.5.-Tendencia de las Señales* se estudia la correlación entre las señales de los cultivos y las señales climáticas mediante los gráficos lineales y la función intercorrelación. Los gráficos lineales junto con el coeficiente de correlación lineal de Pearson no son suficientes para afirmar o rechazar que los cambios en las señales climáticas sirvan para explicar los cambios en los rendimientos de los cultivos. Para completar el estudio se hace la gráfica de la función intercorrelación. Esta función indica los niveles de correlación entre las dos series para diferentes rezagos o desfases de la señal de producción del cultivo con respecto a la señal climática. Un rezago negativo describe la influencia lineal de los valores pasados de la serie de datos climáticos sobre la serie del rendimiento del cultivo. Es decir, un rezago negativo equivale a un adelanto del rendimiento de un cultivo con respecto a una señal climática. En este trabajo se estudia la influencia de la temperatura del aire y la precipitación sobre los rendimientos de los cultivos, por lo tanto interesa la lectura de la función de intercorrelación para los rezagos negativos.

Cabe destacar que en todas las gráficas de las funciones intercorrelación el valor de correlación que pertenece a la situación sin desfase entre las dos señales coincide con el Coeficiente de correlación lineal de Pearson calculado anteriormente entre las dos series.

Además, teniendo en cuenta que los datos cíclicos de las señales se han obtenido mediante la diferencia entre los datos totales y la tendencia de los datos, tal y como se ha explicado anteriormente, se observa que aparecen valores negativos en los gráficos lineales de las componentes cíclicas de los apartados 4.4.-*Componentes Cíclicas* y 4.1.-*Análisis de tendencia de cada señal* a pesar de estar hablando de precipitaciones o temperaturas.

Para los análisis de regresión lineal y correlaciones cruzadas entre señales de los apartados 4.3.-*Señales Totales*, 4.4.-*Componentes Cíclicas* y 4.5.-*Tendencia de las Señales* se ha prescindido de algunos datos de cada serie temporal ya que para estos estudios donde se compara dos señales temporales, las dos series requieren el mismo dominio temporal de estudio, así que se coge el rango temporal que tenga información sobre las dos series. Se trabaja en los siguientes períodos de tiempo:

	Temperatura media del aire	**Precipitaciones**
Arroz	1905-2006	1906-2006
Cebada	1905-2006	1906-2006
Maíz	1905-2006	1906-2006
Trigo	1905-2006	1906-2006
Patata	1929-2006	1929-2006
Viñedos	1929-2006	1929-2006
Alfalfa	1943-2006	1943-2006

Tabla 3.- Períodos de tiempo de cada serie en los que se trabaja en los análisis de regresión lineal y correlaciones cruzadas.

4.1.-Análisis de tendencia de cada señal

En los siguientes gráficos se muestra el resultado obtenido de aplicar la prueba Mann-Kendall, el suavizado gaussiano con un parámetro de ajuste de 5 años, el filtro Pasa Banda con los parámetros de ajuste inferior y superior de 2 y 20 años, respectivamente, y el filtro Hodrick-Prescott con el parámetro de ajuste $\lambda = 100$ como marca el estado del arte. Así, para cada serie temporal estudiada en este trabajo, se ha representado la tendencia lineal y las tendencias flexibles junto a la variable original por un lado, y las componentes cíclicas de la variable original obtenidas con los filtros por otro lado.

En las leyendas de los gráficos, *BP Trend* y *BP Cycle Component* corresponden a las componentes de tendencia y cíclicas, respectivamente, de la serie en cuestión, obtenidas mediante el filtro pasa banda. Por otro lado, *HP Trend* y *HP Cycle Component* corresponden a las componentes de tendencia y cíclicas, respectivamente, obtenidas mediante el filtro de Hodrick-Prescott. *Sens Estimate* corresponde a la tendencia lineal

obtenida con el estimador de Sen. Y, finalmente, *Gauss Filter* corresponde a la componente de tendencia obtenida mediante el suavizado Gaussiano.

4.1.1.- Rendimiento del arroz

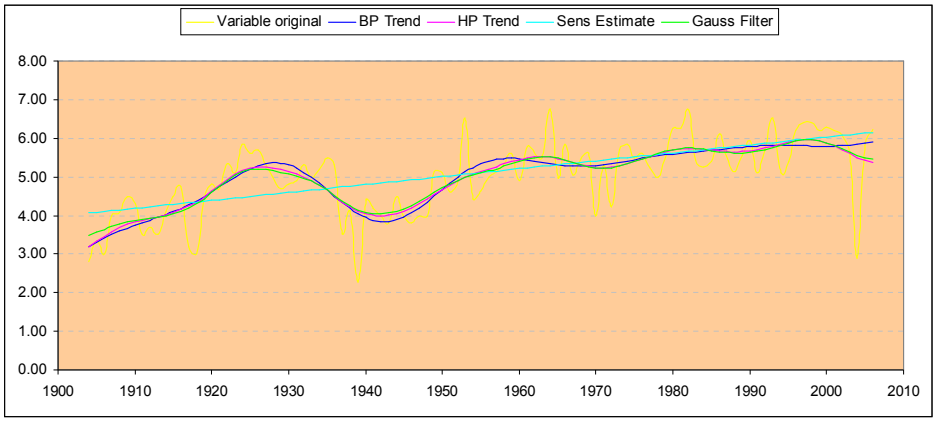

Figura 4.- Tendencias lineal (obtenida por medio de la prueba Mann-Kendall) y flexibles (obtenida por medio del suavizado gaussiano y de los filtros de pasa banda (entre 2 y 20 años) y HP (λ = 100)) del rendimiento de arroz entre 1904 y 2006

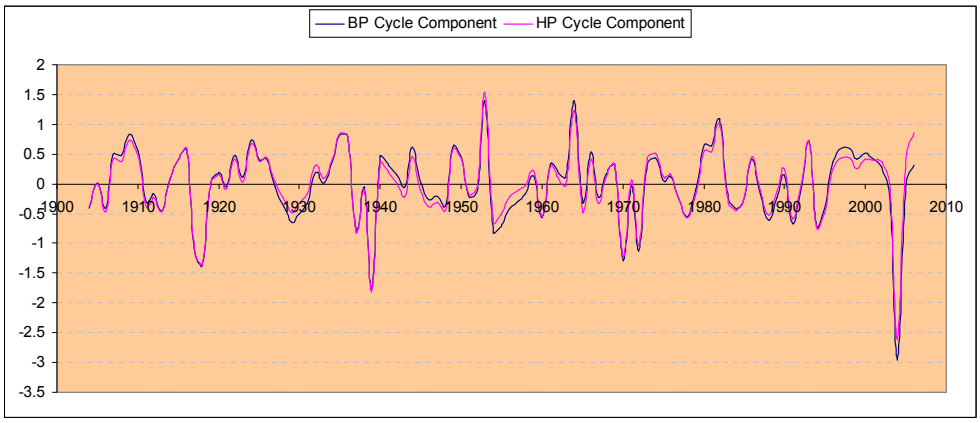

Figura 5.- Componentes cíclicas del rendimiento de arroz obtenida por medio de los filtros de pasa banda (entre 2 y 20 años) y HP (λ = 100).

4.1.2.- Rendimiento de la cebada

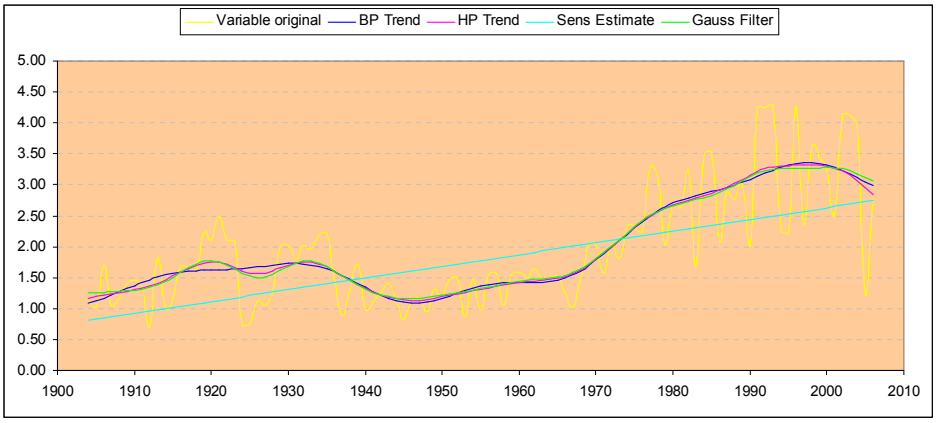

Figura 6.- Tendencias lineal (obtenida por medio de la prueba Mann-Kendall) y flexibles (obtenida por medio del suavizado gaussiano y de los filtros de pasa banda (entre 2 y 20 años) y HP (λ = 100)) del rendimiento de la cebada entre 1904 y 2006

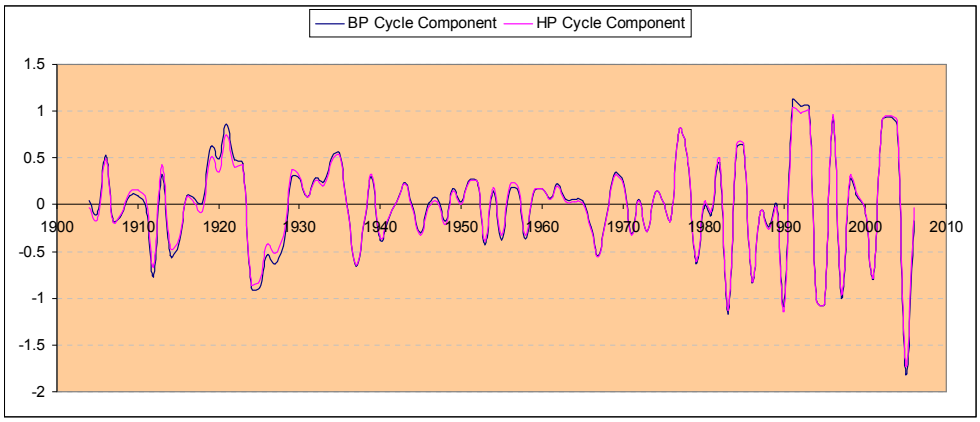

Figura 7.- Componentes cíclicas del rendimiento de la cebada obtenida por medio de los filtros de pasa banda (entre 2 y 20 años) y HP (λ = 100).

4.1.3.- Rendimiento del maíz

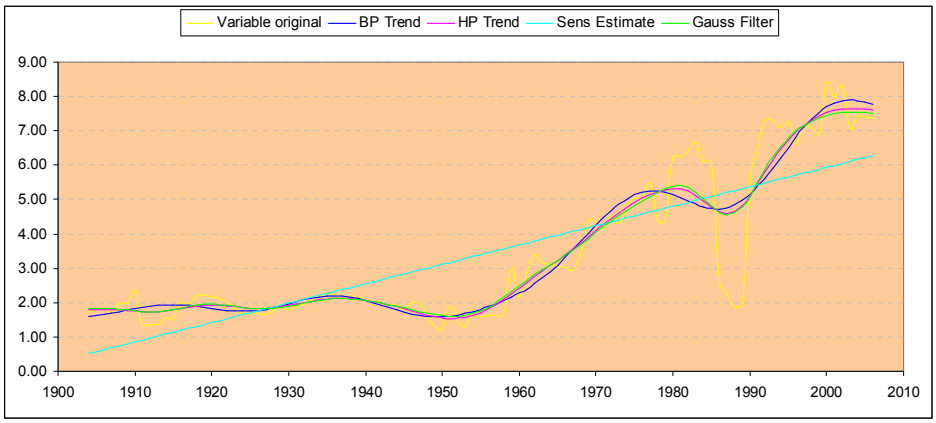

Figura 8.- Tendencias lineal (obtenida por medio de la prueba Mann-Kendall) y flexibles (obtenida por medio del suavizado gaussiano y de los filtros de pasa banda (entre 2 y 20 años) y HP (λ = 100)) del rendimiento del maíz entre 1904 y 2006

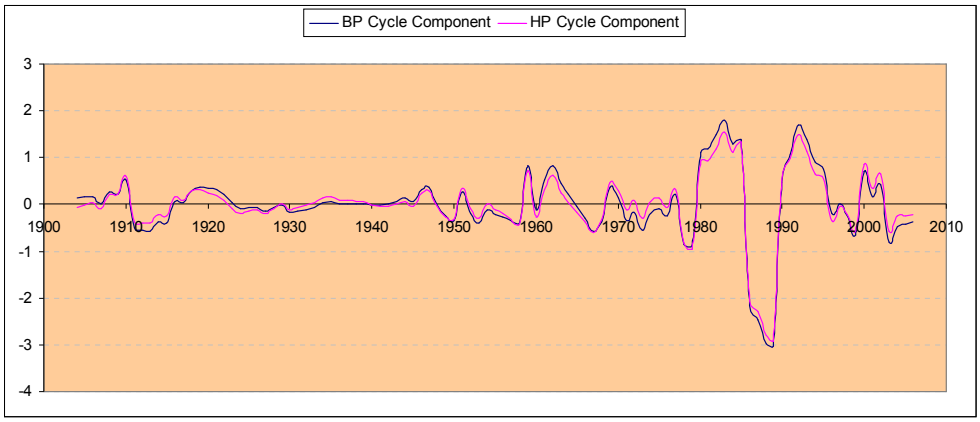

Figura 9.- Componentes cíclicas del rendimiento del maíz obtenida por medio de los filtros de pasa banda (entre 2 y 20 años) y HP (λ = 100).

4.1.4.- Rendimiento del trigo

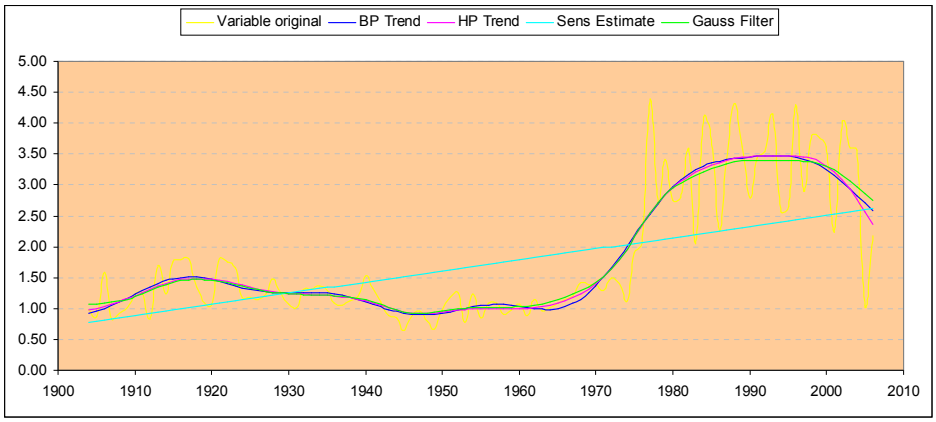

Figura 10.- Tendencias lineal (obtenida por medio de la prueba Mann-Kendall) y flexibles (obtenida por medio del suavizado gaussiano y de los filtros de pasa banda (entre 2 y 20 años) y HP (λ = 100)) del rendimiento del trigo entre 1904 y 2006

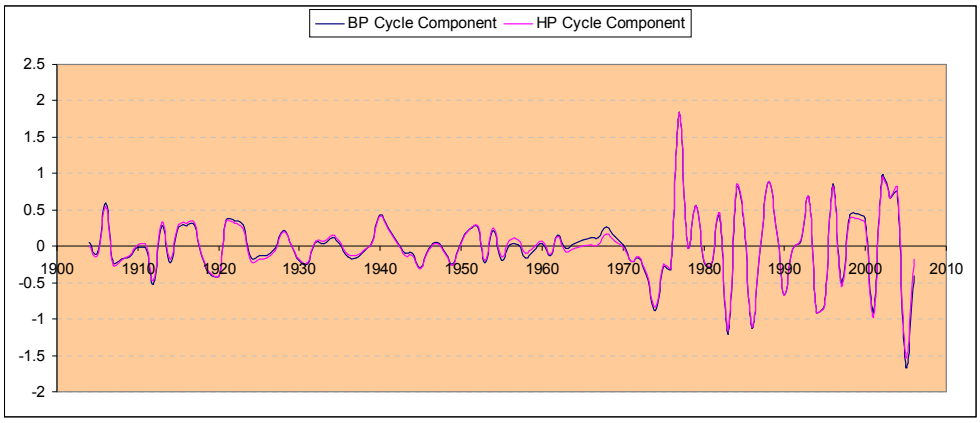

Figura 11.- Componentes cíclicas del rendimiento del trigo obtenida por medio de los filtros de pasa banda (entre 2 y 20 años) y HP (λ = 100).

4.1.5.- Rendimiento de la patata

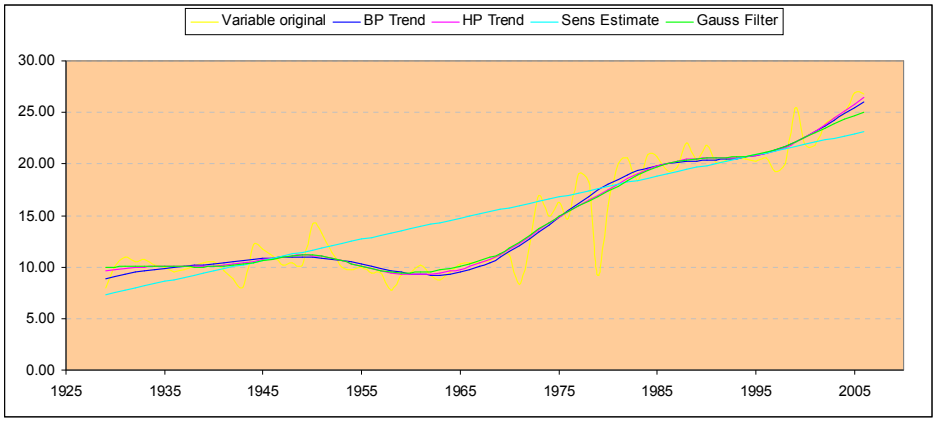

Figura 12.- Tendencias lineal (obtenida por medio de la prueba Mann-Kendall) y flexibles (obtenida por medio del suavizado gaussiano y de los filtros de pasa banda (entre 2 y 20 años) y HP (λ = 100)) del rendimiento de la patata entre 1929 y 2006

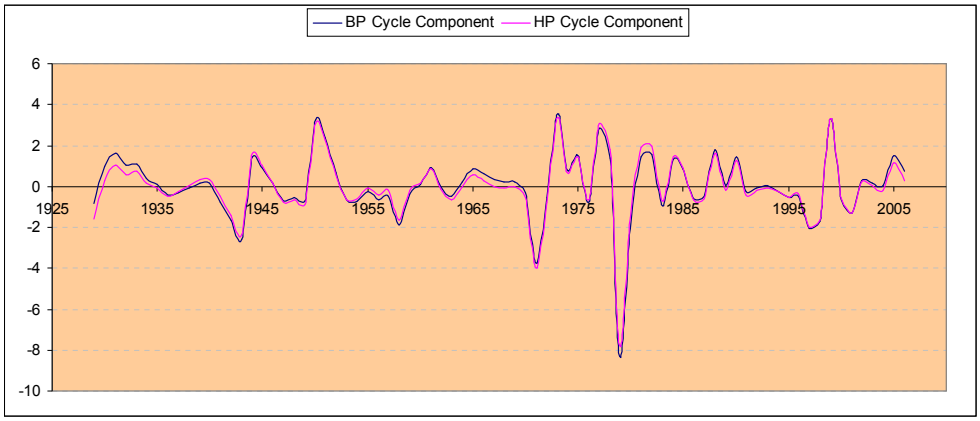

Figura 13.- Componentes cíclicas del rendimiento de la patata obtenida por medio de los filtros de pasa banda (entre 2 y 20 años) y HP (λ = 100).

4.1.6.- Rendimiento de los viñedos

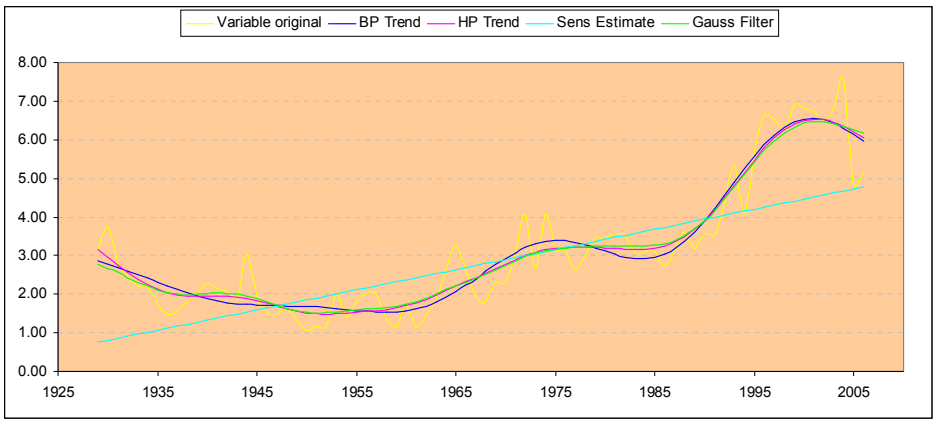

Figura 14.- Tendencias lineal (obtenida por medio de la prueba Mann-Kendall) y flexibles (obtenida por medio del suavizado gaussiano y de los filtros de pasa banda (entre 2 y 20 años) y HP (λ = 100)) del rendimiento de los viñedos entre 1929 y 2006

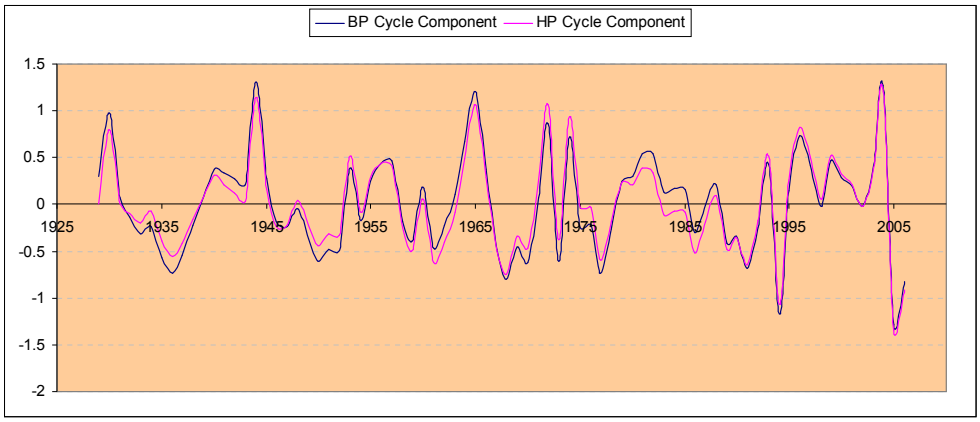

Figura 15.- Componentes cíclicas del rendimiento de los viñedos obtenida por medio de los filtros de pasa banda (entre 2 y 20 años) y HP (λ = 100).

4.1.7.- Rendimiento de la alfalfa

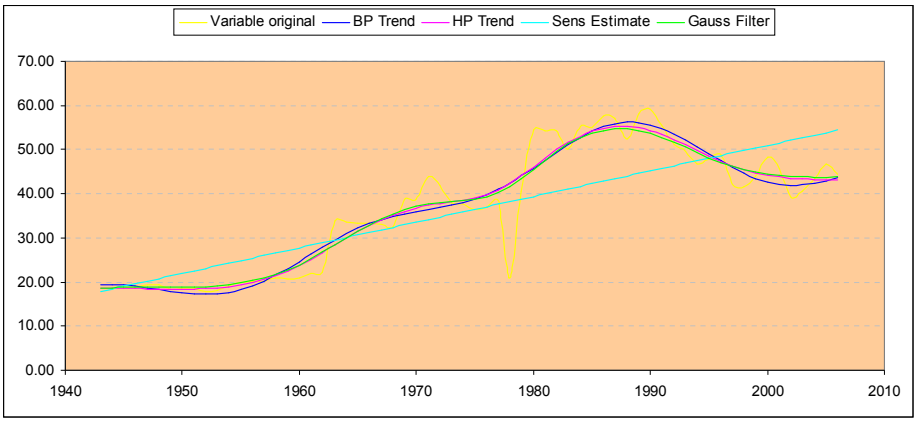

Figura 16.- Tendencias lineal (obtenida por medio de la prueba Mann-Kendall) y flexibles (obtenida por medio del suavizado gaussiano y de los filtros de pasa banda (entre 2 y 20 años) y HP (λ = 100)) del rendimiento de la alfalfa entre 1943 y 2006

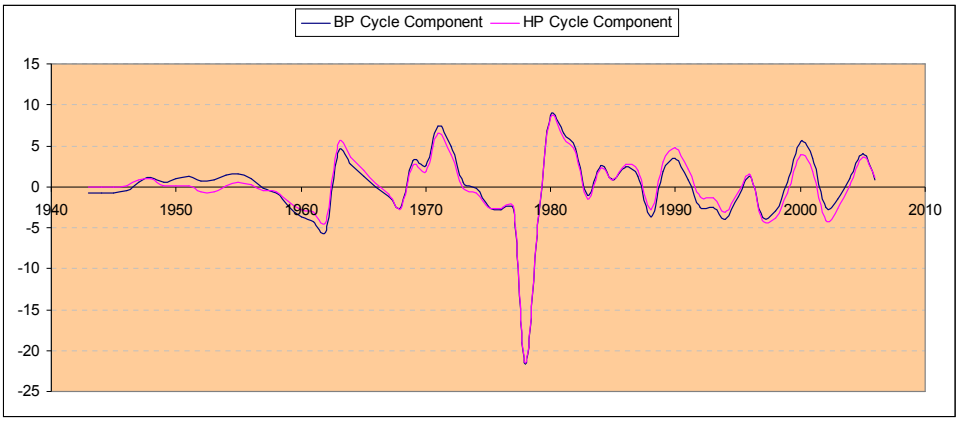

Figura 17.- Componentes cíclicas del rendimiento de la alfalfa obtenida por medio de los filtros de pasa banda (entre 2 y 20 años) y HP (λ = 100).

4.1.8.- Temperatura media del aire

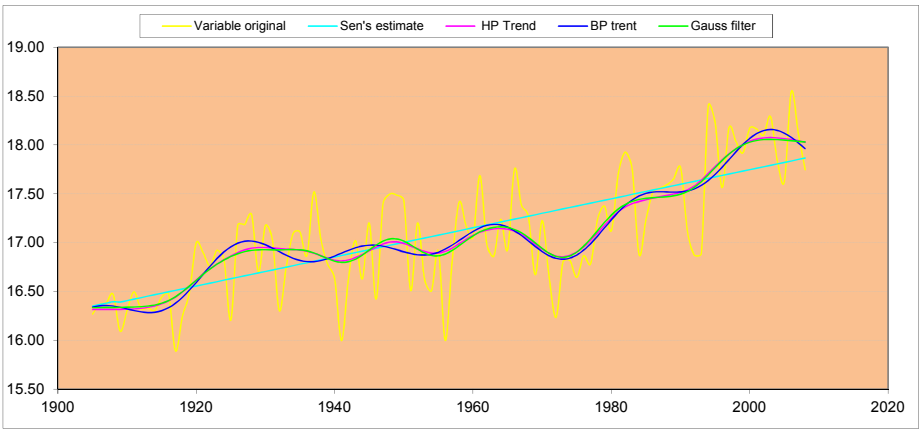

Figura 18.- Tendencias lineal (obtenida por medio de la prueba Mann-Kendall) y flexibles (obtenida por medio del suavizado gaussiano y de los filtros de pasa banda (entre 2 y 18 años) y HP (λ = 100)) de la temperatura del aire entre 1905 y 2008

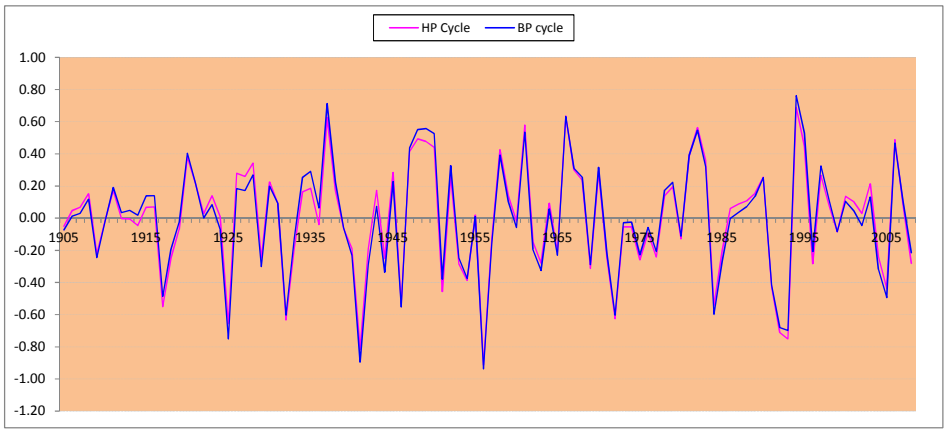

Figura 19.- Componentes cíclicas de la temperatura del aire obtenida por medio de los filtros de pasa banda (entre 2 y 18 años) y HP (λ = 100).

4.1.9.- Precipitación

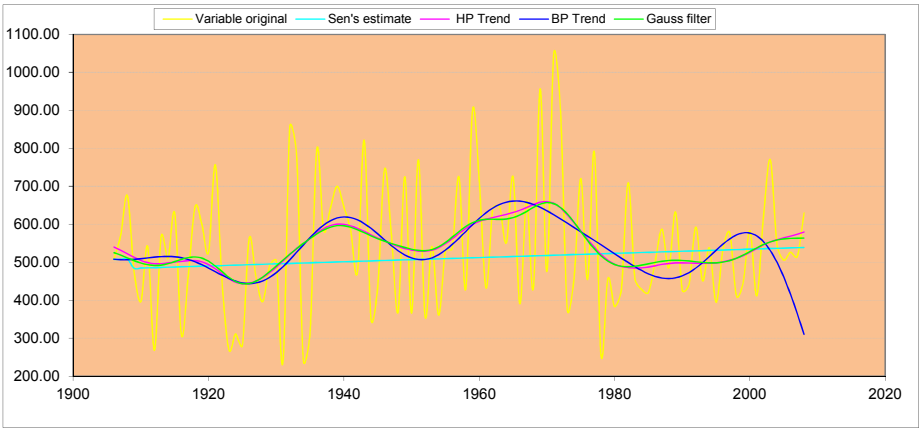

Figura 20.- Tendencias lineal (obtenida por medio de la prueba Mann-Kendall) y flexibles (obtenida por medio del suavizado gaussiano y de los filtros de pasa banda (entre 2 y 20 años) y HP (λ = 100)) de los datos de precipitación entre 1904 y 2006

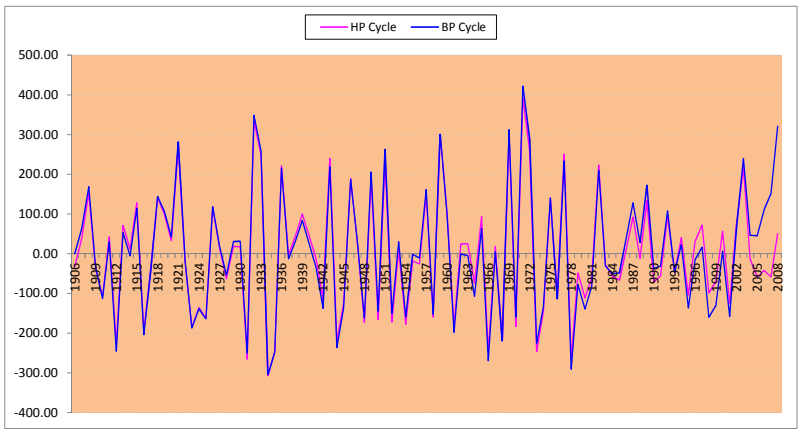

Figura 21.- Componentes cíclicas de los datos de precipitación obtenidas por medio de los filtros de pasa banda (entre 2 y 20 años) y HP (λ = 100).

En la tabla 4, se muestra un resumen de las señales analizadas, con los años que comprende la serie, el valor de la tendencia, el valor del nivel de significancia, la varianza de los ciclos (sin la tendencia) y el rango de datos de la serie. En ella se puede

ver que en todos los casos, el resultado de la tendencia lineal monótona observada es claramente creciente, es decir, los rendimientos de los cultivos y los datos de los factores climáticos aumentan con el tiempo (destacan la alfalfa y las precipitaciones, cuyas tendencias tienen una pendiente de 0.58 y 0.553, respectivamente). El nivel de significancia indica que la tendencia cuantificada encontrada tiene un 99.9% de probabilidades de ser cierta y de que no sea una distribución aleatoria, y con esa probabilidad es un error rechazar la "no tendencia". La varianza[4] de los ciclos y el rango de datos dan una idea de la variabilidad de cada señal.

	Años	Tendencia	Nivel de Significancia	Varianza de los ciclos	Rango de datos
Arroz	1904-2006	0.021	0.001	0.37	2.28-6.75
Cebada	1904-2006	0.019	0.001	0.27	0.69-4.29
Maíz	1904-2006	0.056	0.001	0.52	1.24-8.39
Trigo	1904-2006	0.018	0.001	0.21	0.64-4.38
Patata	1929-2006	0.2	0.001	2.47	7.76-26.95
Viñedos	1929-2006	0.052	0.001	0.26	1.07-7.56
Alfalfa	1943-2006	0.58	0.001	15.7	17.92-59.10
Temperatura del aire	1905-2008	0.0148	0.001	0.12	15.89-18.54
Precipitaciones	1906-2008	0.553	0.001	24286	237.69-1047.2

Tabla 4.- Valores de la tendencia, el nivel de significancia y varianza de los ciclos de los cultivos analizados

En la figura 22 se muestran todos los resultados obtenidos de las tendencias (el promedio de las obtenidas por el filtro de Pasa Banda, Hodrick-Prescott y suavizado Gaussiano). Se ha repartido los cultivos en dos ejes verticales según la magnitud de sus rendimientos. Así, en el eje de la derecha se representa los rendimientos de la patata y la alfalfa; y en el eje de la izquierda se representa los rendimientos del arroz, cebada, maíz, trigo y viñedos.

[4] La varianza de una variable consiste en una media vinculada a su dispersión. Se trata de la esperanza del cuadrado de la desviación de esa variable considerada frente su media y se mide en una unidad diferente. Cabe destacar que las medidas de dispersión (o medidas de variabilidad) se encargan de expresar la variabilidad de una distribución per medio de un número. A mayor valor de la medida de dispersión, mayor variabilidad. En cambio, a menor valor, más homogeneidad.
Así pues, la varianza sirve para identificar a la media de las desviaciones cuadráticas de una variable de carácter aleatorio, considerando el valor medio de ésta.

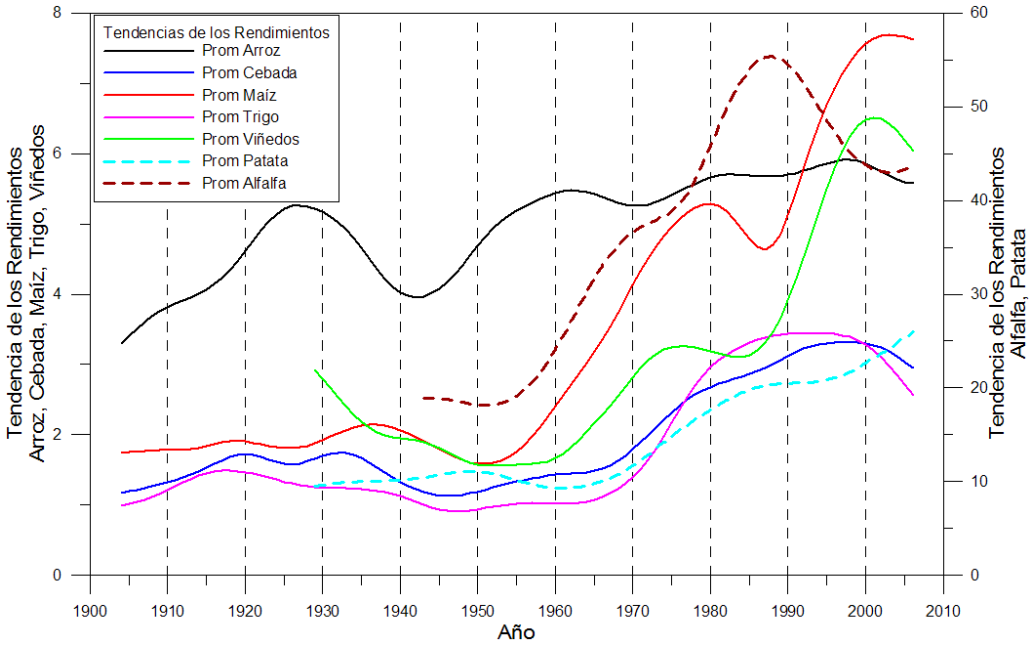

Figura 22.- Tendencias de los rendimientos de los cultivos analizados

Respecto a las series de rendimiento de los cultivos, las tendencias flexibles de las señales muestran "picos" (altas producciones) y "valles" (bajas producciones) relativas a la estimación obtenida de la tendencia lineal. Seguidamente se detalla su comportamiento para cada serie:

- Rendimiento del arroz: en la figura 4 se observa una tendencia lineal cuyos periodos son de entre 15 a 25 años; altas y bajas, respectivamente, alrededor de los años: 1926- 28; 1942, 1959-63, 1968-71. A partir de aquí, la tendencia es muy estable.
- Rendimiento de la cebada: en la figura 6, las tendencias flexibles presenta tres períodos de duraciones de 34, 36 y 32 años respectivamente. Los valores máximos y mínimos observados en estos 3 periodos se dan aproximadamente en los años 1921, 1946 y 1998.
- Rendimiento del maíz: en el resultado de la figura 8, las tendencias flexibles presentan dos comportamientos bien diferenciados. De 1904 hasta 1941, si bien hay cierta variabilidad, no hay una tendencia a aumentar claramente definida. A partir de ahí, hay un aumento en la variabilidad de la serie, una ligera tendencia a disminuir, hasta 1951, donde comienza a aumentar la pendiente de la tendencia ininterrumpidamente hasta 1980-81, donde vuelve a disminuir hasta 1987 y a partir de ahí, aumentar hasta 2003. La mayor variabilidad de la serie se observa a partir del año 1977, donde las fluctuaciones alrededor de la tendencia son mayores, particularmente para los años 1983 (alta) y 1989 (baja).
- Rendimiento del trigo: En el resultado en la figura 10 la serie presenta una variabilidad moderada entre 1904 y 1972, no hay grandes cambios en la tendencia flexible, donde en realidad sólo hay ciclo con un máximo en el rendimiento alrededor de 1917 y un mínimo alrededor de 1964. Es a partir de 1968 donde hay un cambio, tanto en la variabilidad de la serie como en la tendencia: creciente hasta el año 1990, estable hasta 1997 y decreciente hasta el 2006.

- Rendimiento de la patata: entre 1929 y 1968, la serie de la figura 12 es moderadamente variable, con una tendencia que presenta un comportamiento relativamente estable, ya que prácticamente no hay diferencia entre los valores máximo (alrededor de 1949) y mínimo (alrededor de 1962). No obstante, a partir de 1966, la serie presenta una mayor variabilidad, junto con una marcada tendencia a aumentar.
- Rendimiento de los viñedos: la serie de la figura 14 no presenta demasiada variabilidad a lo largo del tiempo, aunque si presenta cambios importantes en la tendencia en determinados periodos de tiempo. Entre 1929 y 1958, la tendencia es decreciente, y a partir de 1960, la tendencia es claramente creciente hasta el año 2001. A partir de ahí, la tendencia es decreciente.
- Rendimiento de la alfalfa: las tendencias flexibles de la figura 16 presentan periodos de entre 19 y 23 años; altas y bajas, respectivamente, alrededor de: 1944-46; 1948-52, 1987-88, 2002-04.

Una vez extraídas las tendencias flexibles de las series se obtienen las respectivas componentes cíclicas. De ellas se saca la siguiente información:

- Rendimiento del arroz: en la figura 5 se observa que periodos de altas y bajas producciones tienen una variabilidad con un periodo menor a 10 años.
- Rendimiento de la cebada: existe una fuerte variabilidad en la serie. A primera vista (figura 7), es difícil obtener una estimación de dicha variabilidad, aunque si es posible notar que hay más diferencia entre valores de altos y bajos rendimientos entre los años 1904-1936 y 1977-2006, que entre 1937-1976, aproximadamente.
- Rendimiento del maíz: los periodos de rendimientos altos y bajos presentan una cierta homogeneidad entre 1922 y 1944, con una variabilidad baja. A partir de entonces, la serie presenta una mayor variabilidad. Tal como se puede observar (figura 9), a partir de 1960, se presentan 3 ciclos con una marcada variabilidad y bastante bien diferenciados de 10 años.
- Rendimiento del trigo: en la figura 11 las componentes cíclicas presentan un comportamiento altamente irregular, con 3 periodos relativamente bien diferenciados. El primero con ciclos 3 a 5 años entre 1904 y 1953, ciclos de 2 años entre 1954 y 1970. A partir de aquí, los ciclos presentan mayor varianza y tienen de nuevo periodos de 3 a 5 años.
- Rendimiento de la patata: en la figura 13 se puede notar que no hay grandes fluctuaciones salvo para alrededor de los años 1971 y 1979, donde se presentan valores especialmente bajos y que los ciclos de altos y bajos rendimientos también son bastante homogéneos.
- Rendimiento de los viñedos: las componentes cíclicas de la figura 15 no presentan fluctuaciones importantes, ya que la mayor parte presenta periodos de entre 4 y 9 años.
- Rendimiento de la alfalfa: en la figura 17 se observa que los periodos de altas y bajas producciones tienen una variabilidad de 5 y 9 años, destacando un rendimiento bastante homogéneo entre 1943 y 1957, y a partir de ahí, se presentan ciclos de 3 a 6 años. Es necesario resaltar el bajo rendimiento alrededor de 1978, seguido de uno de los más altos, alrededor de 1980.

Respeto a las series climáticas, los períodos de las tendencias flexibles de la temperatura del aire se pueden observar en la figura 18 y oscilan generalmente entre 10 y 20 años, aunque se observa un largo período de 60 años (comprendido entre 1949-2008),

combinando altas y bajas (respectivamente, alrededor de 1926-31, 2000-03; 1914, 1952-54, 1973). También, las tendencias flexibles de las precipitaciones de la figura 20 muestran periodos muy variados combinando altas y bajas (respectivamente, alrededor de 1913, 1940, 1964-70, 1999-2007; 1926, 1988). Destaca un período de altas de 50 años entre 1930-77 y por otro lado un período de bajas de 30 años entre 1977-2000. Existe una variabilidad muy fuerte en las dos series climáticas.

Con las componentes cíclicas de la temperatura del aire en la figura 19 y de las precipitaciones en la figura 21, se observa que periodos de altas y bajas temperaturas tienen una variabilidad con un periodo menor a 10 años.

4.2.-Densidades Espectrales

En primer lugar se muestra el análisis espectral de cada una de las señales totales de los rendimientos de los cultivos y los factores climáticos. En ellos se determina el rango de períodos en el que se puede encontrar las fluctuaciones cíclicas y, a su vez, a partir de qué período (en años) aparece una tendencia y ya no se encuentran fluctuaciones.

Con el fin de definir concretamente los periodos de oscilación de estas fluctuaciones, una vez eliminada la tendencia se realiza un análisis espectral de sus componentes cíclicas. En estos se observa qué periodos presentan una mayor densidad espectral. Esto quiere decir que al eliminar la tendencia, las señales presentan ciclos de altas y bajas iguales al valor de los años correspondientes al período con una mayor densidad espectral. Dicho de otra manera, las mayores diferencias en los rendimientos de un cultivo o en los valores de los factores climáticos tienen un periodo característico del valor del año que representa un máximo en el análisis de densidad espectral de la componente cíclica de la señal.

4.2.1.- Rendimiento del arroz

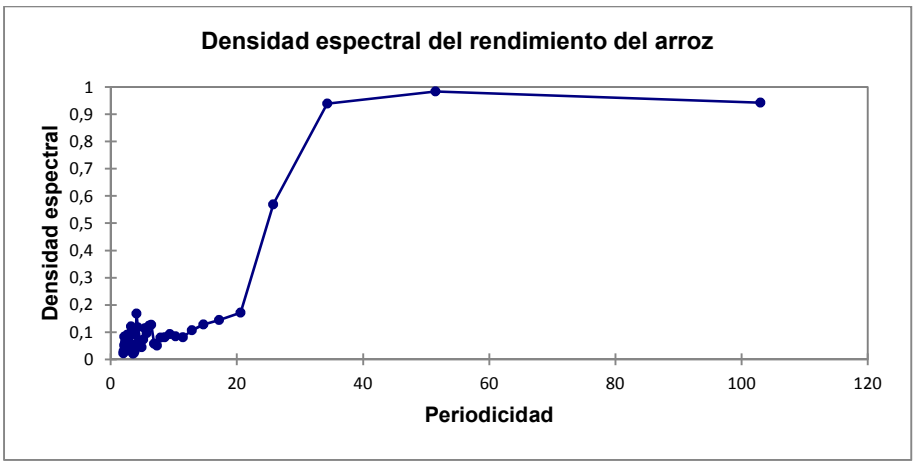

Figura 23.- Análisis espectral de la señal total de la serie temporal del rendimiento de arroz.

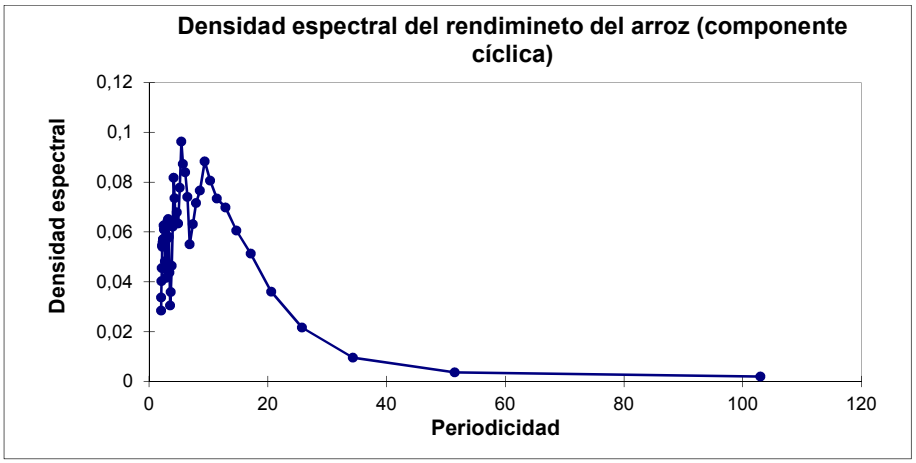

Figura 24.- Diagrama de densidad espectral para el rendimiento de arroz.

4.2.2.- Rendimiento de la cebada

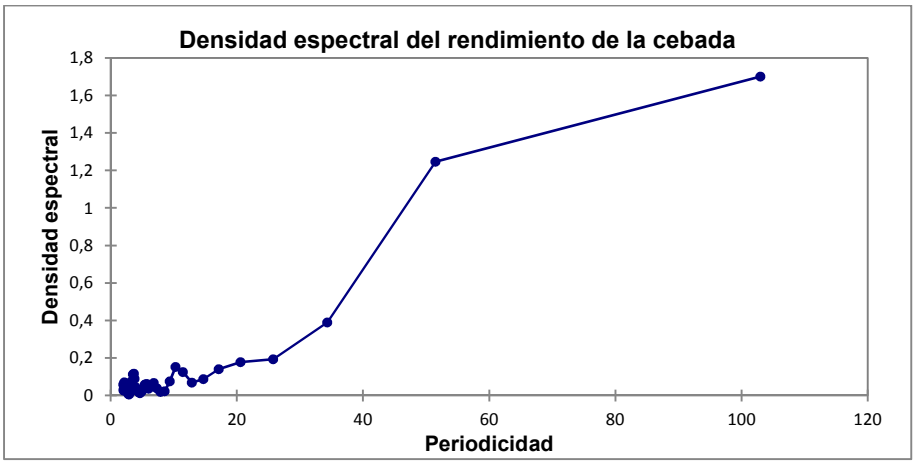

Figura 25.- Análisis espectral de la señal total de la serie temporal del rendimiento de la cebada.

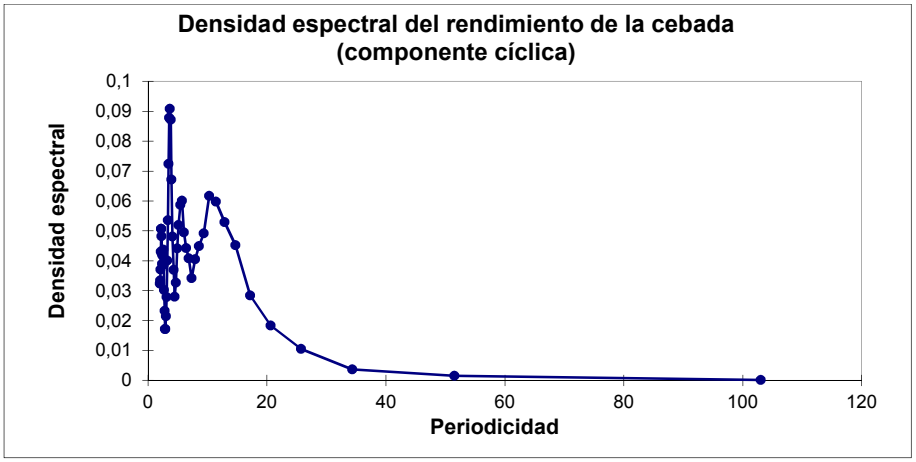

Figura 26.- Diagrama de densidad espectral para el rendimiento de la cebada.

4.2.3.- Rendimiento del maíz

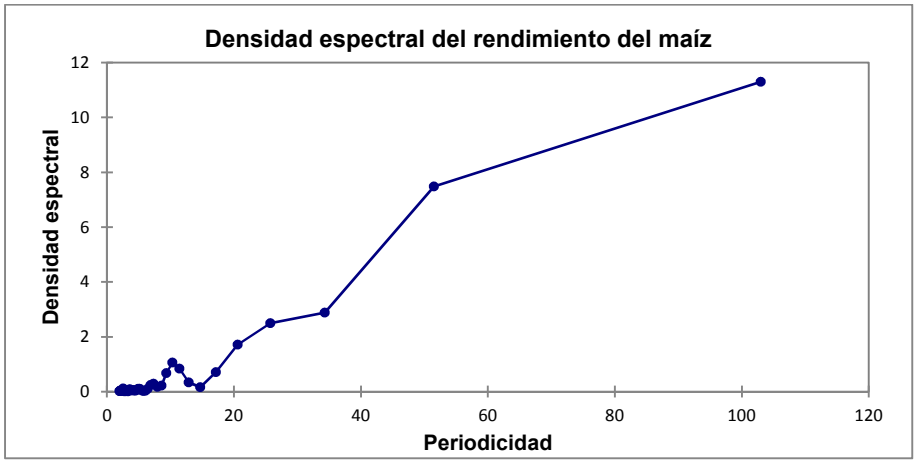

Figura 27.- Análisis espectral de la señal total de la serie temporal del rendimiento de maíz.

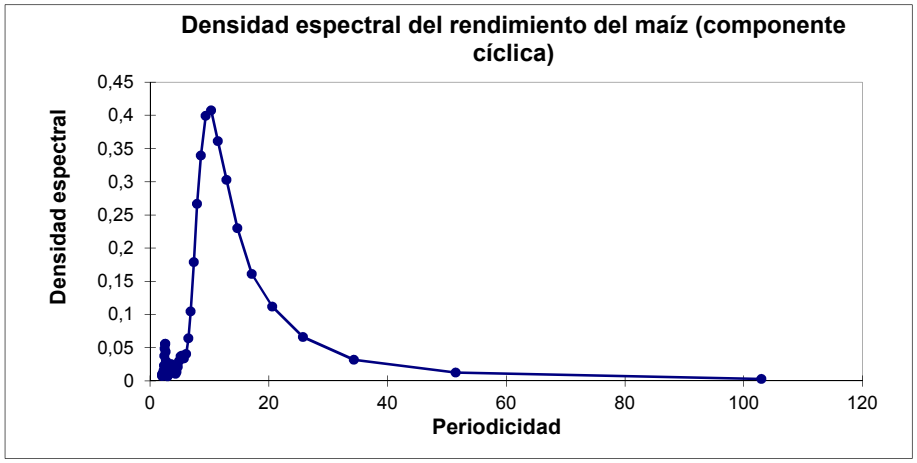

Figura 28.- Diagrama de densidad espectral para el rendimiento del maíz.

4.2.4.- Rendimiento del trigo

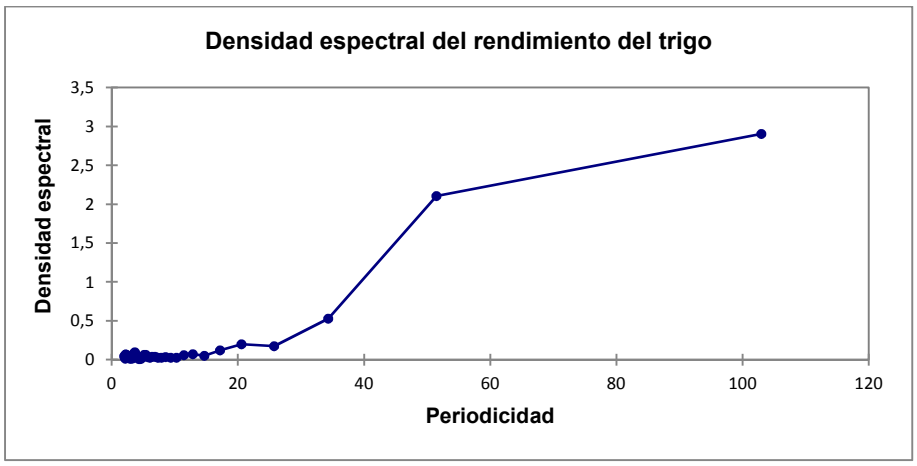

Figura 29.- Análisis espectral de la señal total de la serie temporal del rendimiento de trigo.

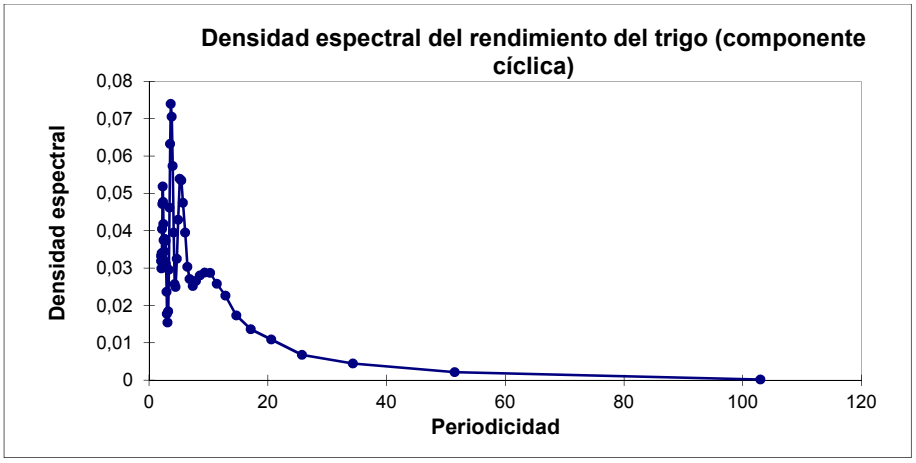

Figura 30.- Diagrama de densidad espectral para el rendimiento del trigo.

4.2.5.- Rendimiento de la patata

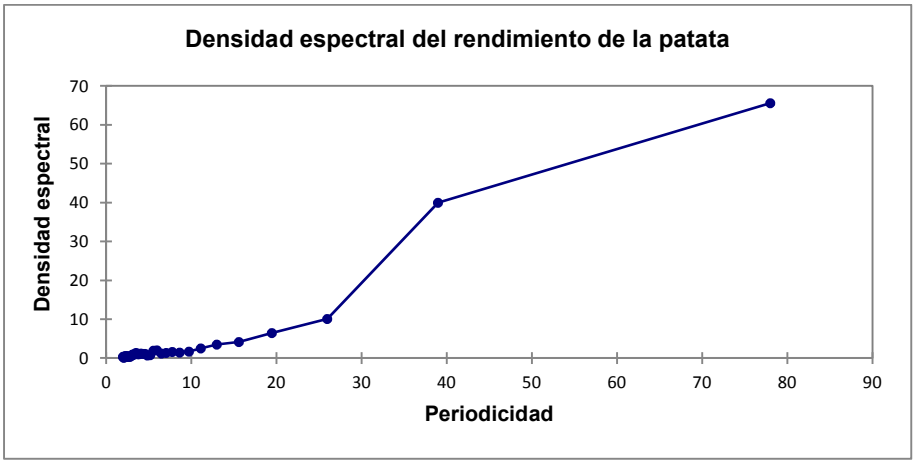

Figura 31.- Análisis espectral de la señal total de la serie temporal del rendimiento de la patata.

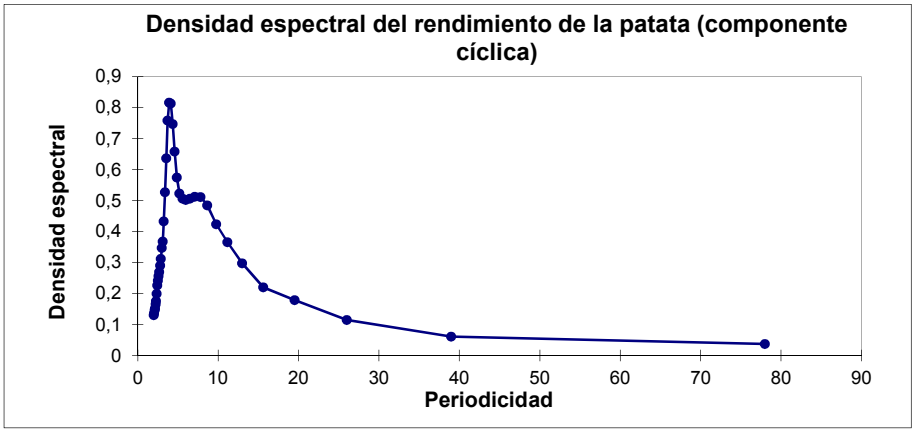

Figura 32.- Diagrama de densidad espectral para el rendimiento de la patata.

4.2.6.- Rendimiento de los viñedos

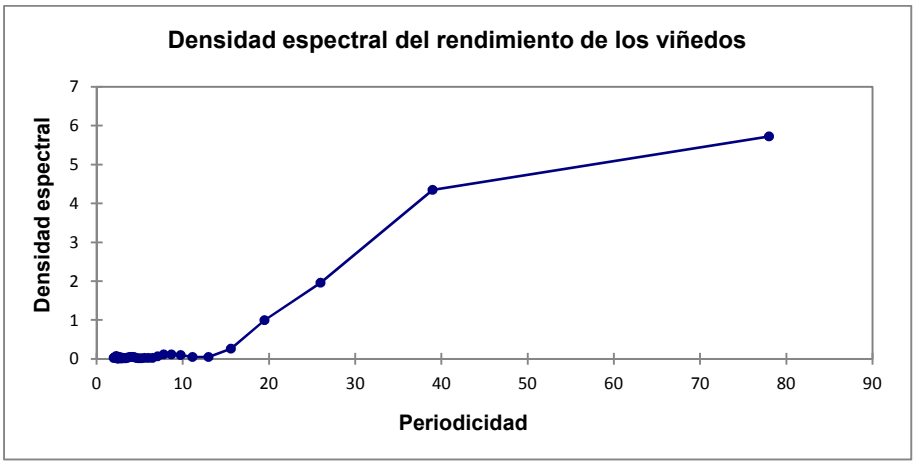

Figura 33.- Análisis espectral de la señal total de la serie temporal del rendimiento de los viñedos.

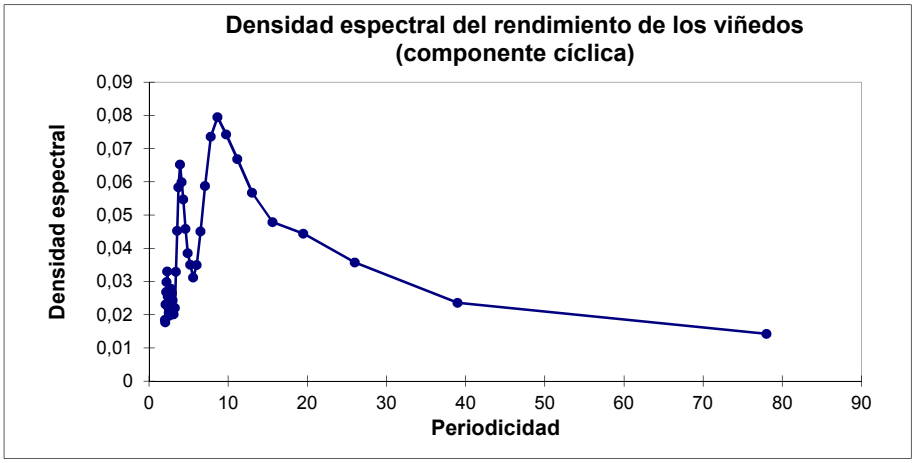

Figura 34.- Diagrama de densidad espectral para el rendimiento de los viñedos.

4.2.7.- Rendimiento de la alfalfa

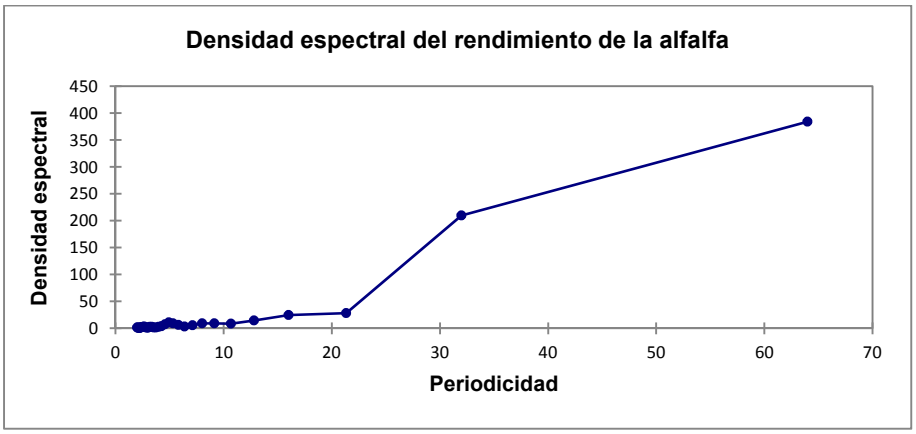

Figura 35.- Análisis espectral de la señal total de la serie temporal del rendimiento de la alfalfa.

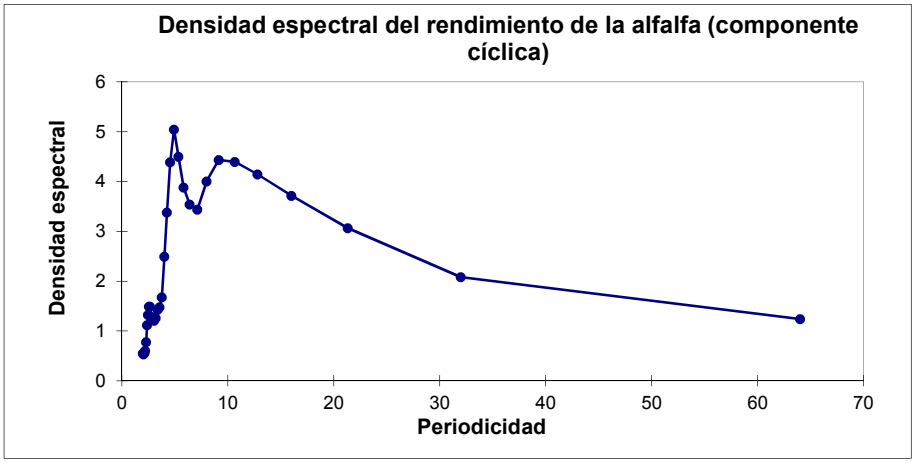

Figura 36.- Diagrama de densidad espectral para el rendimiento de la alfalfa.

4.2.8.- Temperatura media del aire

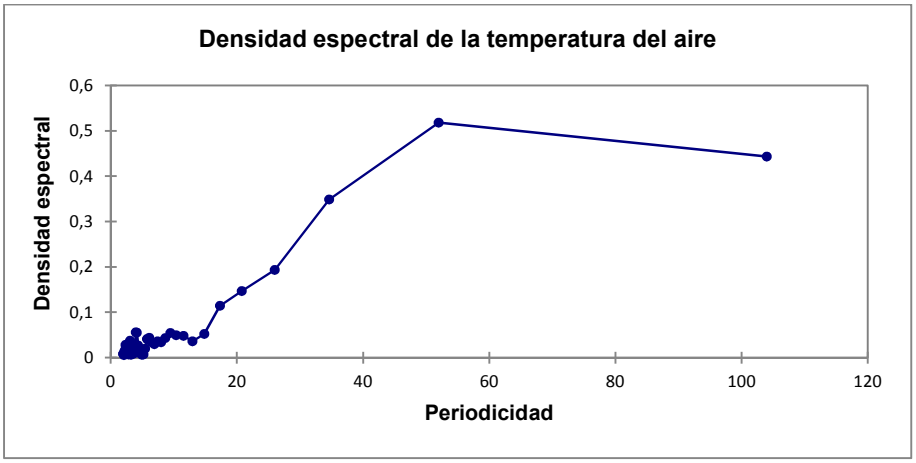

Figura 37.- Análisis espectral de la señal total de la serie temporal de la temperatura del aire.

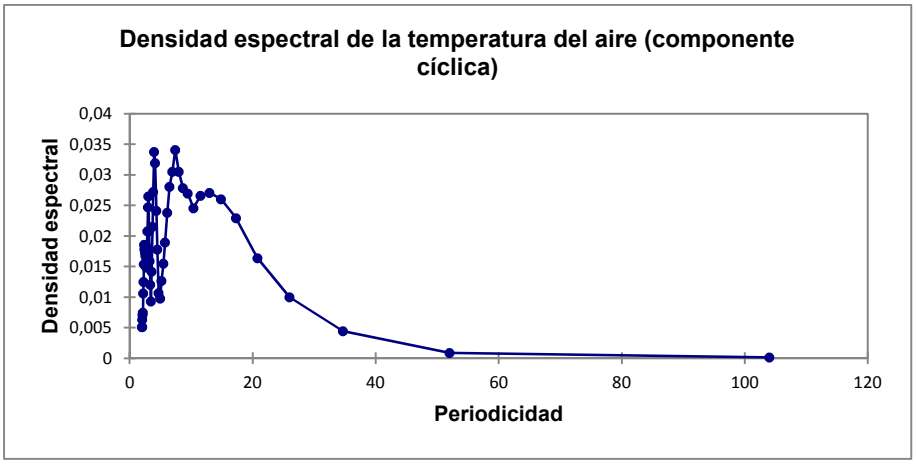

Figura 38.- Diagrama de densidad espectral para los datos de la temperatura del aire.

4.2.9.- Precipitaciones

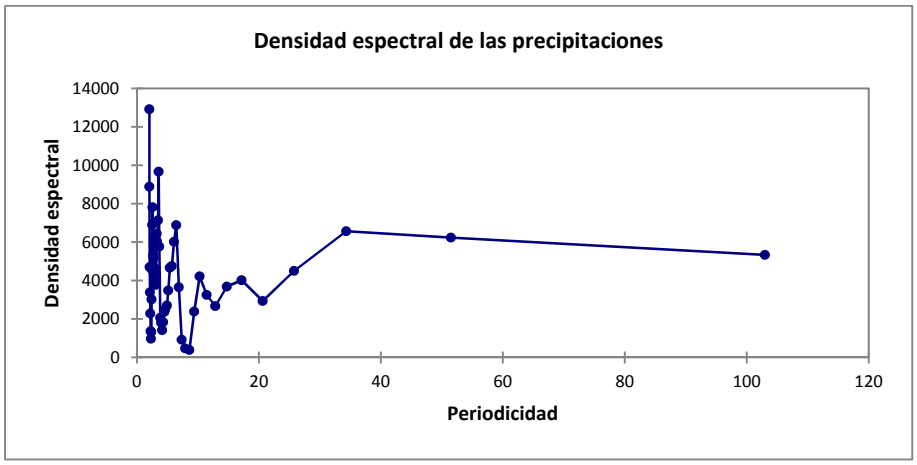

Figura 39.- Análisis espectral de la señal total de la serie temporal de las precipitaciones.

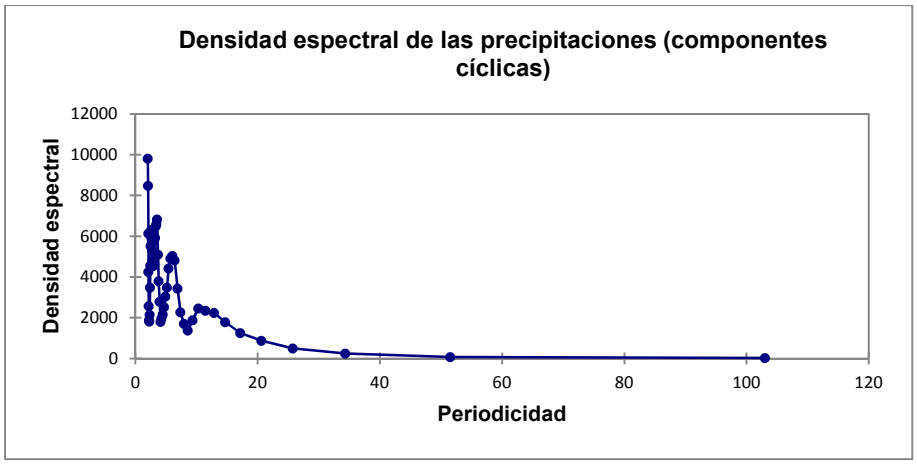

Figura 40.- Diagrama de densidad espectral para los datos de precipitación.

A continuación se resume en la tabla 5 las principales periodicidades obtenidas a partir de los diagramas de densidad.
En las series que se estudian en este trabajo, de forma general aparece una tendencia para periodicidades mayores a 20 años. O dicho de otra forma, en general las fluctuaciones de las señales tiene lugar en períodos inferiores a 20 años.

Además, con en fin de establecer mas concretamente los periodos de oscilación de las fluctuaciones de las series, y con tal de reafirmar los comportamientos observados a simple vista de las componentes cíclicas de las señales explicados en el apartado anterior *4.1.- Análisis de tendencia de cada señal*, seguidamente se interpreta la información aportada por los análisis de densidad espectral:

- Rendimiento del arroz: en la figura 24 se observa que hay dos periodos bien diferenciados de 5 y 9 años que presentan la mayor densida espectral, aunque también hay picos menos evidentes, de 2 y 3 años, es decir, con menor densidad espectral. Esto quiere decir que al eliminar la tendencia, la producción total del arroz presenta ciclos de altas y bajas producciones de 5 y 9 años, donde las

mayores diferencias en los rendimientos tienen un periodo característico de alrededor de 5 años.

- Rendimiento de la cebada: en la figura 26 se obtienen hasta 5 picos,alrededor de 2, 2.5, 3.7, 5.4 y 10.3 años. El periodo mas acusado es el de 3.7, mientras que los de 10.3 y 5.4 tienen una densidad espectral muy similar.
- Rendimiento del maíz: en la figura 28 se observa un máximo para un período de alrededor de 10 años. El otro pico que se observa presenta una menor variabilidad y corresponde a ciclos alrededor de 2.5 años que son los que se observan alrededor de los años entre 1925 y 1945 en el gráfico de la figura 9.
- Rendimiento del trigo: la figura 30 muestra la variabilidad del rendimiento con picos alrededor de 2.5, 3.7 (máximo) y 5 años.
- Rendimiento de la patata: en la figura 32 se pueden distinguir sólo dos picos bien diferenciados alrededor de 4 (máximo) y 7 años.
- Rendimiento de los viñedos: en la figura 34 se observa que solo hay 3 picos bien diferenciados alrededor de 2, 4 y 9 (pico máximo) años.
- Rendimiento de la alfalfa: la figura 36 muestra dos picos bien diferenciados alrededor de 5 y 9 años, donde las diferencias en los rendimientos tienen un periodo característico de 5 años.
- Temperatura media del aire: en la figura 38 se observa que hay dos periodos bien diferenciados alrededor de 4 y 7 años que presentan la mayor densidad espectral con muy poca diferencia entre las dos, aunque también hay picos menos evidentes alrededor de 3.8 y 13 años. Por lo tanto la temperatura del aire presenta ciclos de altas y bajas temperaturas de 4 y 7 años.
- Precipitaciones: en la figura 40 se observa que existe un periodo destacado alrededor de 2 años que presenta la mayor densidad espectral. Por lo tanto, las mayores diferencias en los registros de precipitaciones tienen un periodo característico alrededor de 2 años.

PERIODICIDADES			
DIAGRAMAS DE DENSIDAD ESPECTRAL	Señal total	Componente cíclica de la señal	
	Las fluctuaciones tienen períodos menores a:	Máximo Absoluto	Máximos Relativos de interés
Arroz	17 años	5.4 años	9.4 años
Cebada	25.5 años	3.7 años	10.3 y 5.4 años
Maíz	14.6 años	10.3 años	2.5 años
Trigo	25.5 años	3.7 años	2.5 y 5.4 años
Patata	26 años	4.1 años	7 años
Viñedos	13 años	8.7 años	3.9 y 2.3 años
Alfalfa	21.3 años	4.9 años	9.1 años
Temperatura del aire	13 años	7.43 años	4 años
Precipitaciones	20.6 años	2.02 años	3.55 años

Tabla 5.- Resumen de las periodicidades más importantes obtenidas con los diagramas de densidad espectral.

4.3.-Señales totales

Se estudia las señales totales de dos series temporales (el rendimiento de un cultivo y un factor climático) y su evolución con el tiempo. Con un análisis de correlación se estudia la relación entre las dos variables; para ello se busca el coeficiente de correlación lineal de Pearson. Finalmente, se representa la función intercorrelación entre ambas señales totales para estudiar si hay desfase entre las señales.
Se estudia la relación entre cada uno de los cultivos y los dos factores climáticos analizados en este trabajo.

4.3.1.- Rendimiento del arroz

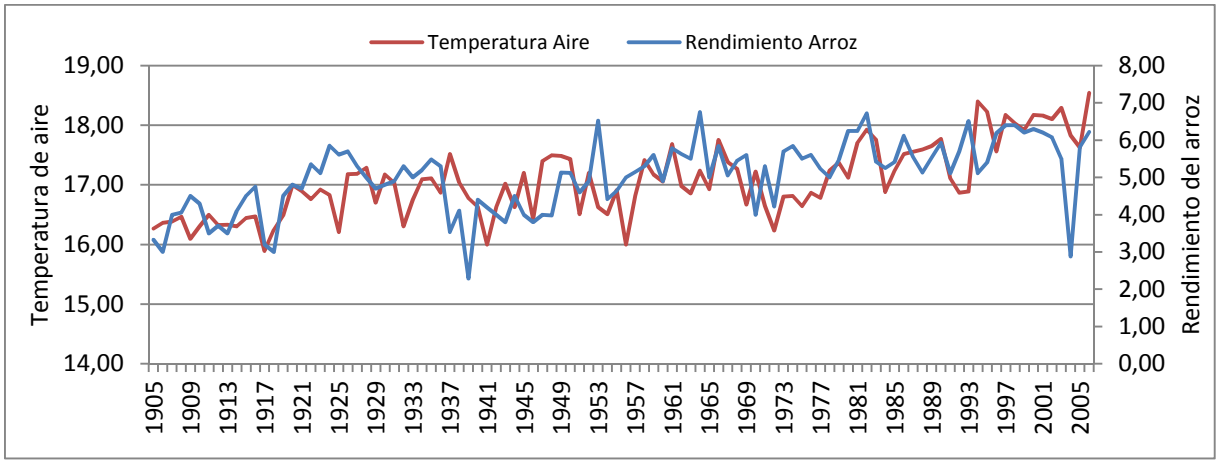

Figura 41.- Gráfico lineal de las señales totales de las series temporales correspondientes al rendimiento del arroz y la temperatura del aire entre los años 1905 y 2006.

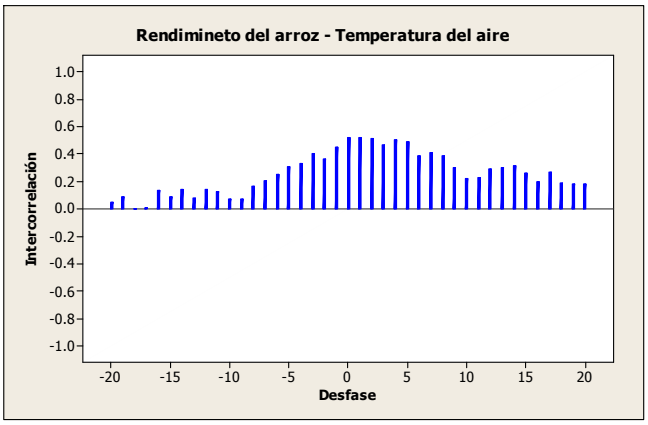

Figura 42.- Función de intercorrelación para la series temporales totales del rendimiento del arroz y la temperatura del aire con un desfase de ±20 años.

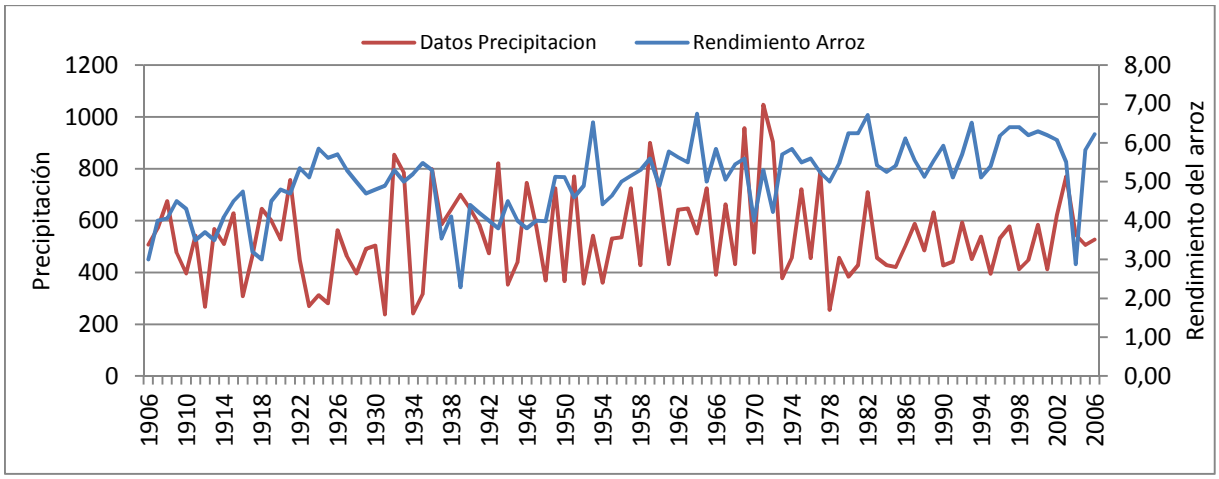

Figura 43.- Gráfico lineal de las señales totales de las series temporales correspondientes al rendimiento del arroz y los datos de precipitación entre los años 1906 y 2006.

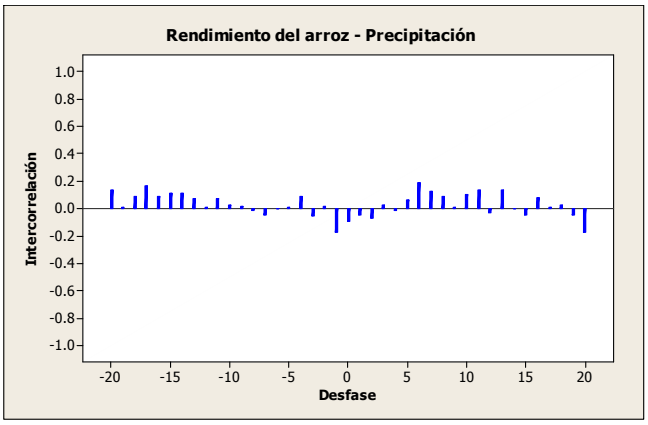

Figura 44.- Función de intercorrelación para la series temporales totales del rendimiento del arroz y la precipitación con un desfase de ±20 años.

4.3.2.- Rendimiento de la cebada

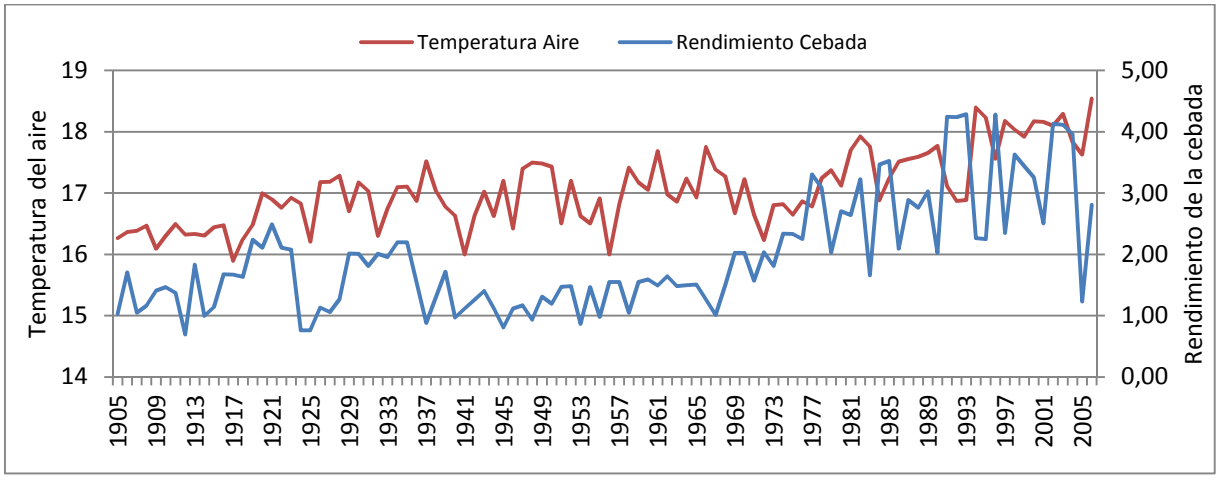

Figura 45.- Gráfico lineal de las señales totales de las series temporales correspondientes al rendimiento de la cebada y la temperatura del aire entre los años 1905 y 2006.

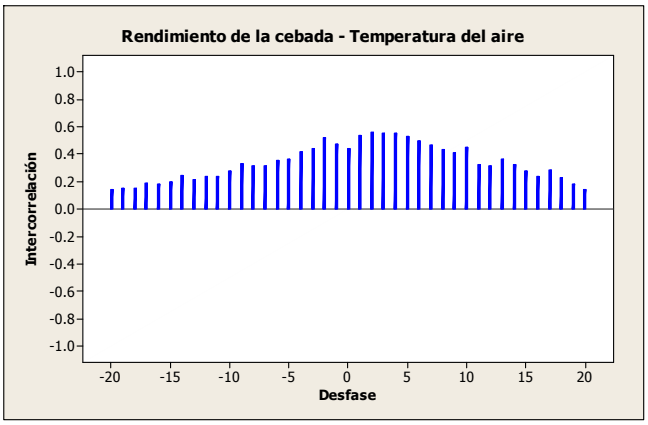

Figura 46.- Función de intercorrelación para la series temporales totales del rendimiento de la cebada y la temperatura del aire con un desfase de ±20 años.

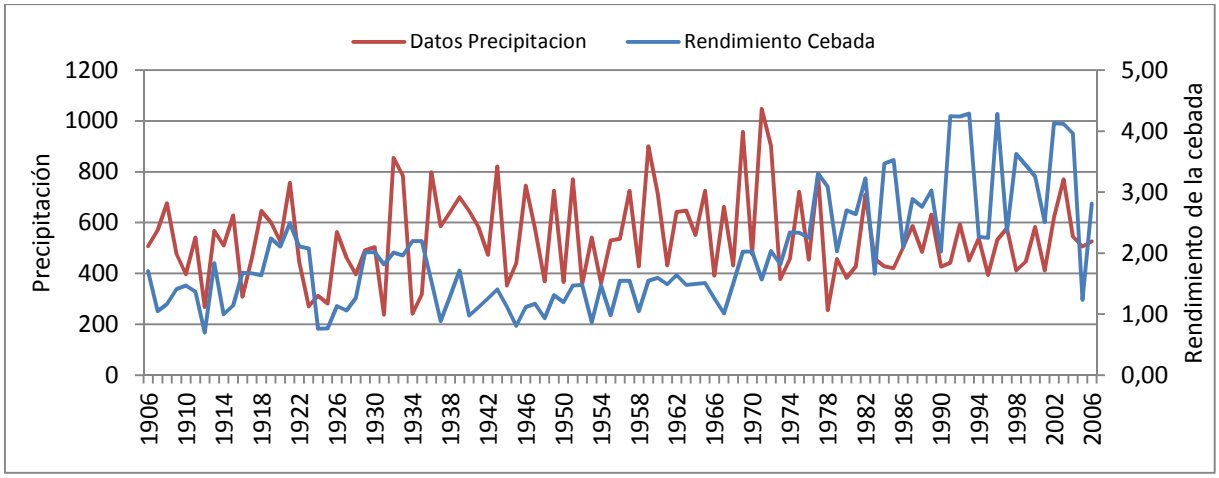

Figura 47.- Gráfico lineal de las señales totales de las series temporales correspondientes al rendimiento de cebada y los datos de precipitación entre los años 1906 y 2006.

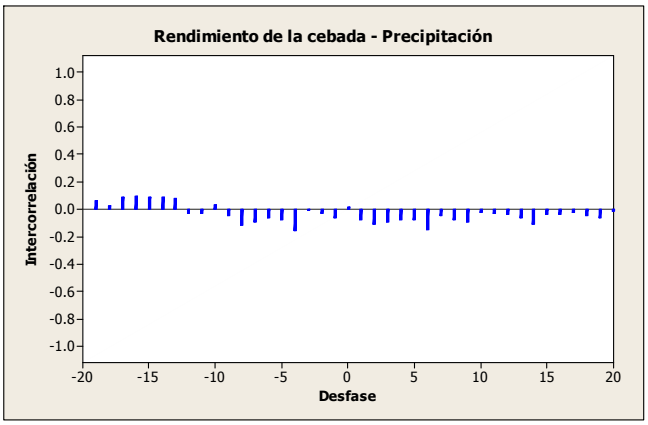

Figura 48.- Función de intercorrelación para la series temporales totales del rendimiento de la cebada y la precipitación con un desfase de ±20 años.

4.3.3.- Rendimiento del maíz

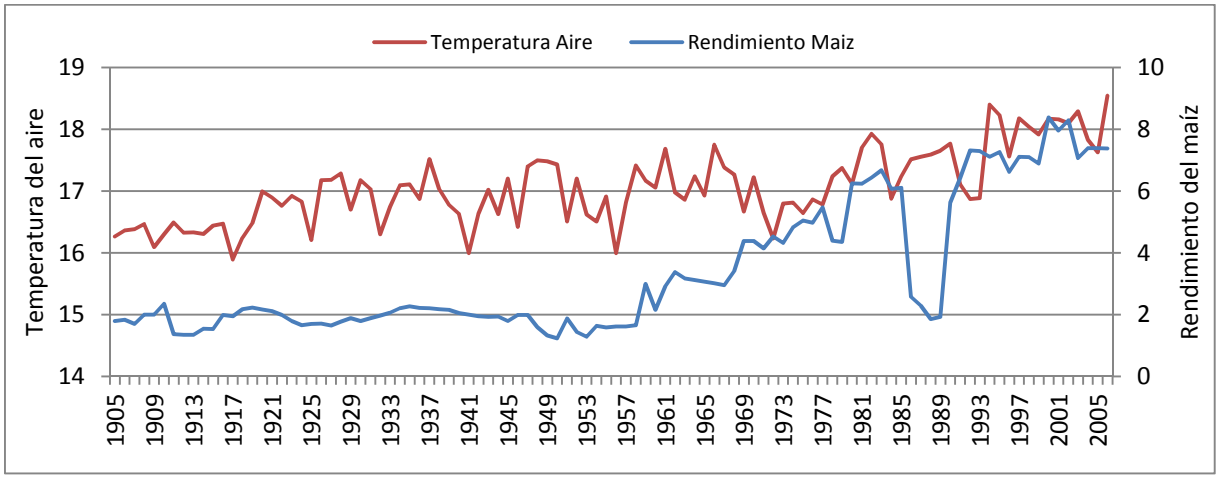

Figura49.- Gráfico lineal de las señales totales de las series temporales correspondientes al rendimiento del maíz y la temperatura del aire entre los años 1905 y 2006.

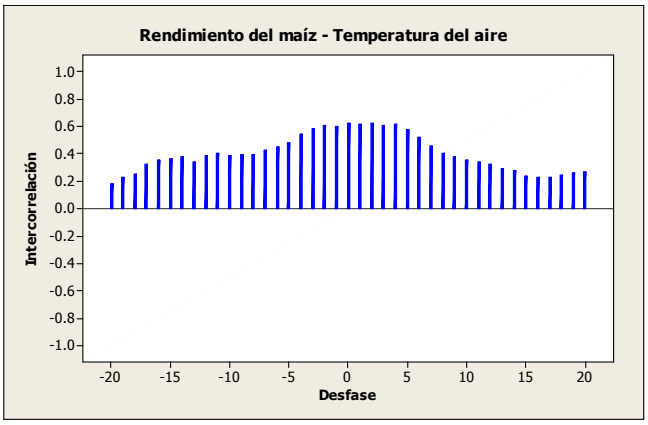

Figura 50.- Función de intercorrelación para la series temporales totales del rendimiento del maíz y la temperatura del aire con un desfase de ±20 años.

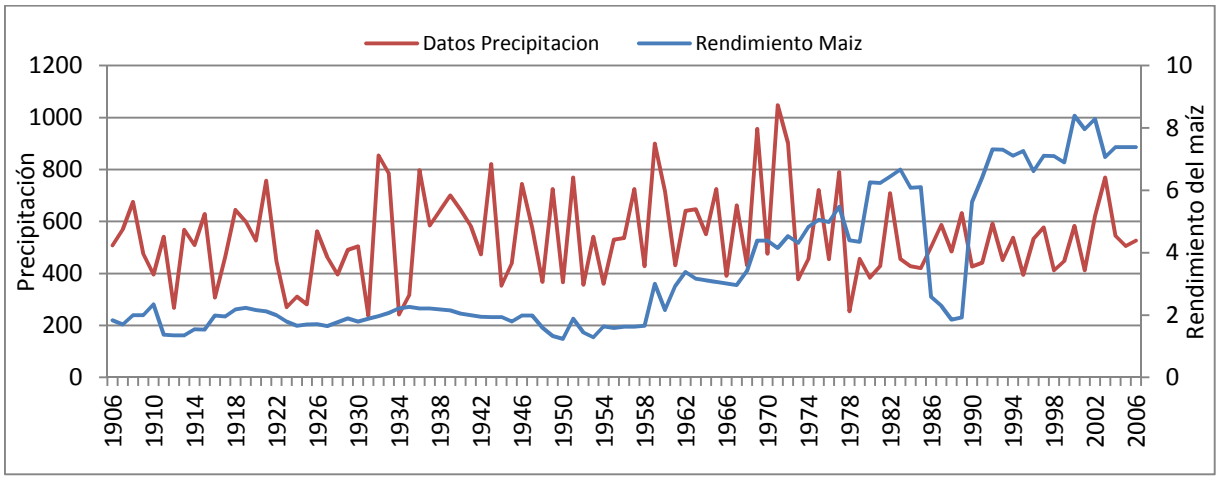

Figura 51.- Gráfico lineal de las señales totales de las series temporales correspondientes al rendimiento del maíz y los datos de precipitación entre los años 1906 y 2006.

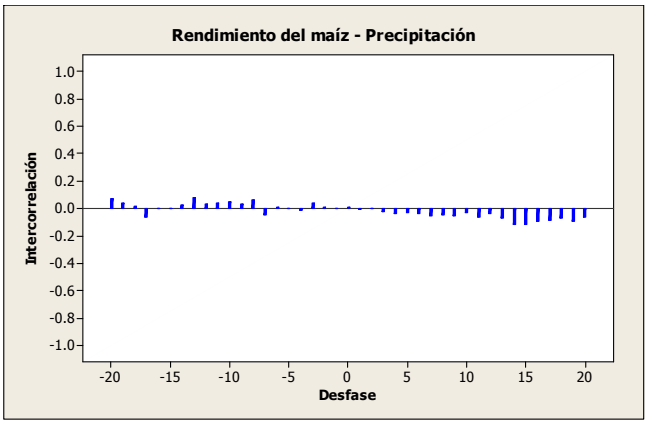

Figura 52.- Función de intercorrelación para la series temporales totales del rendimiento del maíz y la precipitación con un desfase de ±20 años

4.3.4.- Rendimiento del trigo

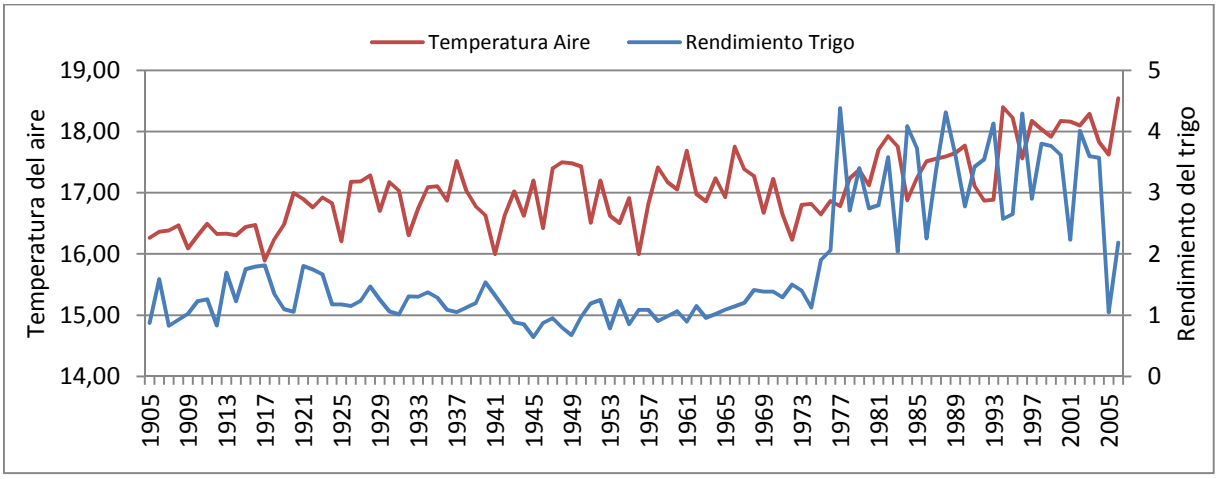

Figura53.- Gráfico lineal de las señales totales de las series temporales correspondientes al rendimiento del trigo y la temperatura del aire entre los años 1905 y 2006.

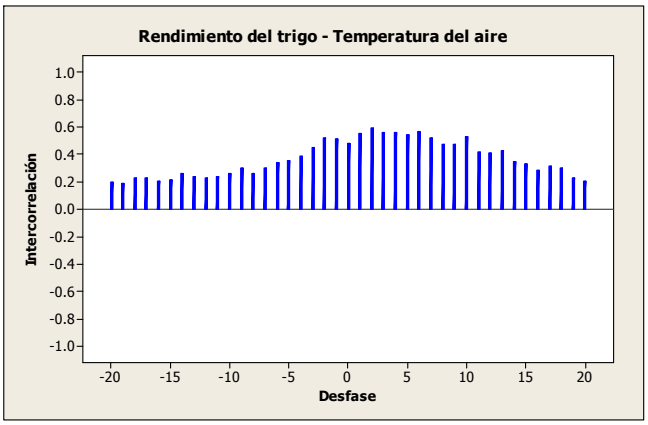

Figura 54.- Función de intercorrelación para la series temporales totales del rendimiento del trigo y la temperatura del aire con un desfase de ±20 años.

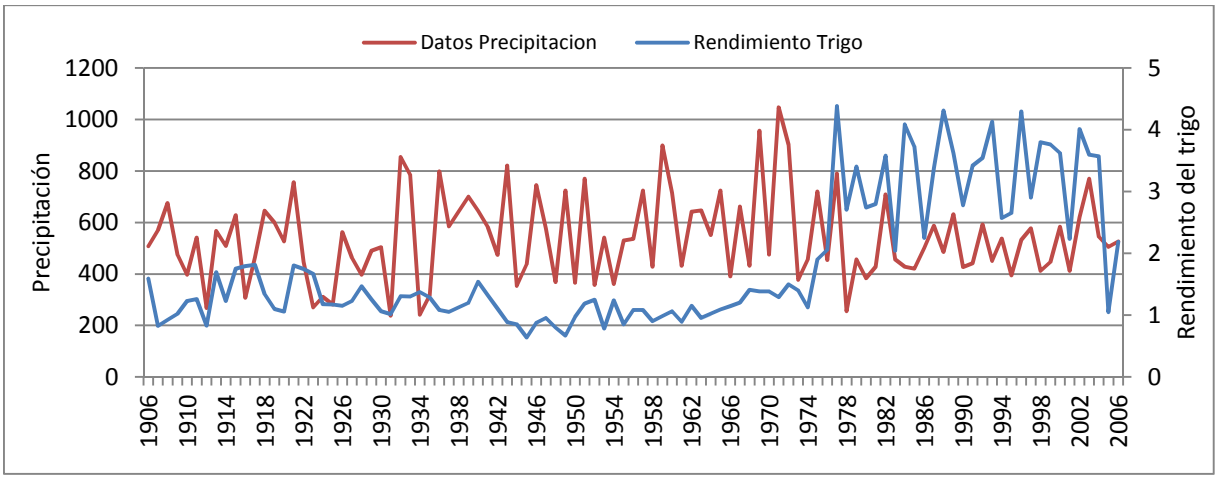

Figura 55.- Gráfico lineal de las señales totales de las series temporales correspondientes al rendimiento del trigo y los datos de precipitación entre los años 1906 y 2006.

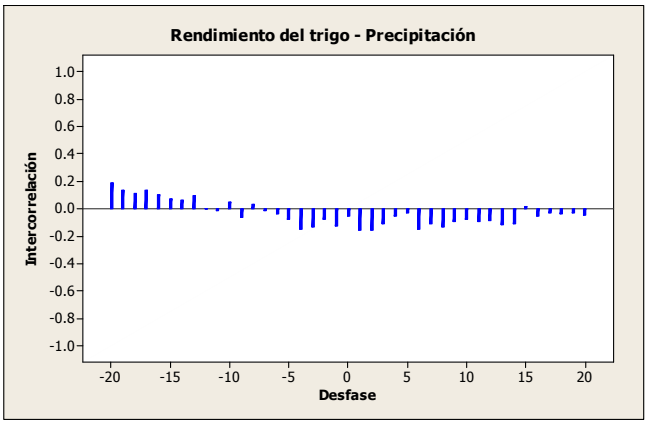

Figura 56.- Función de intercorrelación para la series temporales totales del rendimiento del trigo y la precipitación con un desfase de ±20 años.

4.3.5.- Rendimiento de la patata

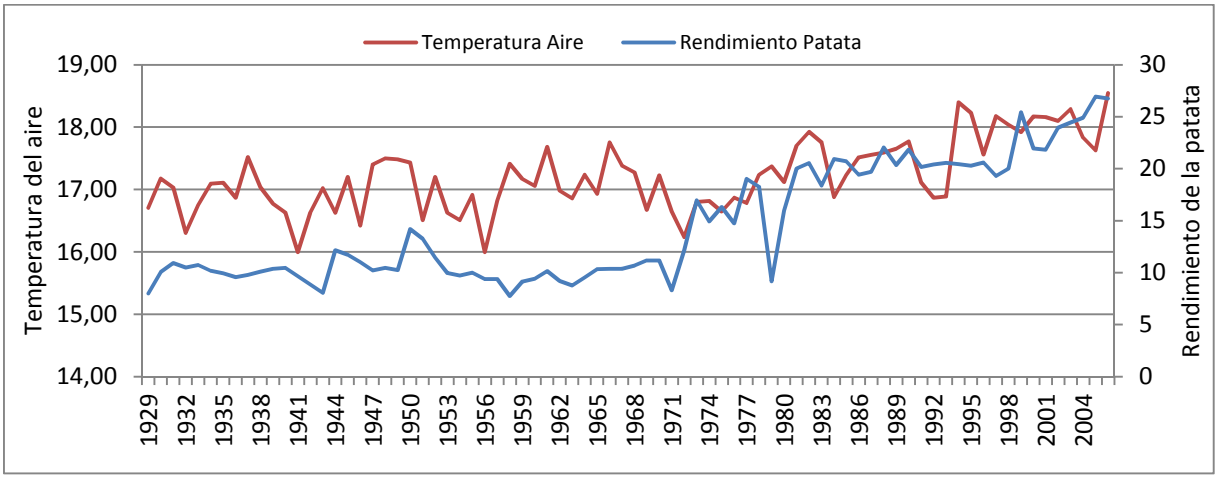

Figura57.- Gráfico lineal de las señales totales de las series temporales correspondientes al rendimiento de la patata y la temperatura del aire entre los años 1905 y 2006.

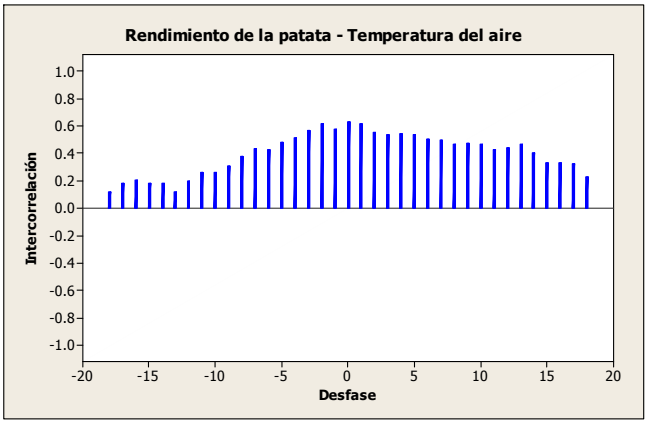

Figura 58.- Función de intercorrelación para la series temporales totales del rendimiento de la patata y la temperatura del aire con un desfase de ±20 años.

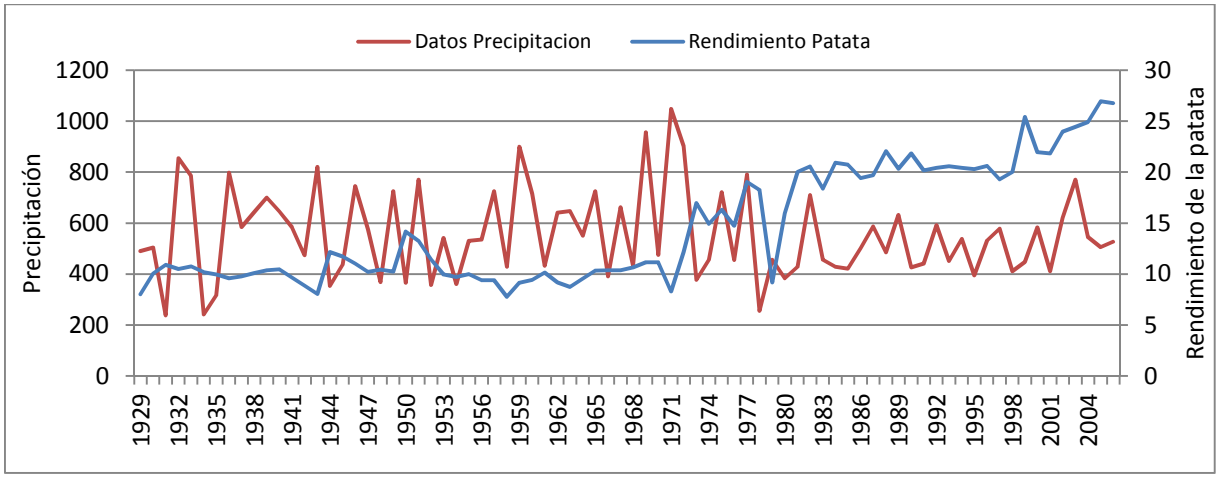

Figura 59.- Gráfico lineal de las señales totales de las series temporales correspondientes al rendimiento de la patata y los datos de precipitación entre los años 1929 y 2006.

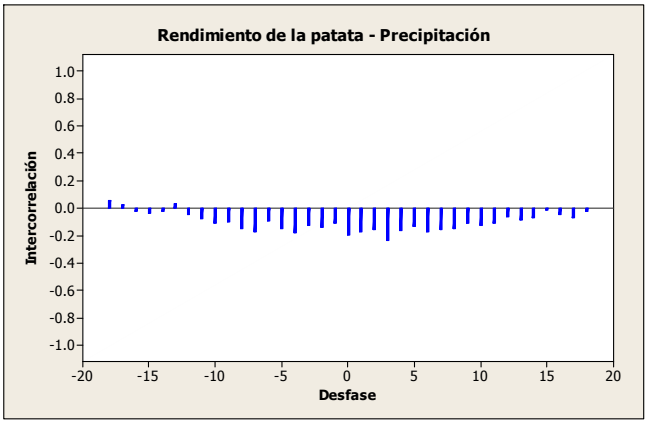

Figura 60.- Función de intercorrelación para la series temporales totales del rendimiento de la patata y la precipitación con un desfase de ±20 años.

4.3.6.- Rendimiento de los viñedos

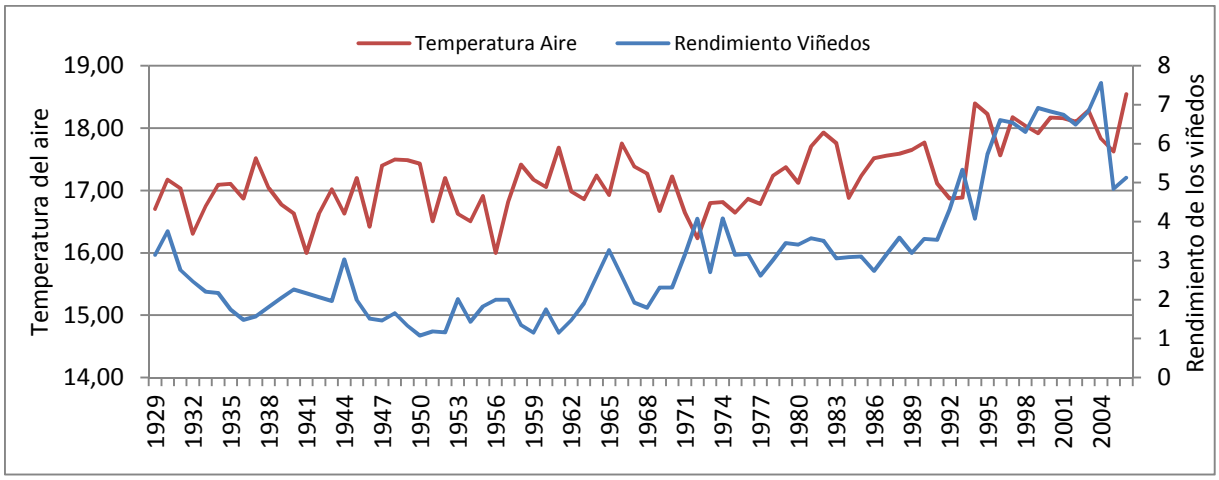

Figura 61.- Gráfico lineal de las señales totales de las series temporales correspondientes al rendimiento de los viñedos y la temperatura del aire entre los años 1929 y 2006.

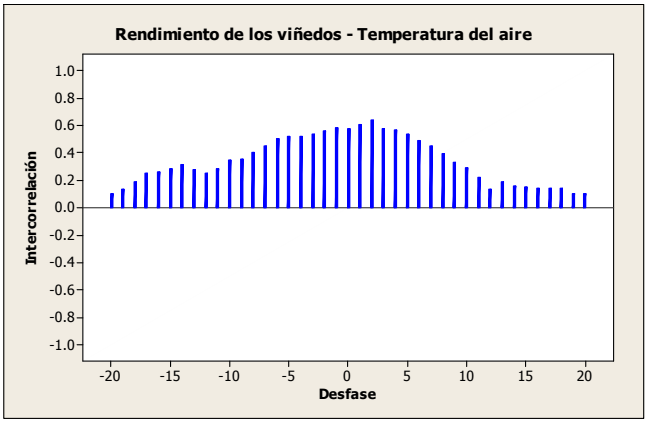

Figura 62.- Función de intercorrelación para la series temporales totales del rendimiento de los viñedos y la temperatura del aire con un desfase de ±20 años.

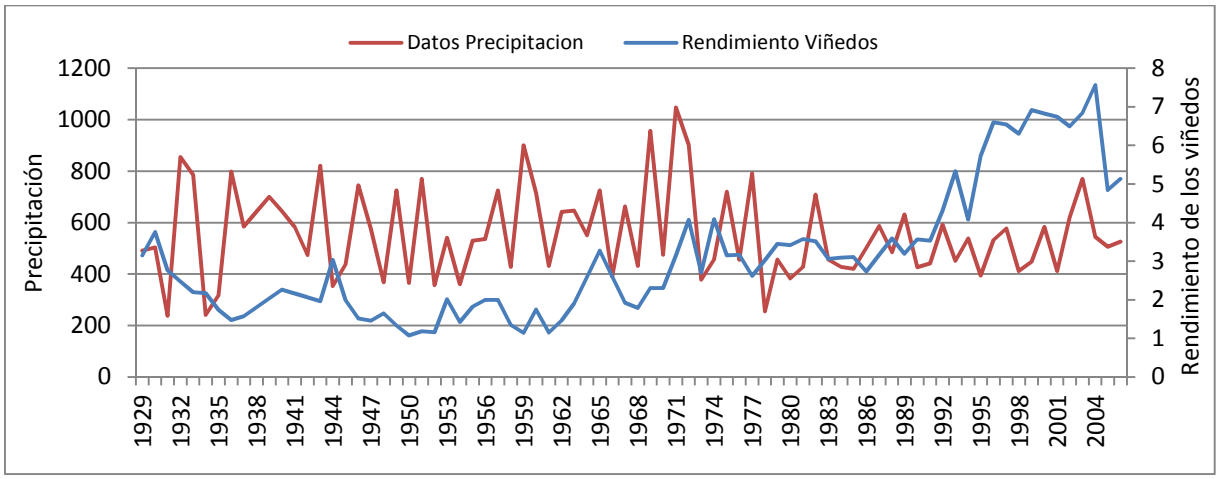

Figura 63.- Gráfico lineal de las señales totales de las series temporales correspondientes al rendimiento de los viñedos y los datos de precipitación entre los años 1929 y 2006.

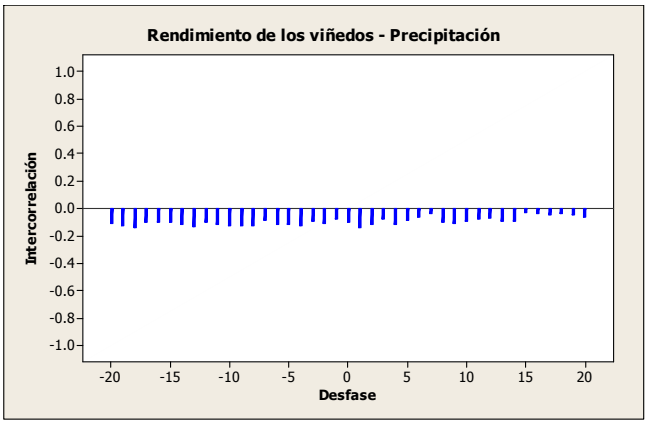

Figura 64.- Función de intercorrelación para la series temporales totales del rendimiento de los viñedos y la precipitación con un desfase de ±20 años.

4.3.7.- Rendimiento de la alfalfa

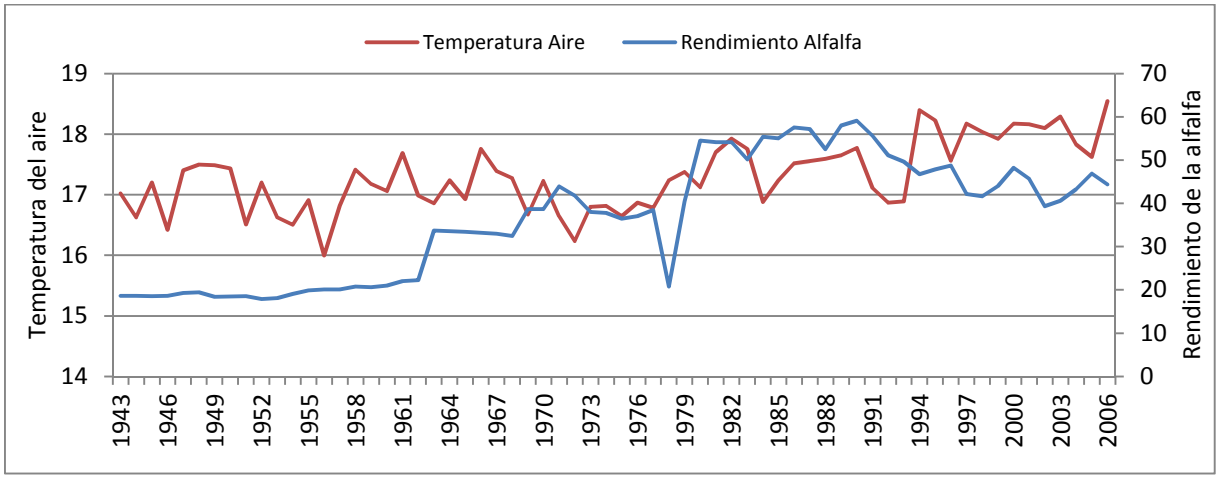

Figura 65.- Gráfico lineal de las señales totales de las series temporales correspondientes al rendimiento de la alfalfa y la temperatura del aire entre los años 1943 y 2006.

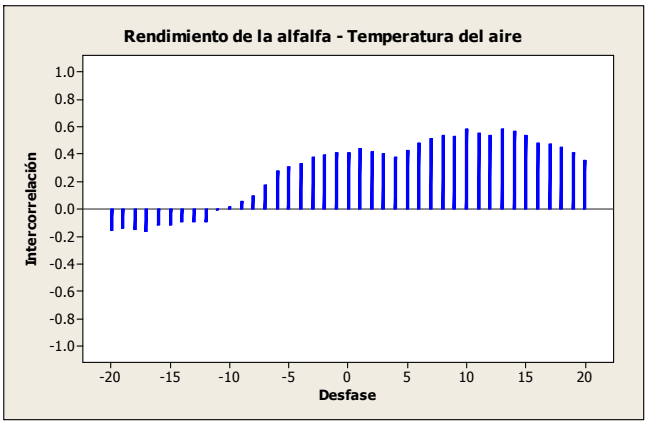

Figura 66.- Función de intercorrelación para la series temporales totales del rendimiento de alfalfa y la temperatura del aire con un desfase de ±20 años.

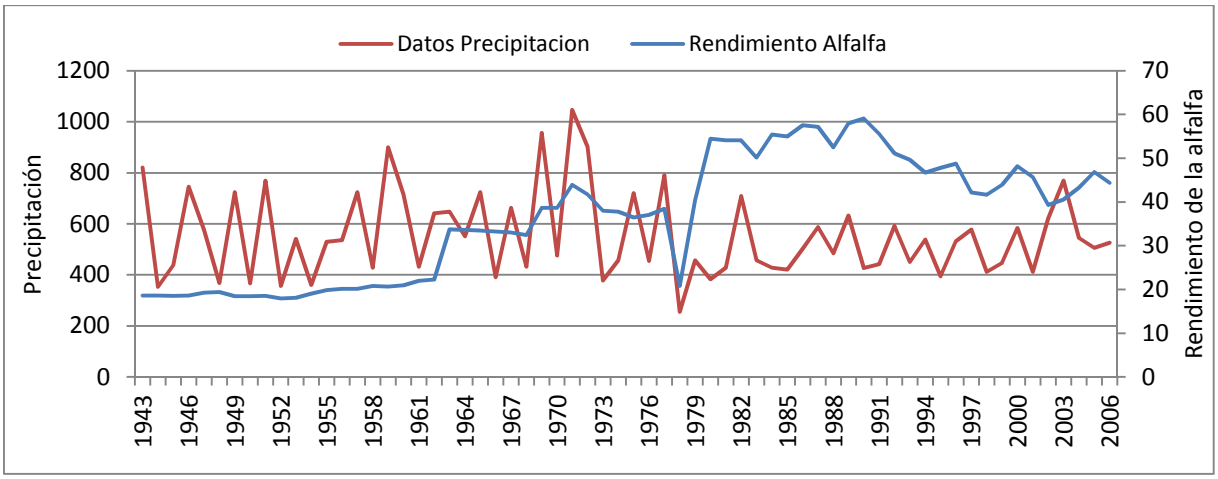

Figura 67.- Gráfico lineal de las señales totales de las series temporales correspondientes al rendimiento de alfalfa y los datos de precipitación entre los años 1929 y 2006.

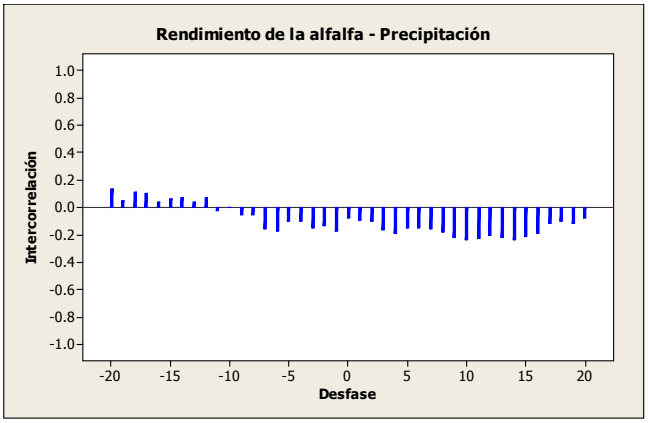

Figura 68.- Función de intercorrelación para la series temporales totales del rendimiento de alfalfa y la precipitación con un desfase de ±20 años.

A continuación se resume los resultados obtenidos del estudio de correlación entre las señales totales del rendimiento de los cultivos y los factores climáticos.
Los resultados de la correlación ente los rendimientos de los cultivos y la temperatura media del aire son los siguientes:

- Rendimiento del arroz: el coeficiente de correlación lineal es 0.52 siendo a la vez el valor máximo de la correlación cuando no hay desfase entre las señales.
- Rendimiento de la cebada: el coeficiente de correlación lineal es 0.44 y la correlación es máxima cuando hay un desfase de -2 años entre las señales con un valor de 0.52.
- Rendimiento del maíz: el coeficiente de correlación lineal es 0.62 siendo a la vez el valor máximo de la correlación cuando no hay desfase entre las señales.
- Rendimiento del trigo: el coeficiente de correlación lineal es 0.48 y la correlación es máxima cuando hay un desfase de -2 años entre las señales con un valor de 0.52.
- Rendimiento de la patata: el coeficiente de correlación lineal es 0.63 siendo a la vez el valor máximo de la correlación cuando no hay desfase entre las señales.

- Rendimiento de los viñedos: el coeficiente de correlación lineal es 0.57 siendo a la vez el valor máximo de la correlación cuando no hay desfase entre las señales.
- Rendimiento de la alfalfa: el coeficiente de correlación lineal es 0.41 y la correlación es máxima cuando hay un desfase de -1 año entre las señales con un valor de 0.41.

Esto indica que los cambios totales de la temperatura del aire sirven para explicar los cambios totales del rendimiento del arroz, el maíz, la patata y los viñedos del mismo año. Lo hacen con coeficientes de correlación positivos moderados y moderadamente altos (0.52, 0.62, 0.63 y 0.57 respectivamente). También sirven para explicar los cambios totales del rendimiento de la alfalfa 1 año después de que las temperaturas tengan lugar con un coeficiente positivo bajo-moderado (0.41). Finalmente, sirven para explicar los cambios totales del rendimiento de la cebada y del trigo 2 años después de que las temperaturas tengan lugar con coeficientes de correlación positivos moderados (0.52 y 0.52 respectivamente).
Con lo que se considera la señal total de la temperatura del aire una variable explicativa para la señal total del rendimiento del arroz, la cebada, el maíz, el trigo, la patata y los viñedos pero con una influencia moderada.

Los resultados de la correlación ente los rendimientos de los cultivos y las precipitaciones son los siguientes:

- Rendimiento del arroz: el coeficiente de correlación lineal es -0.09 y la correlación es máxima cuando hay un desfase de -1 año entre las señales con un valor de -0.17.
- Rendimiento de la cebada: el coeficiente de correlación lineal es 0.02 y la correlación es máxima cuando hay un desfase de -4 años entre las señales con un valor de 0.15.
- Rendimiento del maíz: el coeficiente de correlación lineal es 0.01 y la correlación es máxima cuando hay un desfase de -13 años entre las señales con un valor de 0.08.
- Rendimiento del trigo: el coeficiente de correlación lineal es -0.05 y la correlación es máxima cuando hay un desfase de -20 años entre las señales con un valor de 0.19.
- Rendimiento de la patata: el coeficiente de correlación es -0.20siendo a la vez el valor máximo de la correlación cuando no hay desfase entre las señales.
- Rendimiento de los viñedos: el coeficiente de correlación lineal es -0.10 y la correlación es máxima cuando hay un desfase de -7 años entre las señales con un valor de -0.12.
- Rendimiento de la alfalfa: el coeficiente de correlación lineal es -0.08 y la correlación es máxima cuando hay un desfase de -1 año entre las señales con un valor de -0.17.

Esto indica que los cambios totales de las precipitaciones son poco relevantes y no sirven para explicar los cambios totales de ningún rendimiento de los cultivos analizados ya que los coeficientes de correlación son todos muy débiles.
Con lo que no se considera la señal total de las precipitaciones una variable explicativa para las señales totales delos rendimientos.

4.4.-Componentes cíclicas

Se utiliza el mismo procedimiento que antes pero ahora utilizado las componentes cíclicas de cada señal, obtenidas mediante el filtro Hodrick-Prescott.

En las leyendas de los gráficos, *HP Cycle* corresponde a la componente cíclica de las señales obtenida mediante el filtro de Hodrick-Prescott.

4.4.1.- Rendimiento del arroz

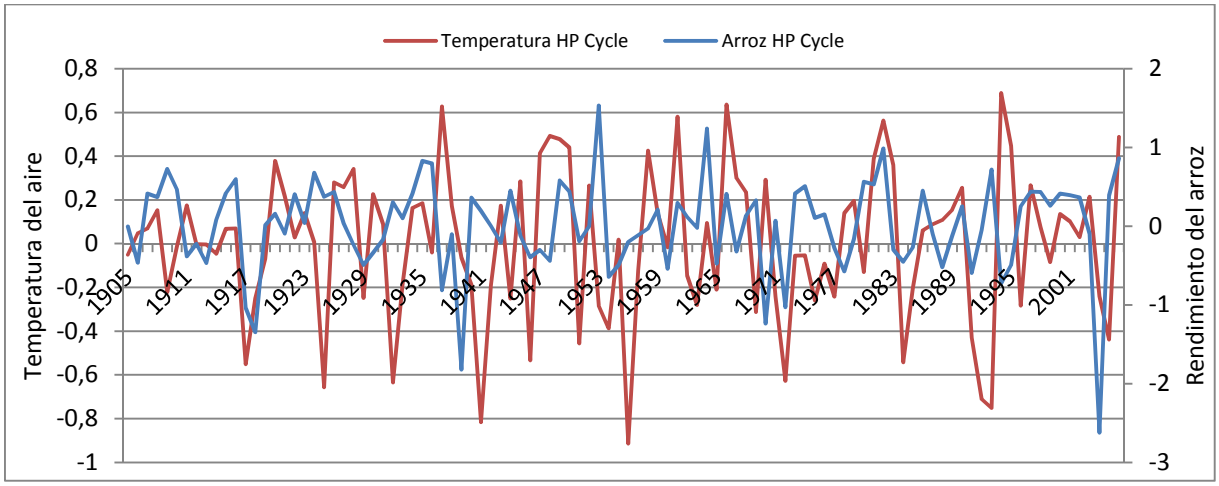

Figura69.- Gráfico lineal de las componentes cíclicas (HP Cycle) de las series temporales correspondientes al rendimiento del arroz y la temperatura del aire entre los años 1905 y 2006.

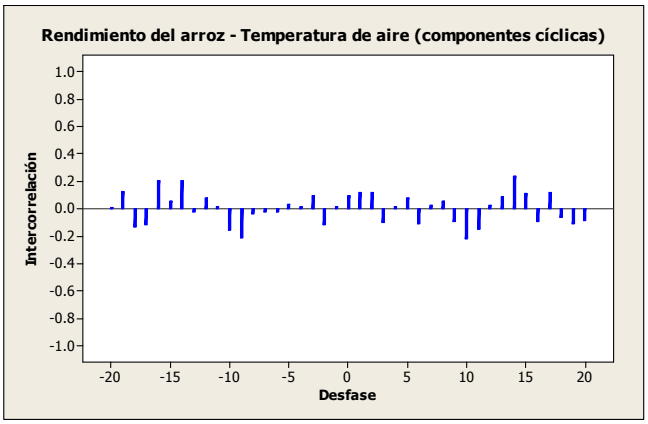

Figura 70.- Función de intercorrelación para las componentes cíclicas del rendimiento del arroz y de la temperatura del aire con un desfase de ±20 años.

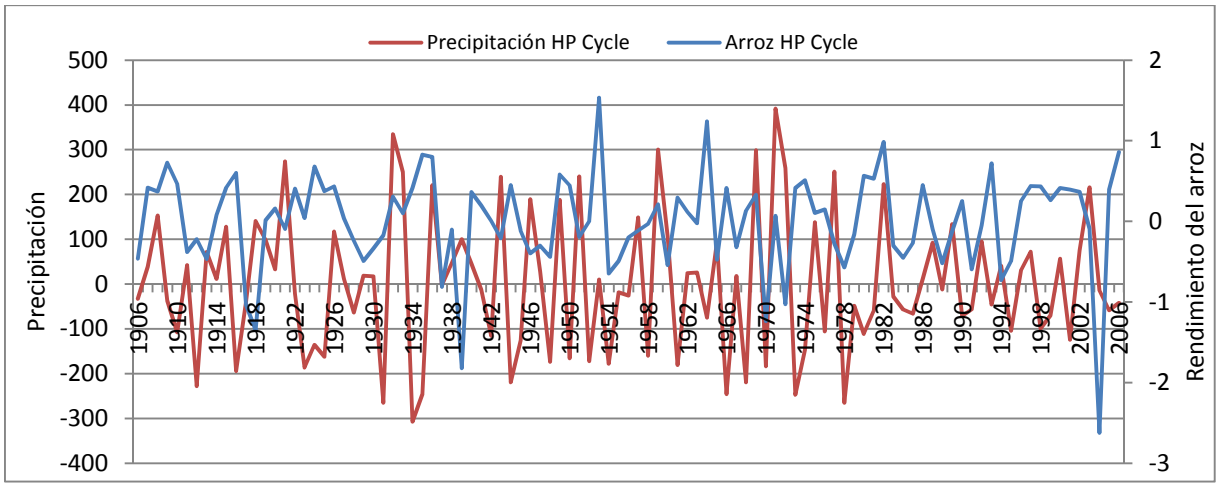

Figura71.- Gráfico lineal de las componentes cíclicas (HP Cycle) de las series temporales correspondientes al rendimiento del arroz y la precipitación entre los años 1906 y 2006.

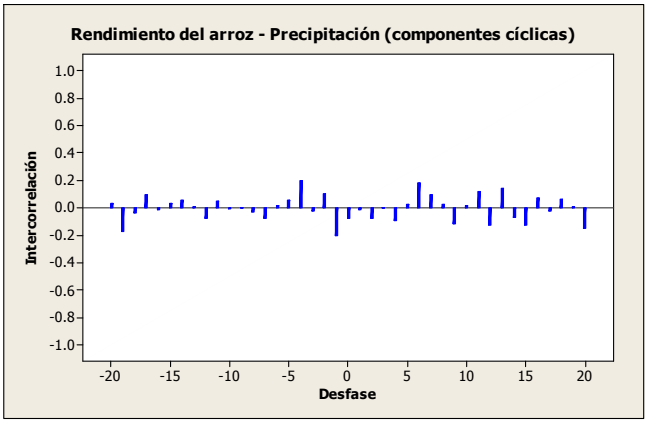

Figura 72.- Función de intercorrelación para las componentes cíclicas del rendimiento del arroz y de la precipitación con un desfase de ±20 años.

4.4.2.- Rendimiento de la cebada

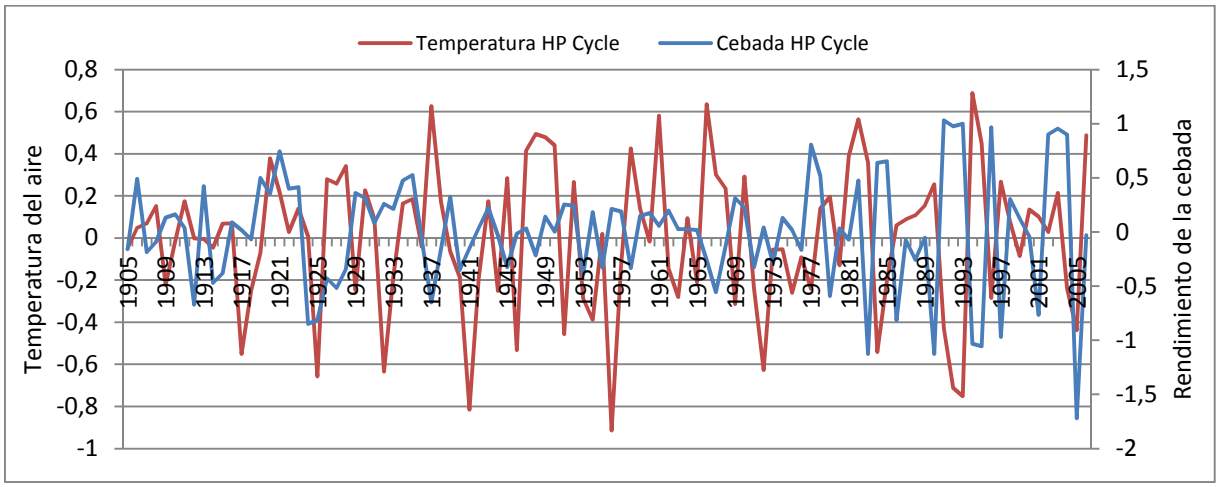

Figura73.- Gráfico lineal de las componentes cíclicas (HP Cycle) de las series temporales correspondientes al rendimiento de la cebada y la temperatura del aire entre los años 1905 y 2006.

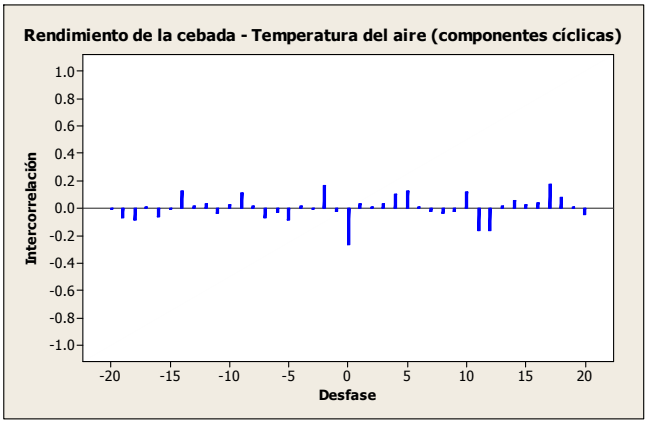

Figura 74.- Función de intercorrelación para lascomponentes cíclicas del rendimiento de la cebada y de la temperatura del aire con un desfase de ±20 años.

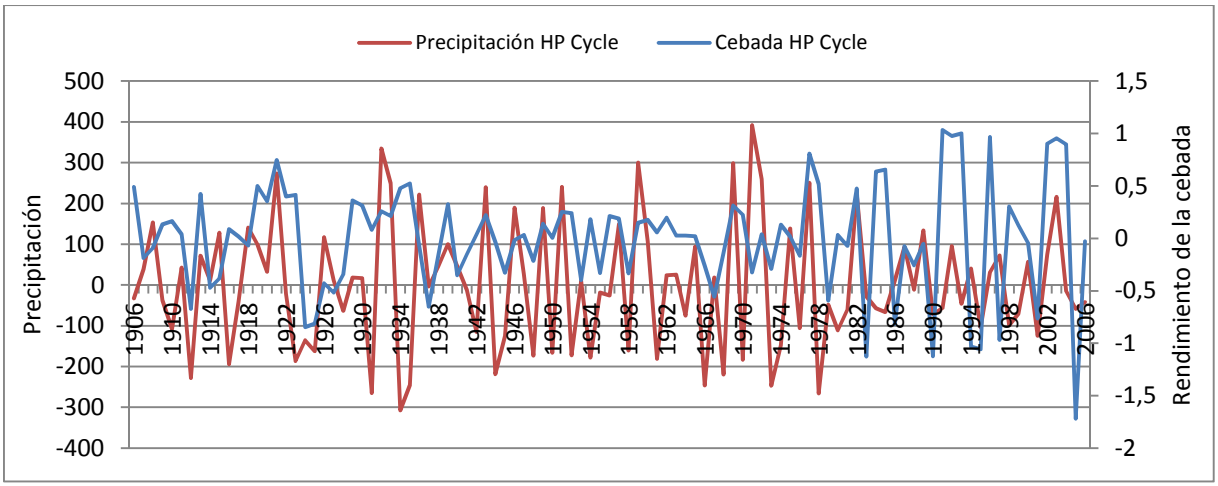

Figura75.- Gráfico lineal de las componentes cíclicas (HP Cycle) de las series temporales correspondientes al rendimiento de la cebada y la precipitación entre los años 1906 y 2006.

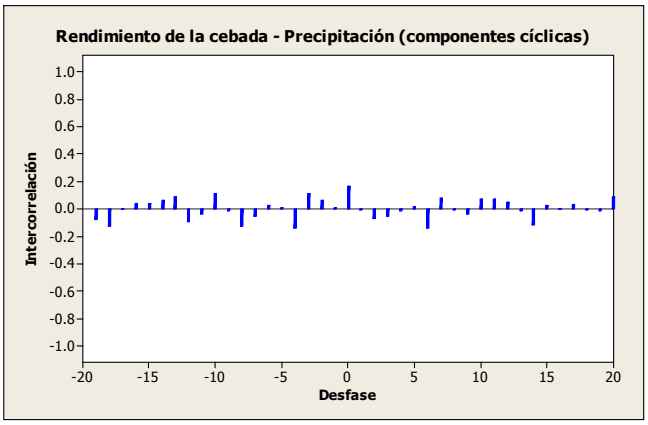

Figura 76.- Función de intercorrelación para lascomponentes cíclicas del rendimiento de la cebada y de la precipitación con un desfase de ±20 años.

4.4.3.- Rendimiento del maíz

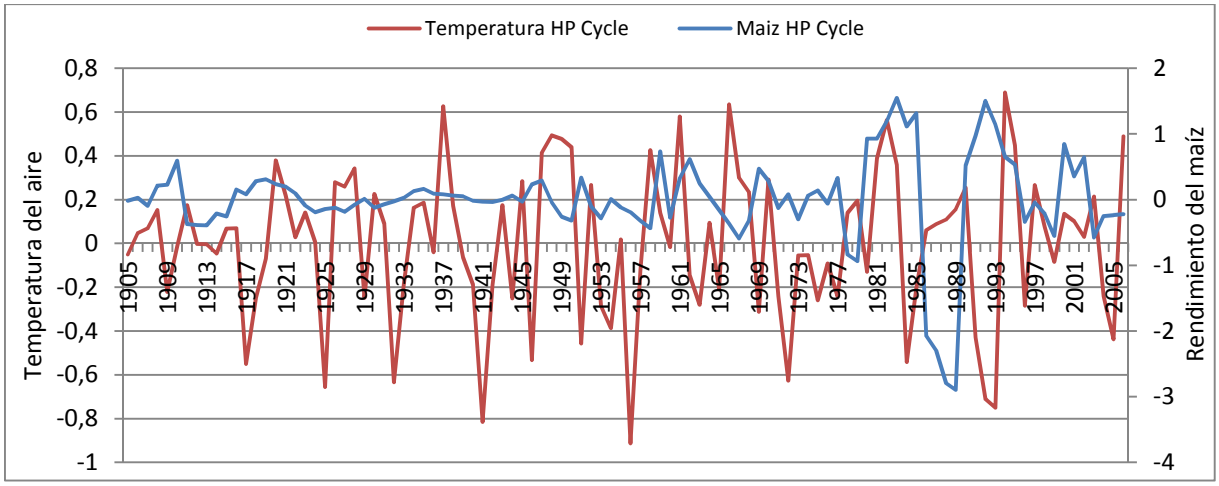

Figura77.- Gráfico lineal de las componentes cíclicas (HP Cycle) de las series temporales correspondientes al rendimiento del maíz y la temperatura del aire entre los años 1905 y 2006.

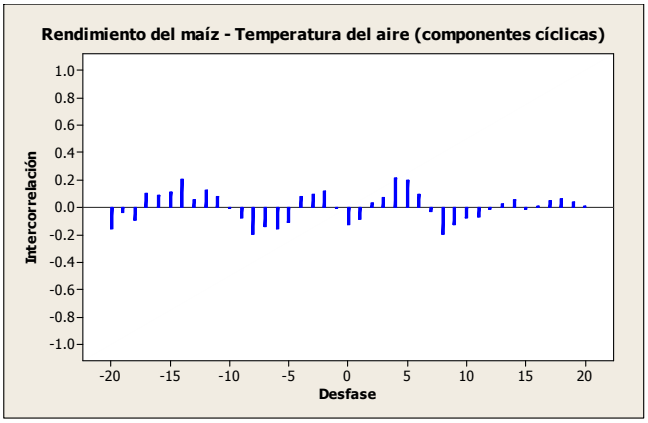

Figura 78.- Función de intercorrelación para lascomponentes cíclicas del rendimiento de maíz y de la temperatura del aire con un desfase de ±20 años.

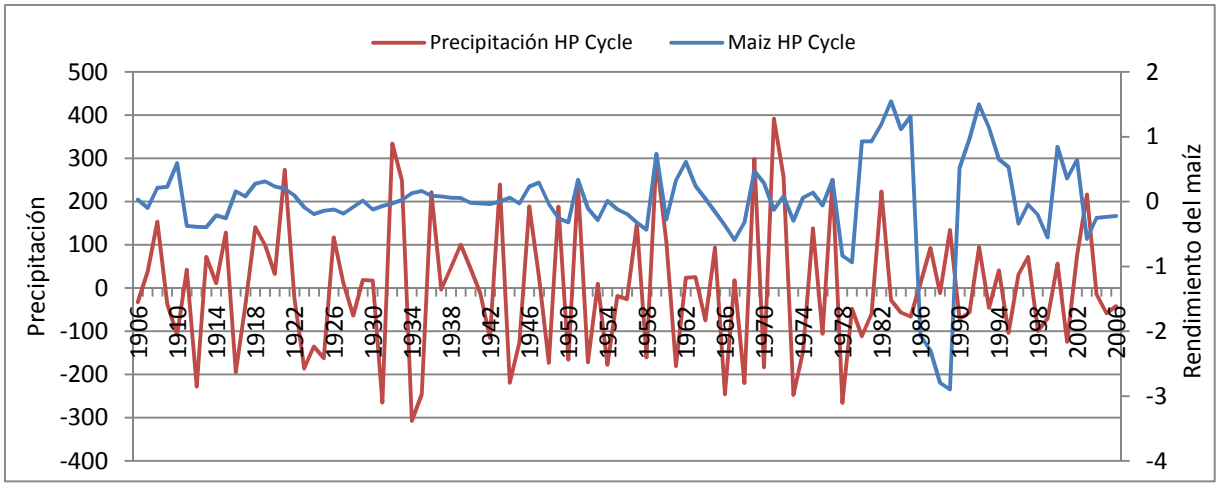

Figura79.- Gráfico lineal de las componentes cíclicas (HP Cycle) de las series temporales correspondientes al rendimiento de maíz y la precipitación entre los años 1906 y 2006.

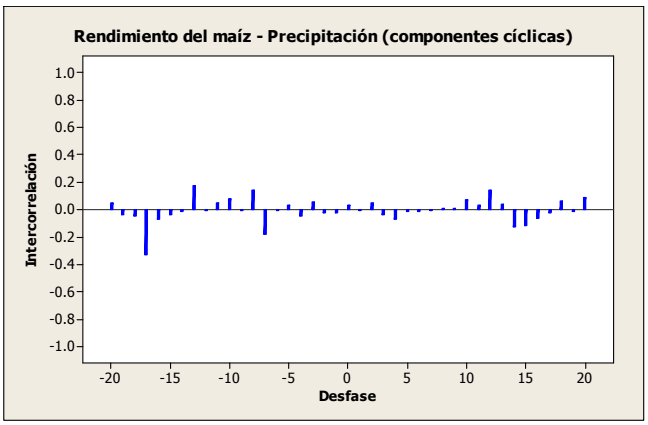

Figura 80.- Función de intercorrelación para lascomponentes cíclicas del rendimiento del maíz y de la precipitación con un desfase de ±20 años.

4.4.4.- Rendimiento del trigo

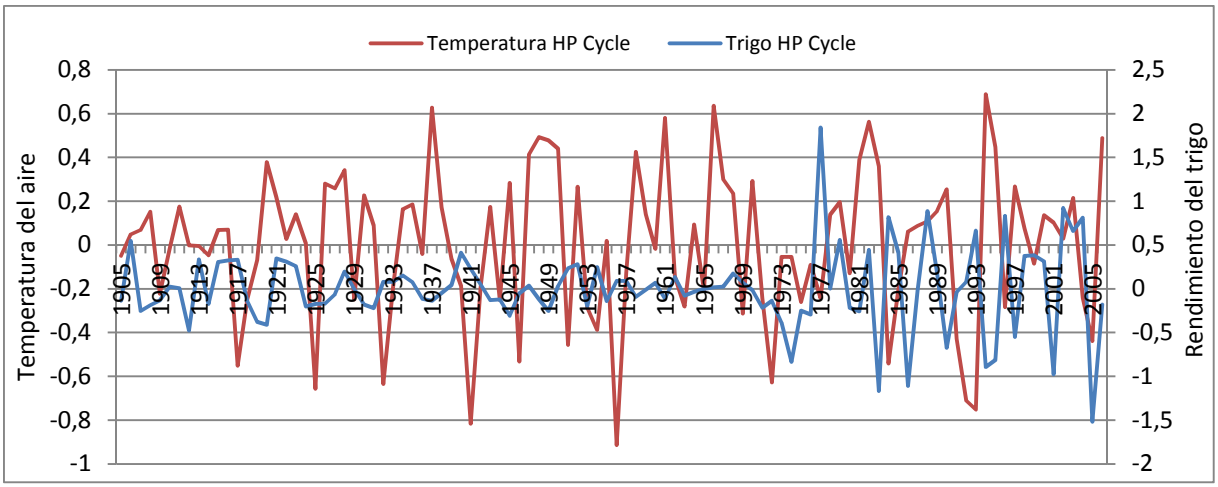

Figura81.- Gráfico lineal de las componentes cíclicas (HP Cycle) de las series temporales correspondientes al rendimiento del trigo y la temperatura del aire entre los años 1905 y 2006.

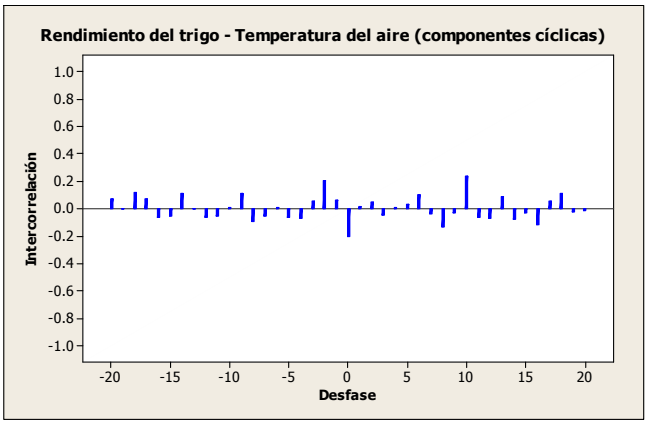

Figura 82.- Función deintercorrelación para las componentes cíclicas del rendimiento de trigo y de la temperatura del aire con un desfase de ±20 años.

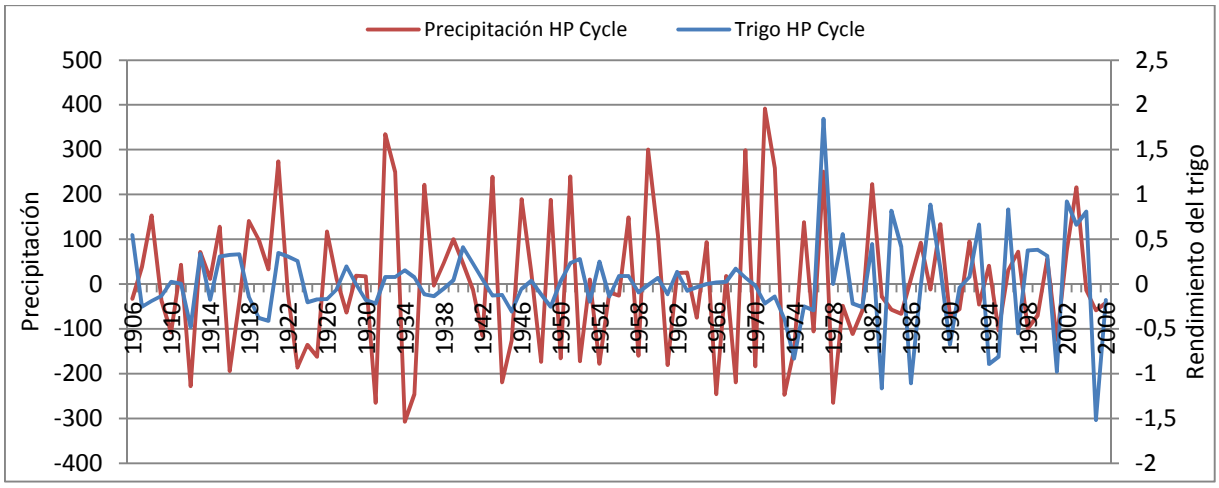

Figura83.- Gráfico lineal de las componentes cíclicas (HP Cycle) de las series temporales correspondientes al rendimiento del trigo y la precipitación entre los años 1906 y 2006.

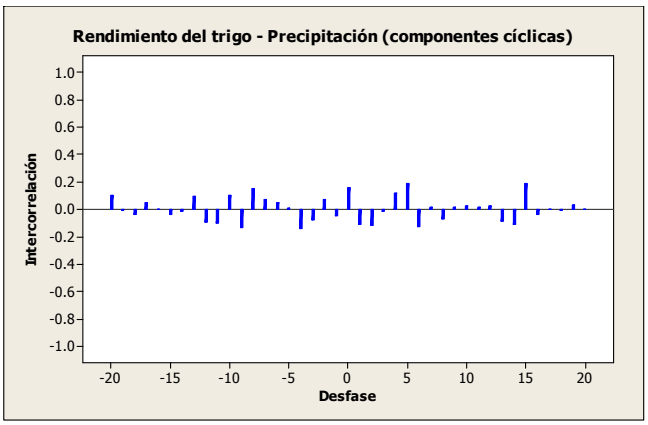

Figura 84.- Función deintercorrelación para las componentes cíclicas del rendimiento del trigo y de la precipitación con un desfase de ±20 años.

4.4.5.- Rendimiento de la patata

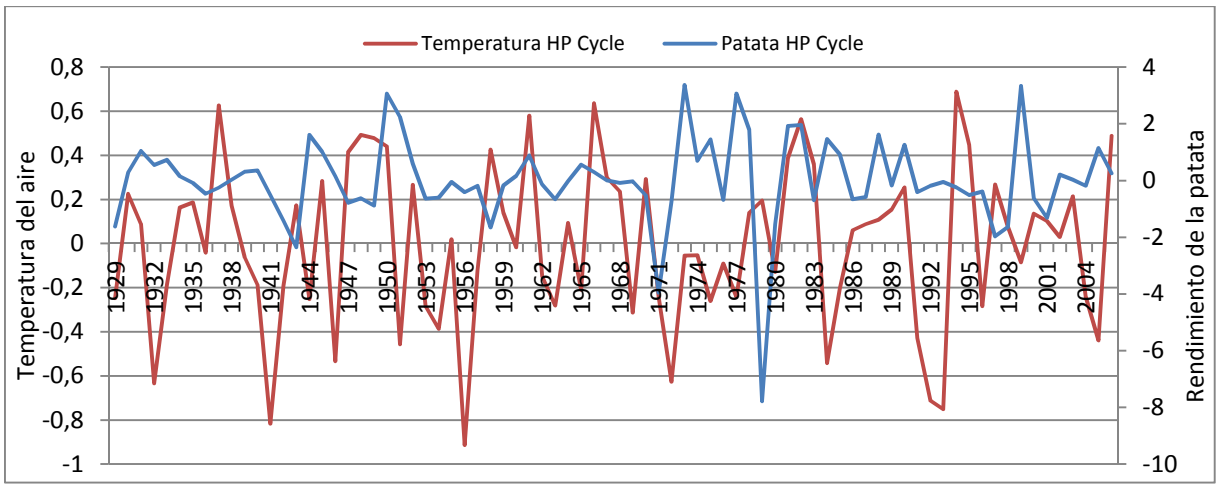

Figura85.- Gráfico lineal de las componentes cíclicas (HP Cycle) de las series temporales correspondientes al rendimiento de la patata y la temperatura del aire entre los años 1905 y 2006.

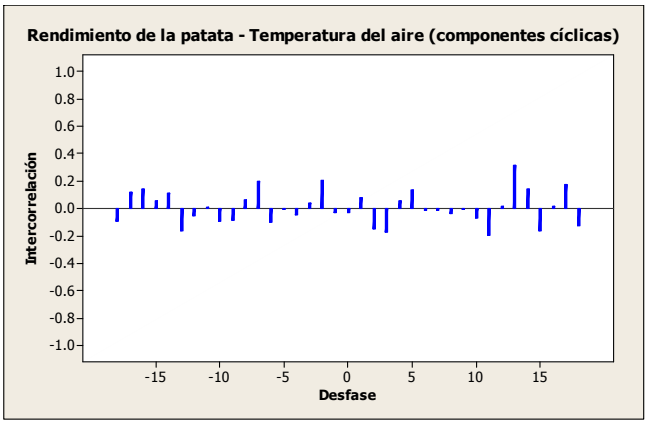

Figura 86.- Función de intercorrelación para las componentes cíclicas del rendimiento de la patata y de la temperatura del aire con un desfase de ±20 años.

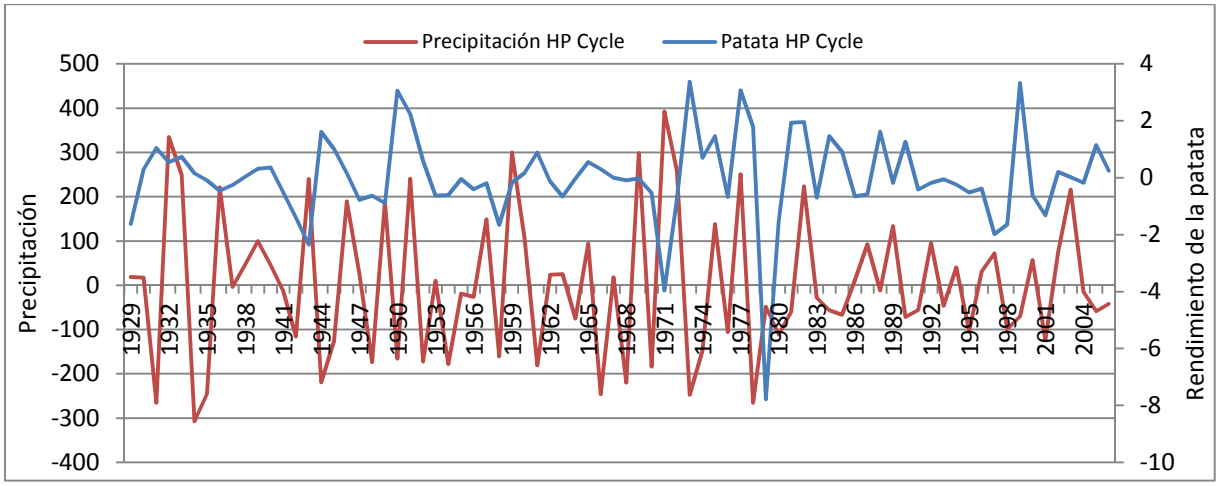

Figura87.- Gráfico lineal de las componentes cíclicas (HP Cycle) de las series temporales correspondientes al rendimiento de la patata y la precipitación entre los años 1929 y 2006.

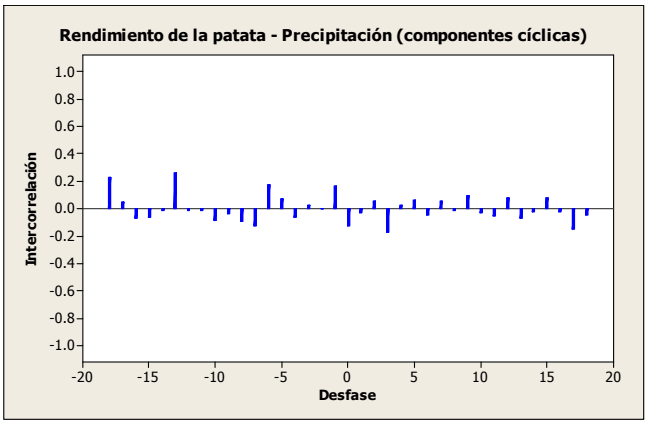

Figura 88.- Función deintercorrelación para las componentes cíclicas del rendimiento de la patata y de la precipitación con un desfase de ±20 años.

4.4.6.- Rendimiento de los viñedos

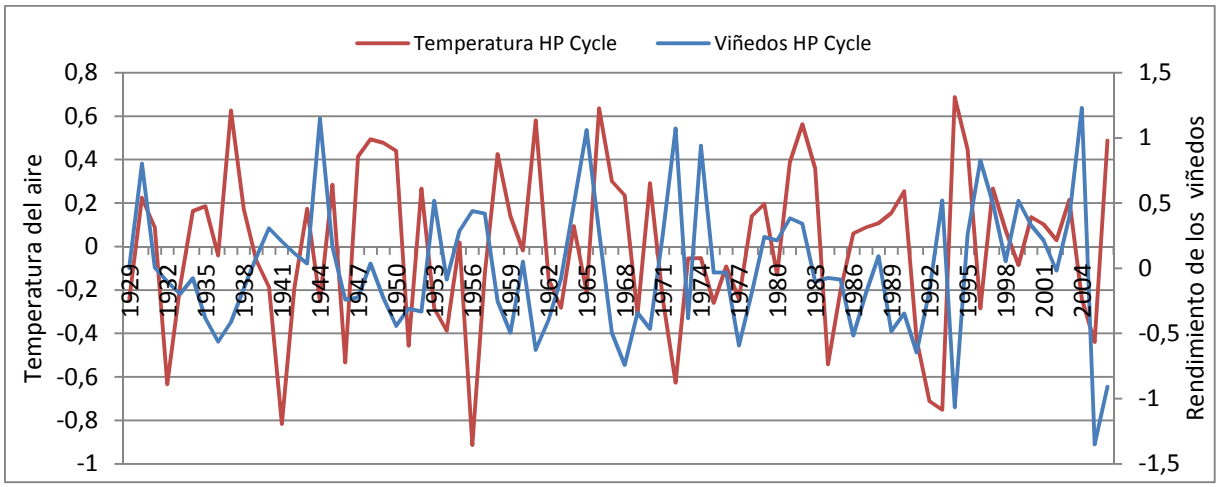

Figura89.- Gráfico lineal de las componentes cíclicas (HP Cycle) de las series temporales correspondientes al rendimiento de los viñedos y la temperatura del aire entre los años 1929 y 2006.

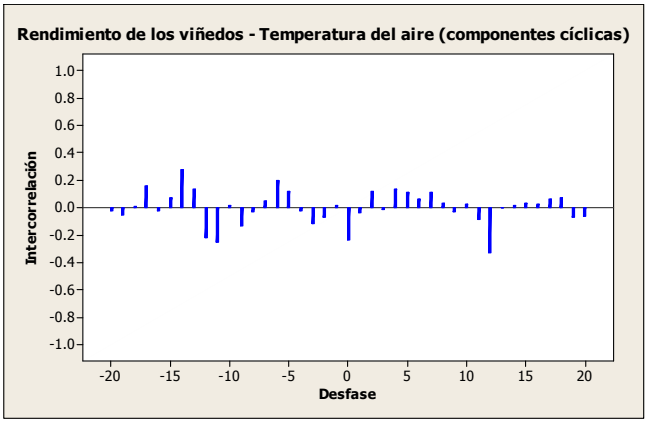

Figura 90.- Función deintercorrelación para las componentes cíclicas del rendimiento de los viñedos y de la temperatura del aire con un desfase de ±20 años.

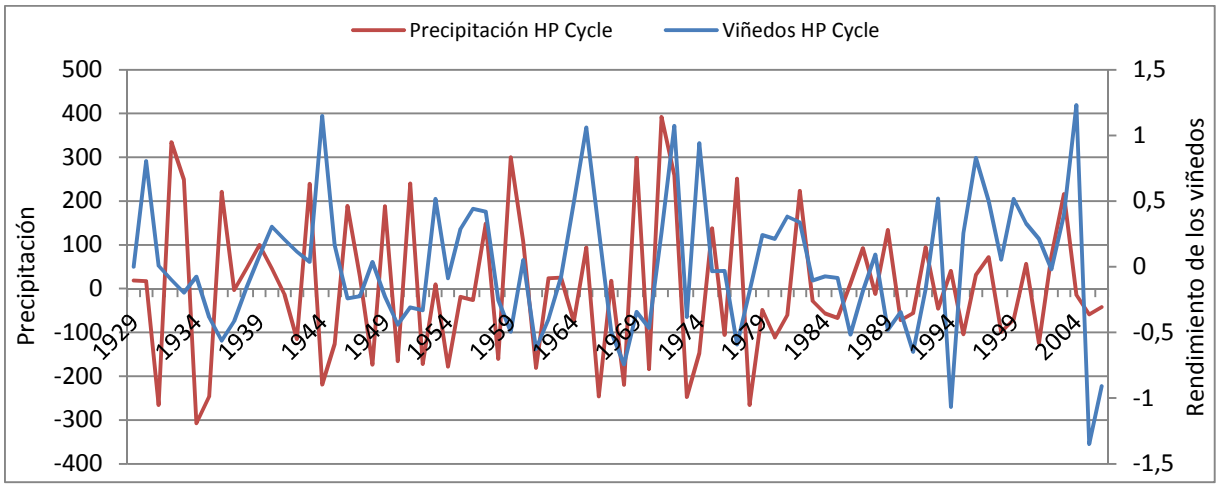

Figura91.- Gráfico lineal de las componentes cíclicas (HP Cycle) de las series temporales correspondientes al rendimiento de los viñedos y la precipitación entre los años 1929 y 2006.

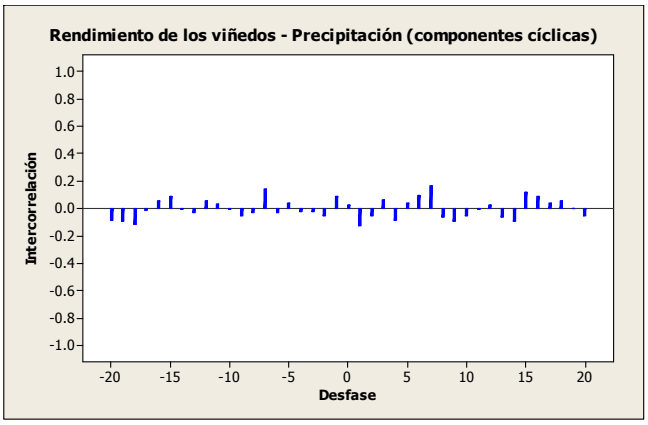

Figura 92.- Función de intercorrelación para las componentes cíclicas del rendimiento de los viñedos y de la precipitación con un desfase de ±20 años

4.4.7.- Rendimiento de la alfalfa

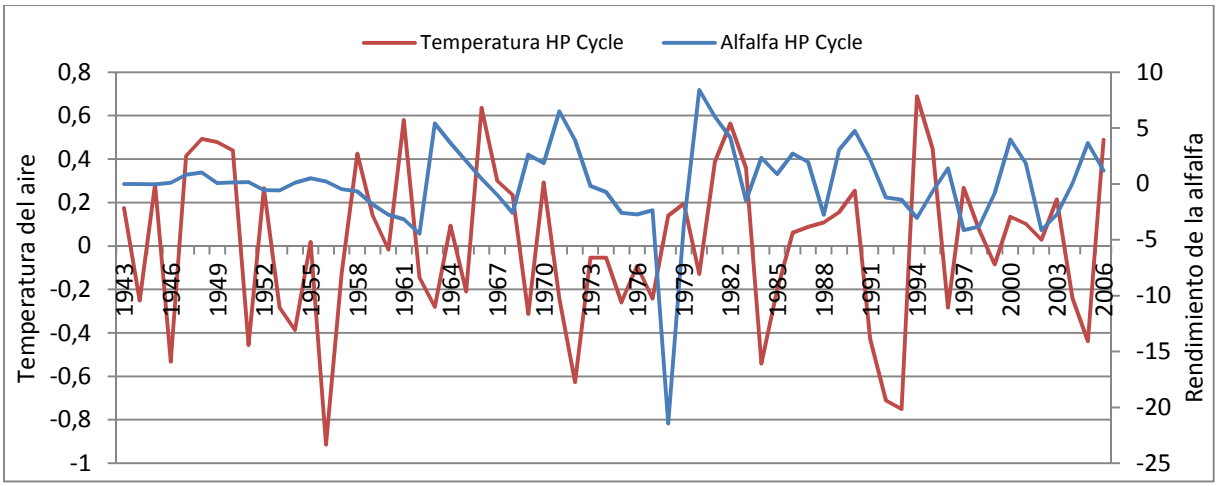

Figura 93.- Gráfico lineal de las componentes cíclicas (HP Cycle) de las series temporales correspondientes al rendimiento de la alfalfa y la temperatura del aire entre los años 1943 y 2006

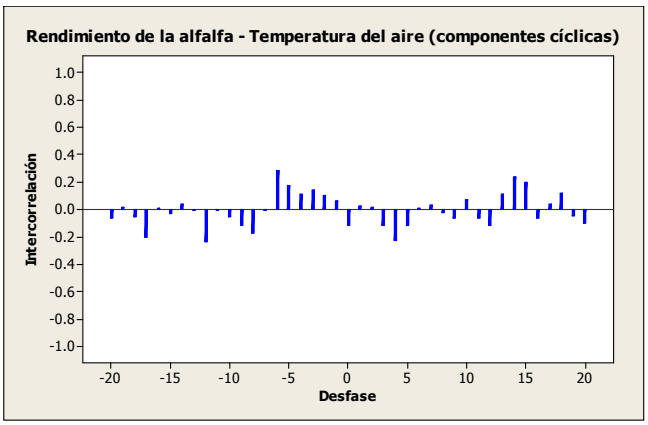

Figura 94.- Función de intercorrelación para las componentes cíclicas del rendimiento de alfalfa y de la temperatura del aire con un desfase de ±20 años.

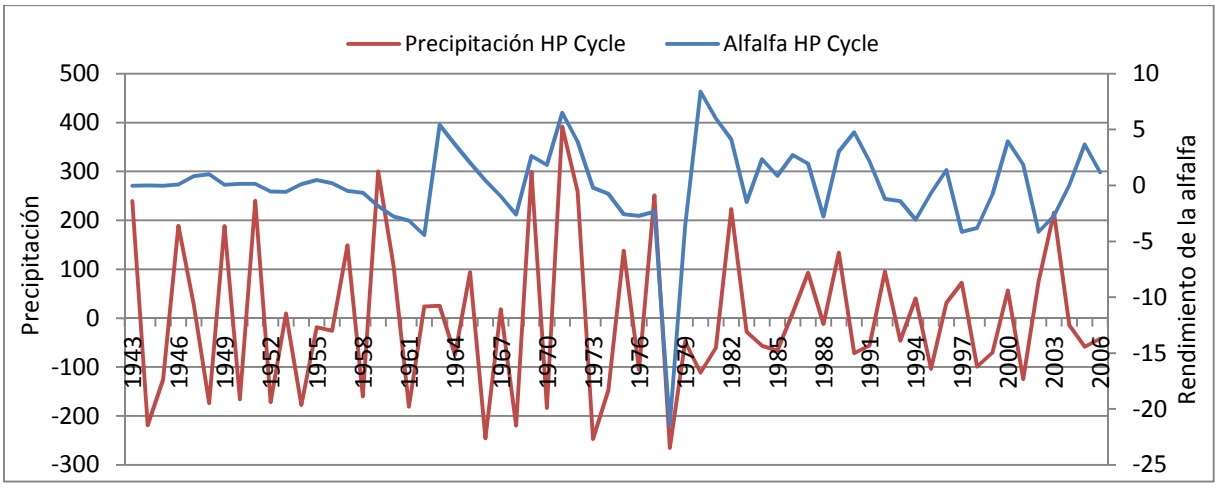

Figura 95.- Gráfico lineal de las componentes cíclicas (HP Cycle) de las series temporales correspondientes al rendimiento de alfalfa y la precipitación entre los años 1943 y 2006.

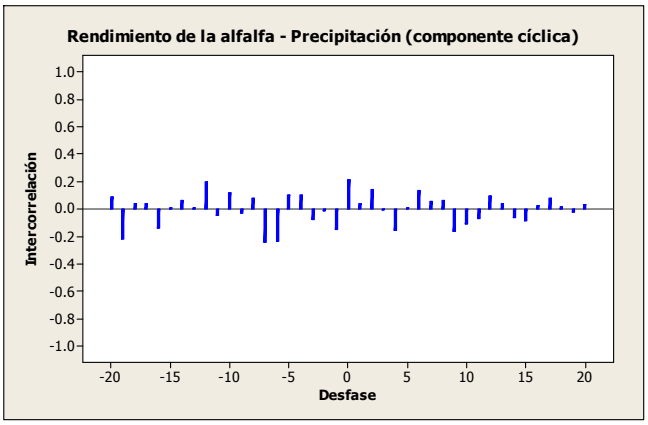

Figura 96.- Función de intercorrelación para las componentes cíclicas del rendimiento de alfalfa y de la precipitación con un desfase de ±20 años.

A continuación se resume los resultados obtenidos del estudio de correlación entre las componentes cíclicas de las señales del rendimiento de los cultivos y los factores climáticos.

Los resultados de la correlación ente los rendimientos de los cultivos y la temperatura media del aire son los siguientes:

- Rendimiento del arroz: el coeficiente de correlación lineal 0.09 y la correlación es máxima cuando hay un desfase de -9 años entre las señales con un valor de -0.21.
- Rendimiento de la cebada: el coeficiente de correlación lineal es -0.27 siendo a la vez el valor máximo de la correlación cuando no hay desfase entre las señales.
- Rendimiento del maíz: el coeficiente de correlación lineal es -0.13 y la correlación es máxima cuando hay un desfase de -14 años entre las señales con un valor de 0.21.
- Rendimiento del trigo: el coeficiente de correlación lineal es -0.2 siendo a la vez el valor máximo de la correlación cuando no hay desfase entre las señales.
- Rendimiento de la patata: el coeficiente de correlación es -0.03 y la correlación es máxima cuando hay un desfase de -2 años entre las señales con un valor de 0.21.

- Rendimiento de los viñedos: el coeficiente de correlación lineal es -0.24 y la correlación es máxima cuando hay un desfase de -14 años entre las señales con un valor de 0.28.
- Rendimiento de la alfalfa: el coeficiente de correlación lineal es -0.12 y la correlación es máxima cuando hay un desfase de -6 años entre las señales con un valor de 0.29.

Esto indica que los cambios cíclicos de la temperatura del aire son poco relevantes yno sirven para explicar los cambios cíclicos de ningún rendimiento de los cultivos analizados ya que los coeficientes de correlación son todos muy débiles.
Con lo que no se considera la componente cíclica de la señal de la temperatura del aire una variable explicativa para los comportamientos cíclicos de las señales delos rendimientos.

Los resultados de la correlación ente los rendimientos de los cultivos y las precipitaciones son los siguientes:

- Rendimiento del arroz: el coeficiente de correlación lineal -0.08 y la correlación es máxima cuando hay un desfase de -1 año entre las señales con un valor de -0.21.
- Rendimiento de la cebada: el coeficiente de correlación lineal es 0.17 siendo a la vez el valor máximo de la correlación cuando no hay desfase entre las señales.
- Rendimiento del maíz: el coeficiente de correlación lineal es 0.03 y la correlación es máxima cuando hay un desfase de -17 años entre las señales con un valor de -0.33.
- Rendimiento del trigo: el coeficiente de correlación lineal es 0.16 siendo a la vez el valor máximo de la correlación cuando no hay desfase entre las señales.
- Rendimiento de la patata: el coeficiente de correlación es -0.13 y la correlación es máxima cuando hay un desfase de -13 años entre las señales con un valor de -0.26.
- Rendimiento de los viñedos: el coeficiente de correlación lineal es 0.02 y la correlación es máxima cuando hay un desfase de -7 años entre las señales con un valor de 0.14.
- Rendimiento de la alfalfa: el coeficiente de correlación lineal es 0.21 y la correlación es máxima cuando hay un desfase de -7 años entre las señales con un valor de -0.24.

Esto indica que los cambios de las fluctuaciones de las precipitaciones son poco relevantes y no sirven para explicar los cambios en las fluctuaciones de las señales de ningún rendimiento de los cultivos analizados ya que todos los coeficientes de correlación son débiles o muy débiles. La relación entre las señales es pequeña para cualquier desfase entre ellas.
Con lo que no se considera la componente cíclica de la señal de las precipitaciones una variable explicativa para las componentes cíclicas de las señales delos rendimientos.

4.5.-Tendencia de las señales

Se utiliza el mismo procedimiento que antes pero ahora utilizado las tendencia de cada señal, obtenidas mediante el filtro Hodrick-Prescott.

En las leyendas de los gráficos, *HP Trend* corresponde a la componente de la tendencia de las señales obtenida con el filtro de Hodrick-Prescott.

4.5.1.- Rendimiento del arroz

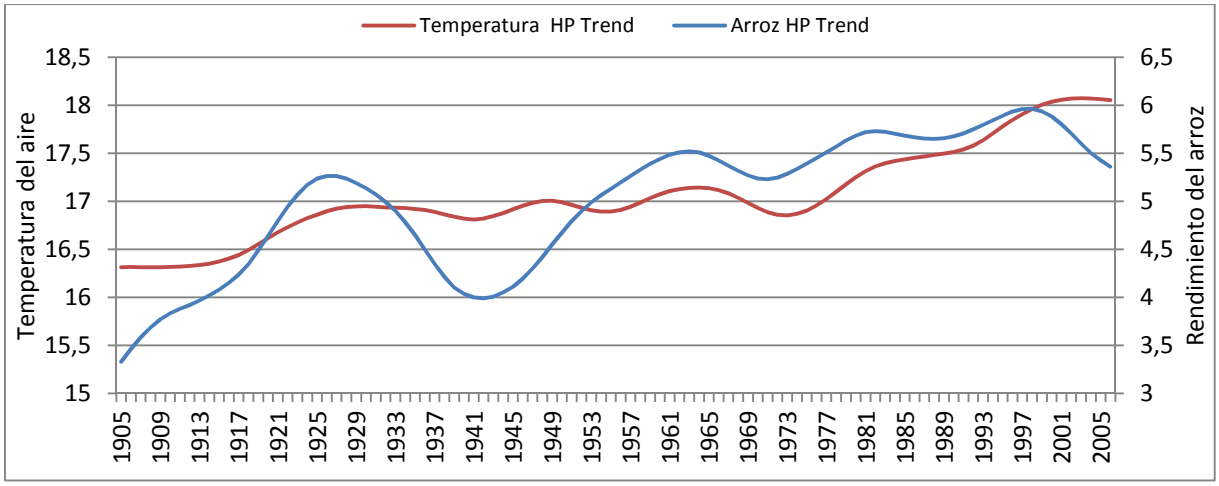

Figura 97.- Gráfico lineal de la tendencia de las señales (HP Trend) de las series temporales correspondientes al rendimiento del arroz y la temperatura del aire entre los años 1905 y 2006.

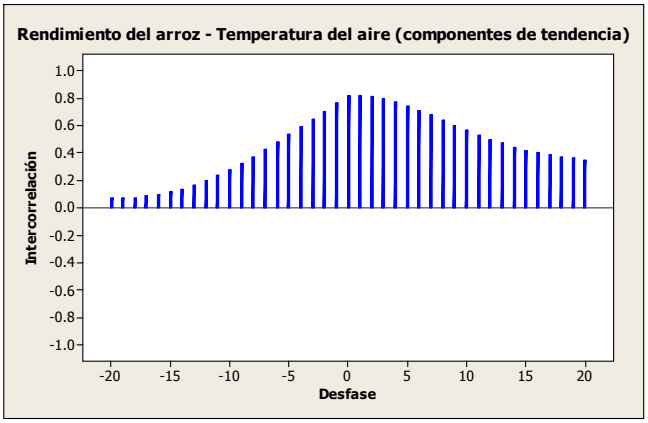

Figura 98.- Función de intercorrelación para la tendencia de la señal del rendimiento del arroz y de la temperatura del aire con un desfase de ±20 años.

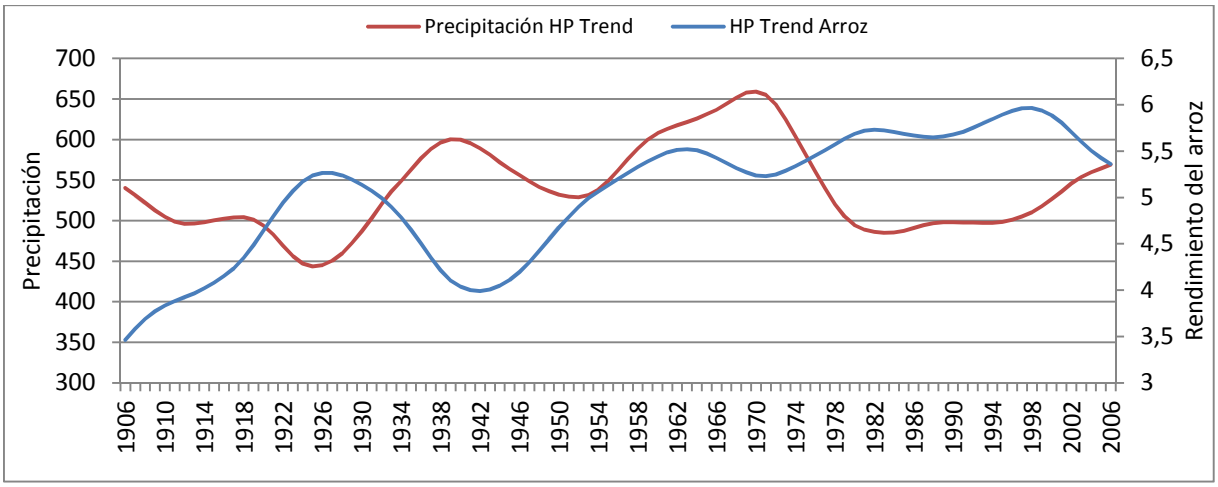

Figura 99.- Gráfico lineal de la tendencia de las señales (HP Trend) de las series temporales correspondientes al rendimiento del arroz y la precipitación entre los años 1906 y 2006.

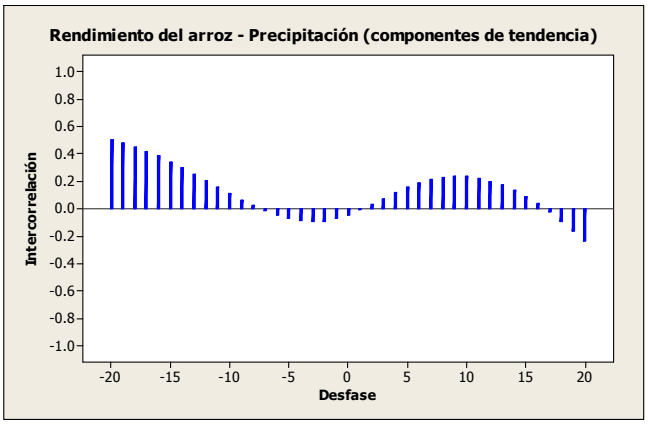

Figura 100.- Función de intercorrelación para la tendencia de las series del rendimiento del arroz y de la precipitación con un desfase de ±20 años.

4.5.2.- Rendimiento da la cebada

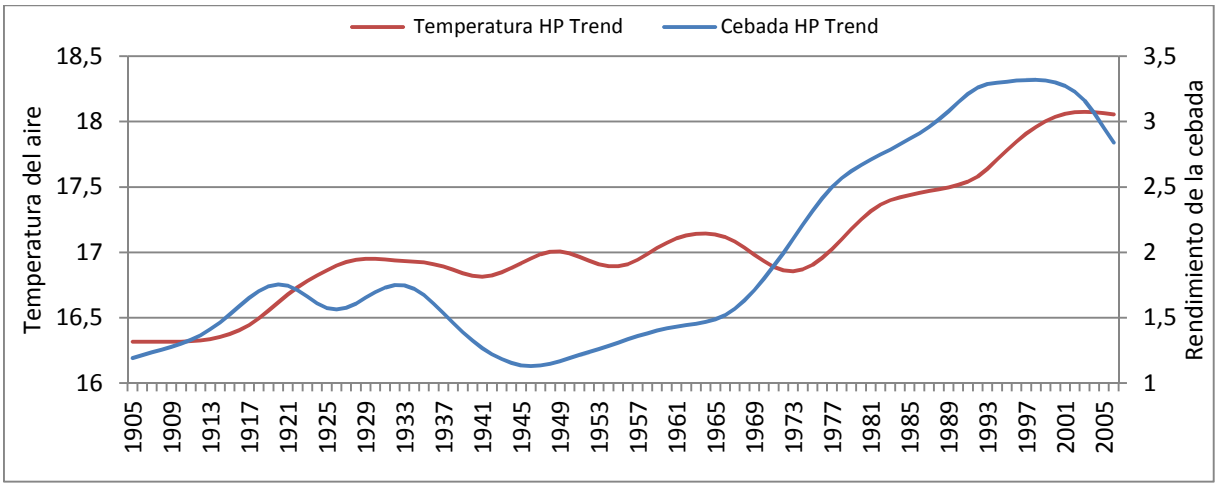

Figura 101.- Gráfico lineal de la tendencia de las señales (HP Trend) de las series temporales correspondientes al rendimiento de la cebada y la temperatura del aire entre los años 1905 y 2006.

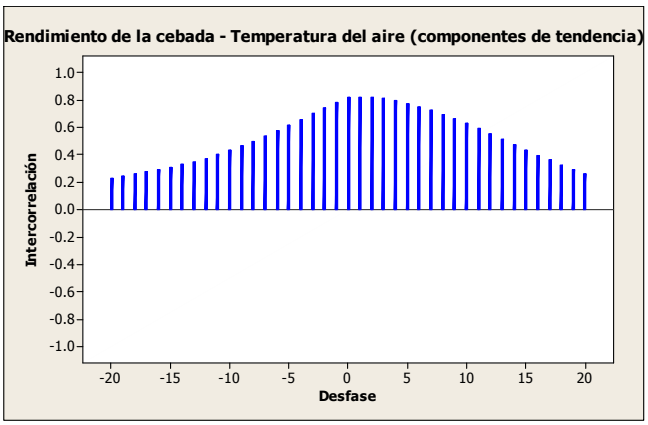

Figura 102.- Función de intercorrelación para la tendencia de las series del rendimiento de la cebada y de la temperatura del aire con un desfase de ±20 años

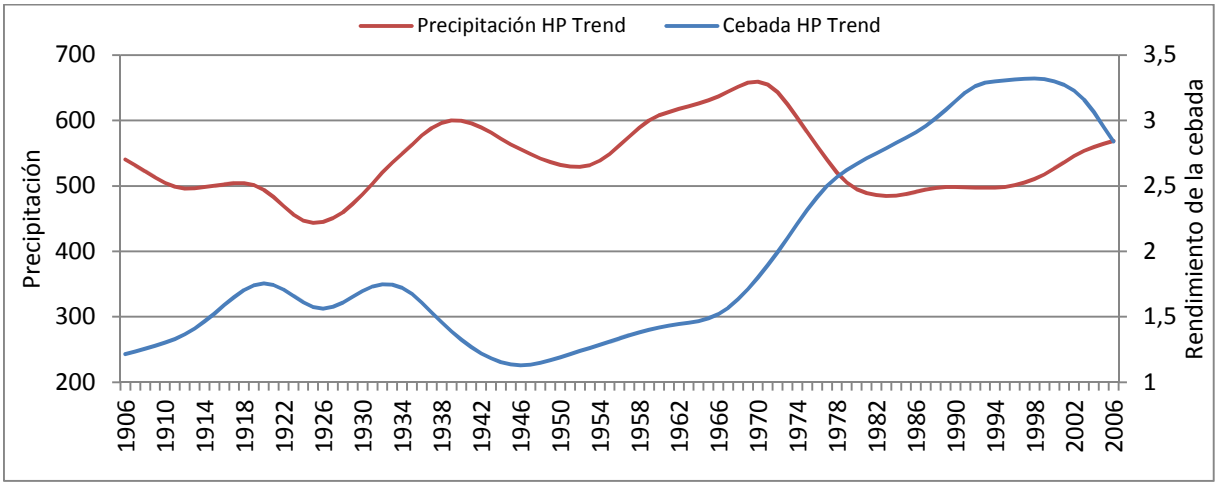

Figura 103.- Gráfico lineal de la tendencia de las señales (HP Trend) de las series temporales correspondientes al rendimiento de la cebada y la precipitaciónentre los años 1906 y 2006.

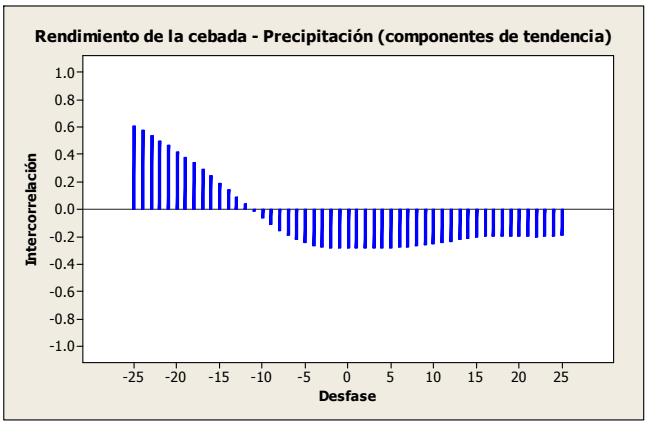

Figura 104.- Función de intercorrelación para la tendencia de las series del rendimiento de la cebada y de la precipitación con un desfase de ±20 años.

4.5.3.- Rendimiento del maíz

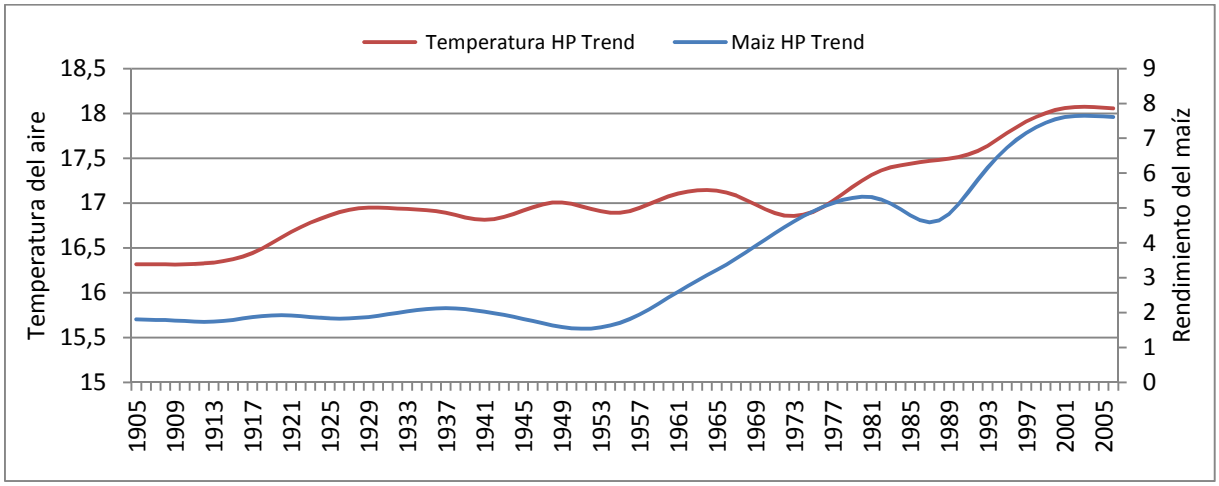

Figura 105.- Gráfico lineal de la tendencia de las señales (HP Trend) de las series temporales correspondientes al rendimiento del maíz y la temperatura del aire entre los años 1905 y 2006.

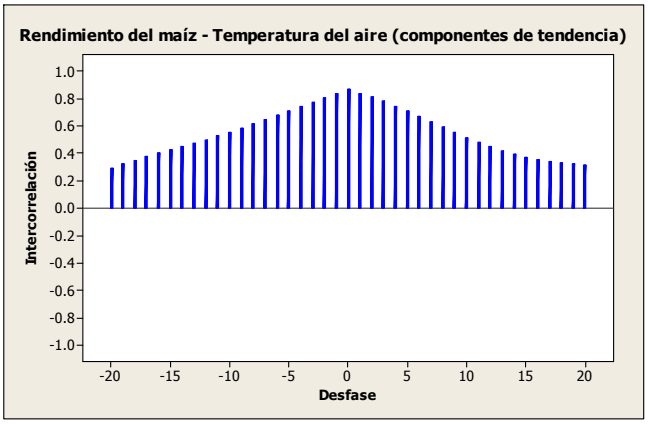

Figura 106.- Función de intercorrelación para la tendencia de las series del rendimiento del maíz y de la temperatura del aire con un desfase de ±20 años

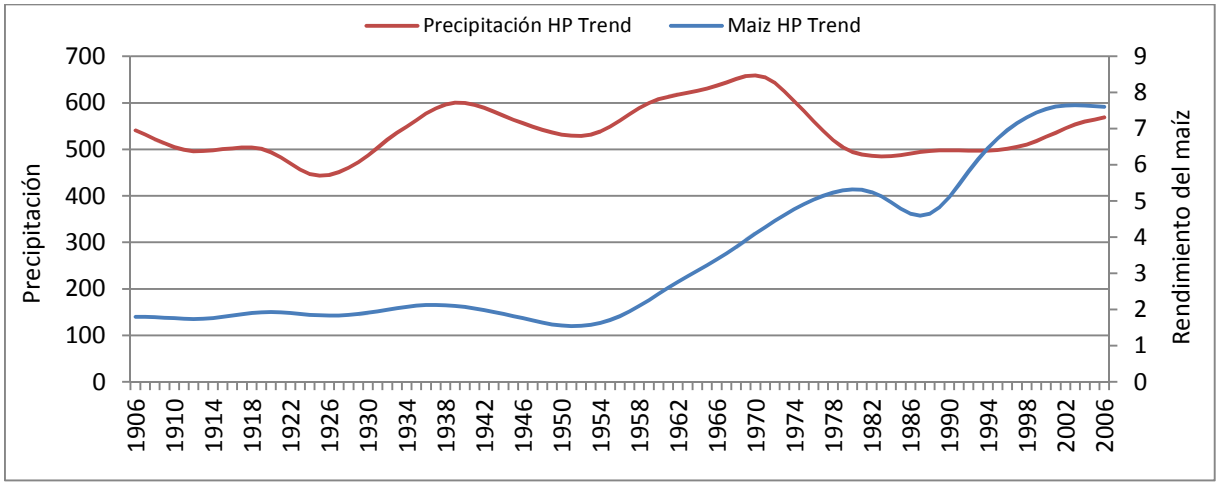

Figura 107.- Gráfico lineal de la tendencia de las señales (HP Trend) de las series temporales correspondientes al rendimiento del maíz y la precipitación entre los años 1906 y 2006.

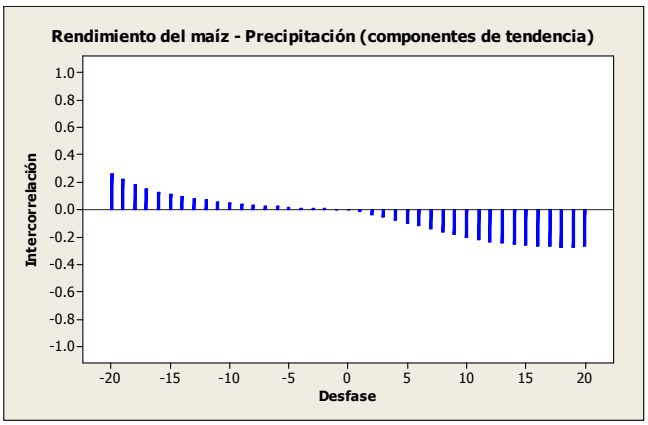

Figura 108.- Función de intercorrelación para la tendencia de las series del rendimiento del maíz y de la precipitación con un desfase de ±20 años.

4.5.4.- Rendimiento del trigo

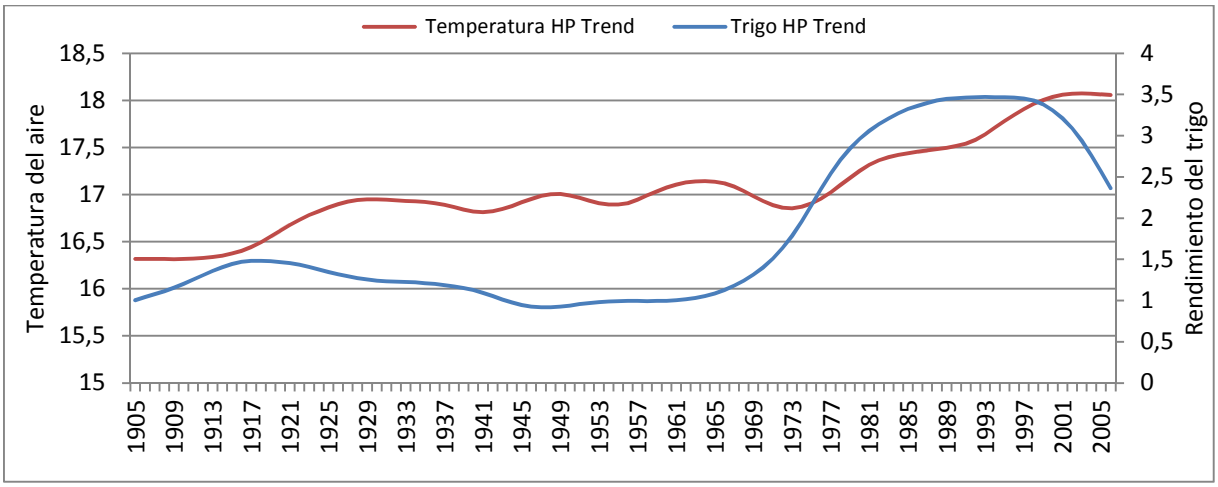

Figura 109.- Gráfico lineal de la tendencia de las señales (HP Trend) de las series temporales correspondientes al rendimiento del trigo y la temperatura del aire entre los años 1905 y 2006.

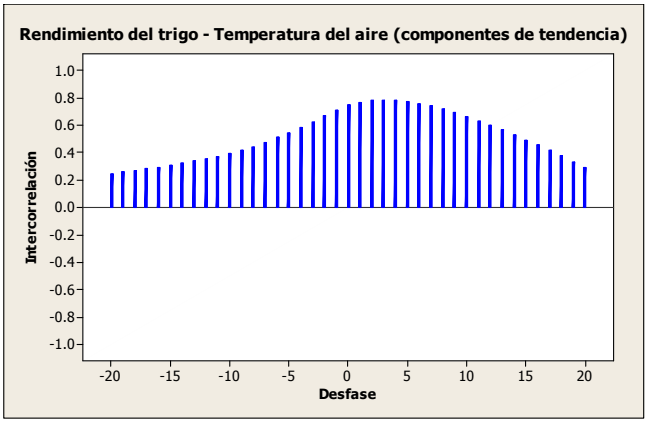

Figura 110.- Función de intercorrelación para la tendencia de las series del rendimiento del trigo y de la temperatura del aire con un desfase de ±20 años

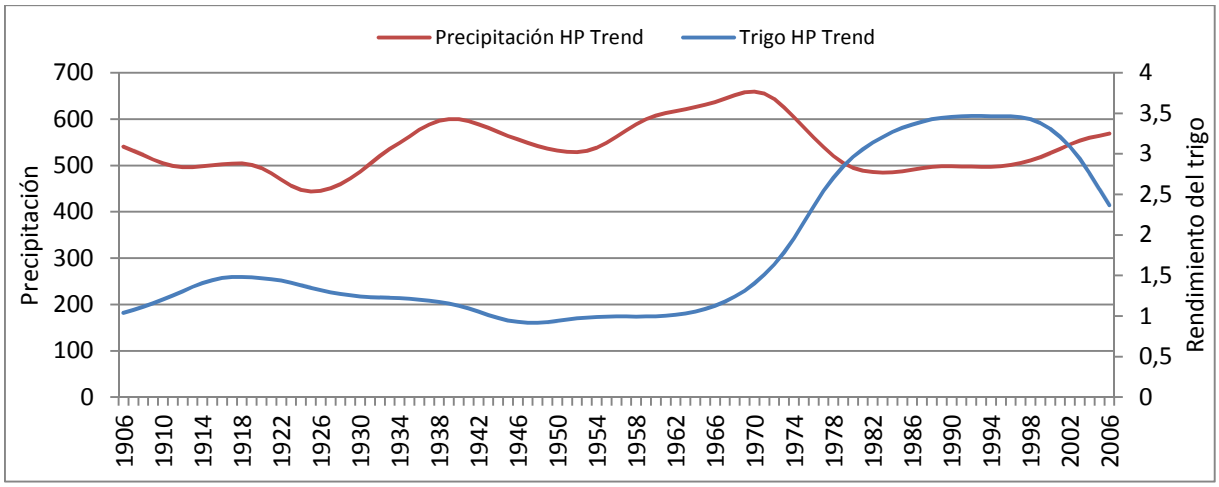

Figura 111.- Gráfico lineal de la tendencia de las señales (HP Trend) de las series temporales correspondientes al rendimiento del trigo y la precipitación entre los años 1906 y 2006.

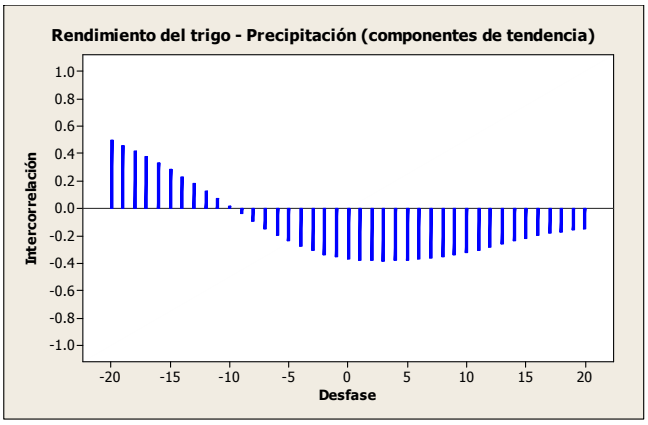

Figura 112.- Función de intercorrelación para la tendencia de las series del rendimiento del trigo y de la precipitación con un desfase de ±20 años

4.5.5.- Rendimiento de la patata

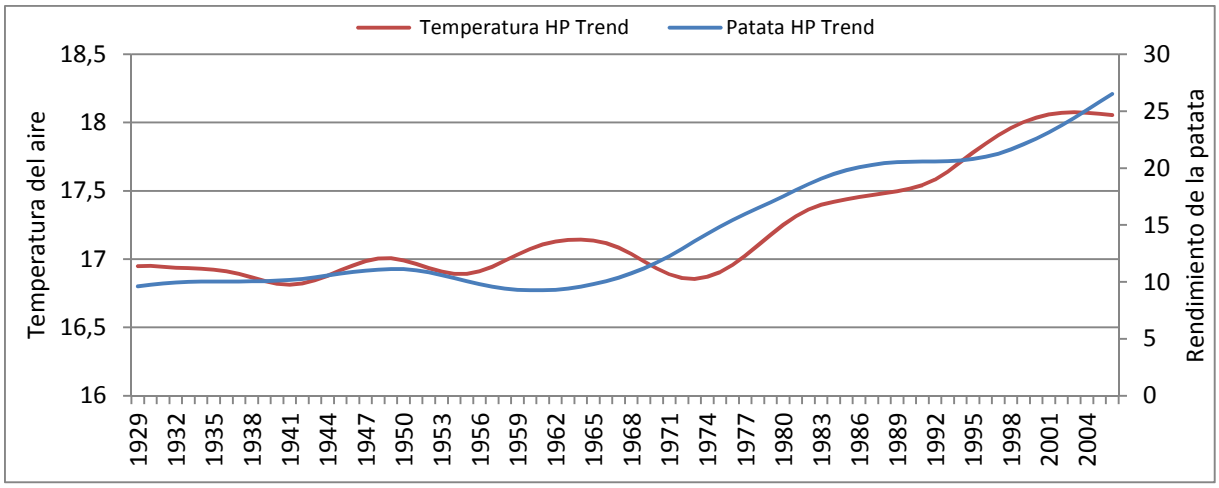

Figura 113.- Gráfico lineal de la tendencia de las señales (HP Trend) de las series temporales correspondientes al rendimiento de la patatay la temperatura del aire entre los años 1905 y 2006.

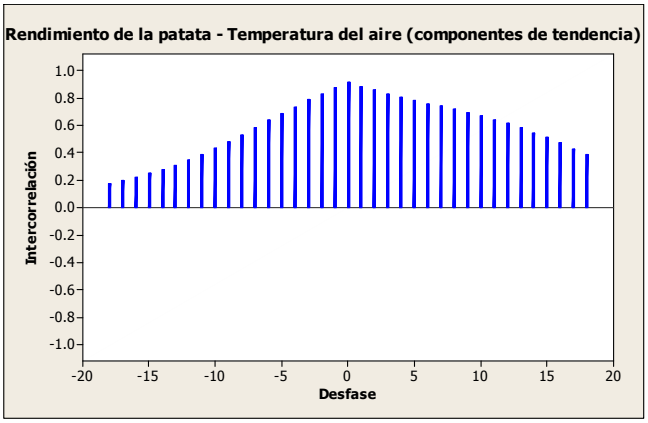

Figura 114.- Función de intercorrelación para la tendencia de las series del rendimiento de la patata y de la temperatura del aire con un desfase de ±20 años.

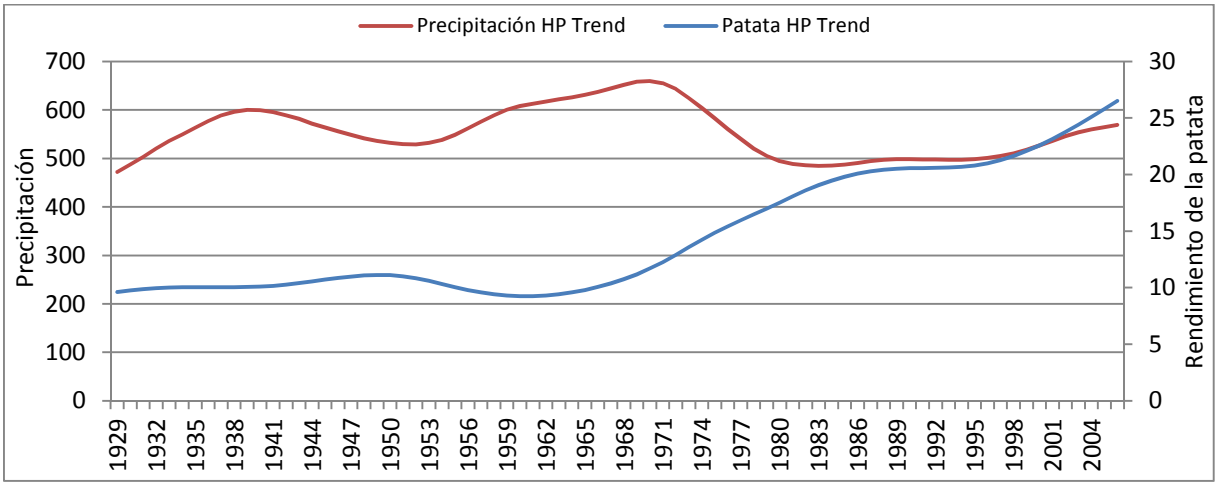

Figura 115.- Gráfico lineal de la tendencia de las señales (HP Trend) de las series temporales correspondientes al rendimiento de la patata y la precipitación entre los años 1929 y 2006.

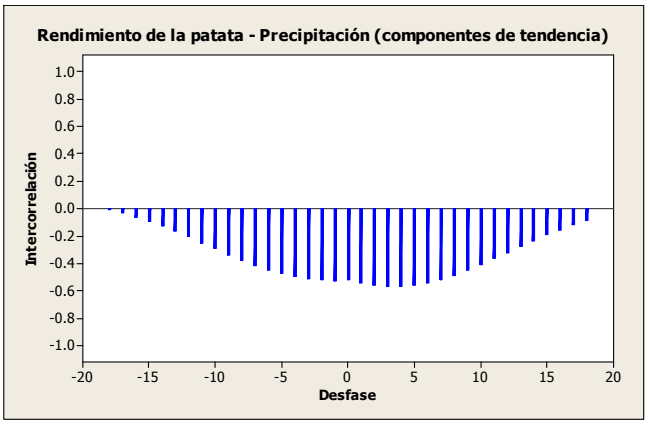

Figura 116.- Función de intercorrelación para la tendencia de las series del rendimiento de la patata y de la precipitación con un desfase de ±20 años.

4.5.6.- Rendimiento de los viñedos

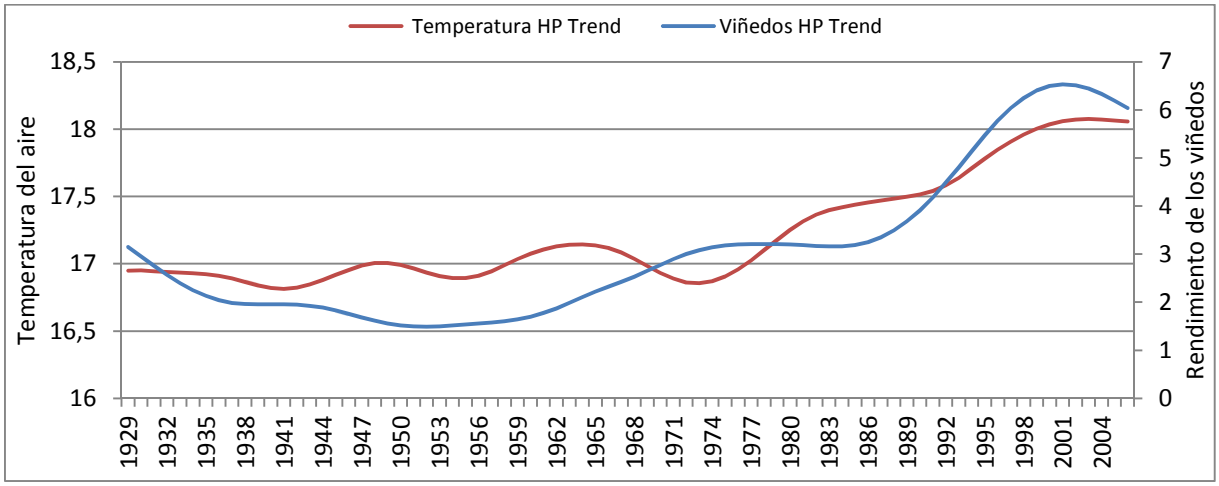

Figura 117.- Gráfico lineal de la tendencia de las señales (HP Trend) de las series temporales correspondientes al rendimiento de los viñedos y la temperatura del aire entre los años 1929 y 2006.

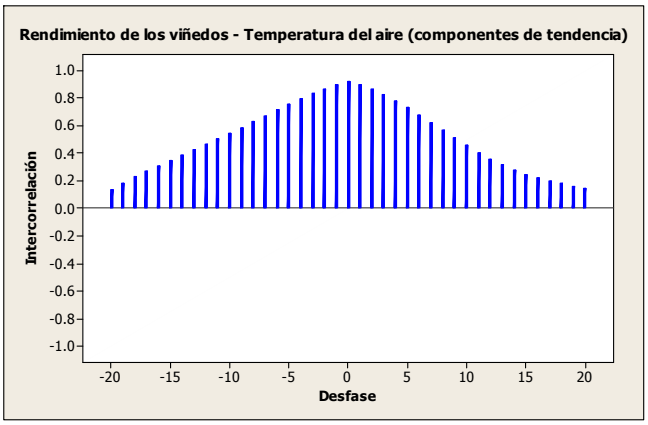

Figura 118.- Función de intercorrelación para la tendencia de las series del rendimiento de los viñedos y de la temperatura del aire con un desfase de ±20 años.

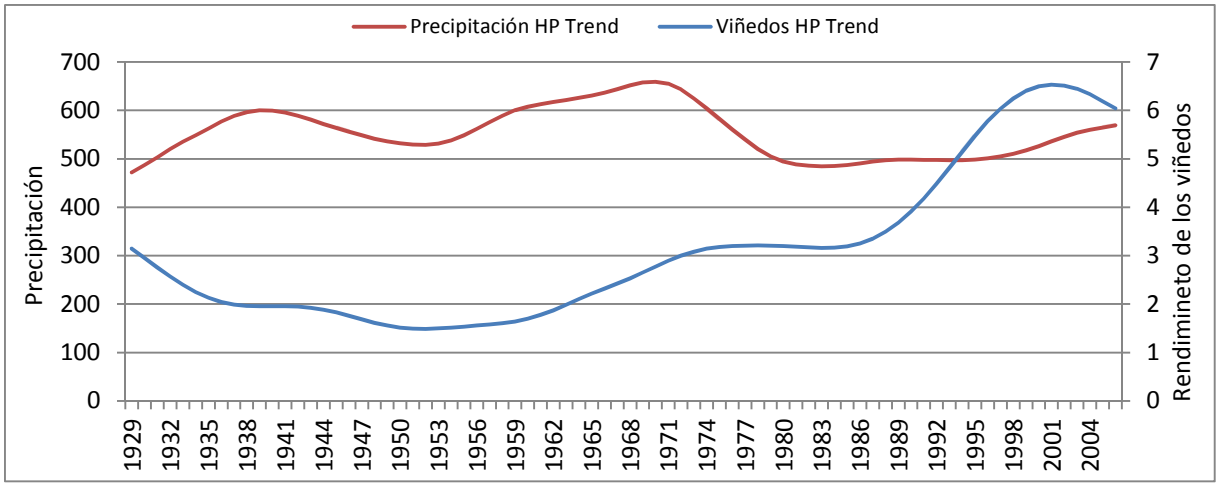

Figura 119.- Gráfico lineal de la tendencia de las señales HP Trend de las series temporales correspondientes al rendimiento de los viñedos y la precipitación entre los años 1929 y 2006.

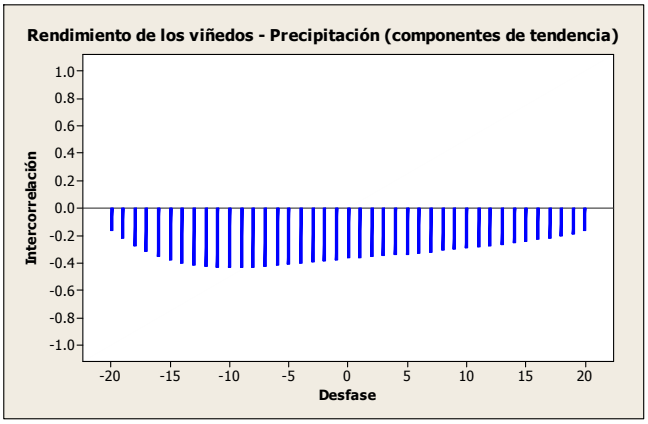

Figura 120.- Función de intercorrelación para la tendencia de las series del rendimiento de los viñedos y de la precipitación con un desfase de ±20 años.

4.5.7.- Rendimiento de la alfalfa

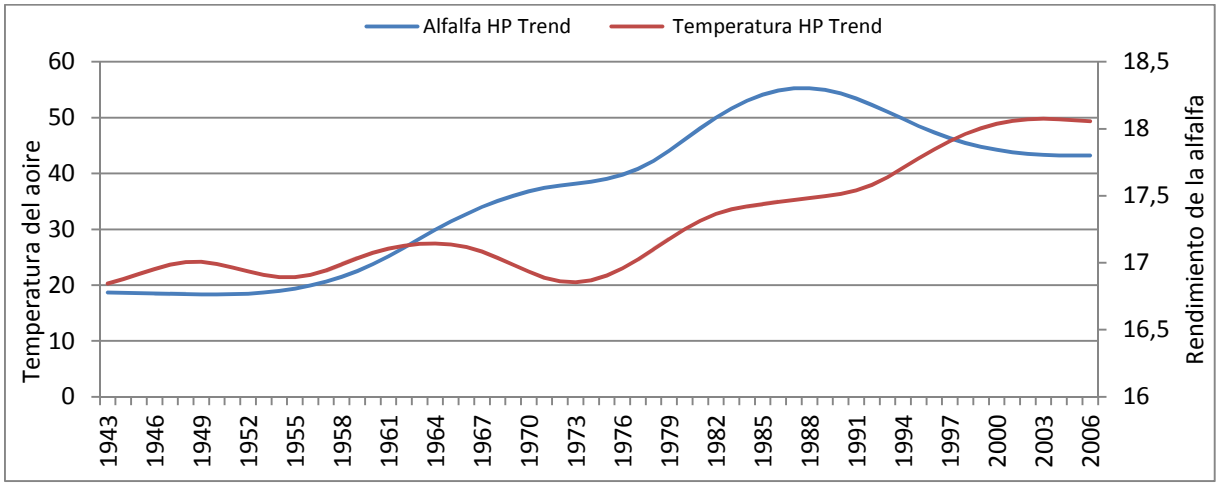

Figura 121.- Gráfico lineal de la tendencia de las señales (HP Trend) de las series temporales correspondientes al rendimiento de la alfalfa y la temperatura del aire entre los años 1943 y 2006.

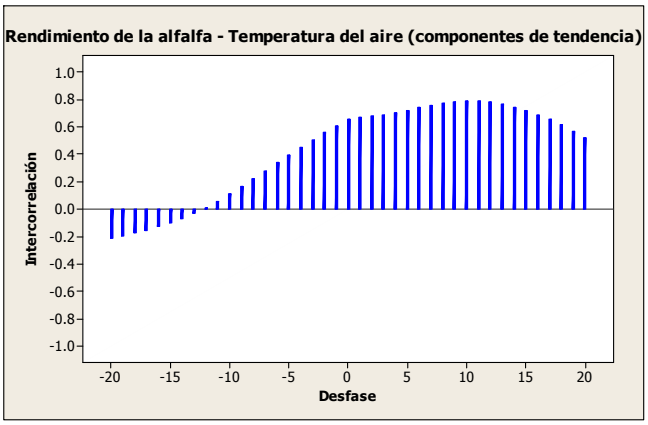

Figura 122.- Función de intercorrelación para la tendencia de las series del rendimiento de alfalfa y la temperatura del aire con un desfase de ±20 años.

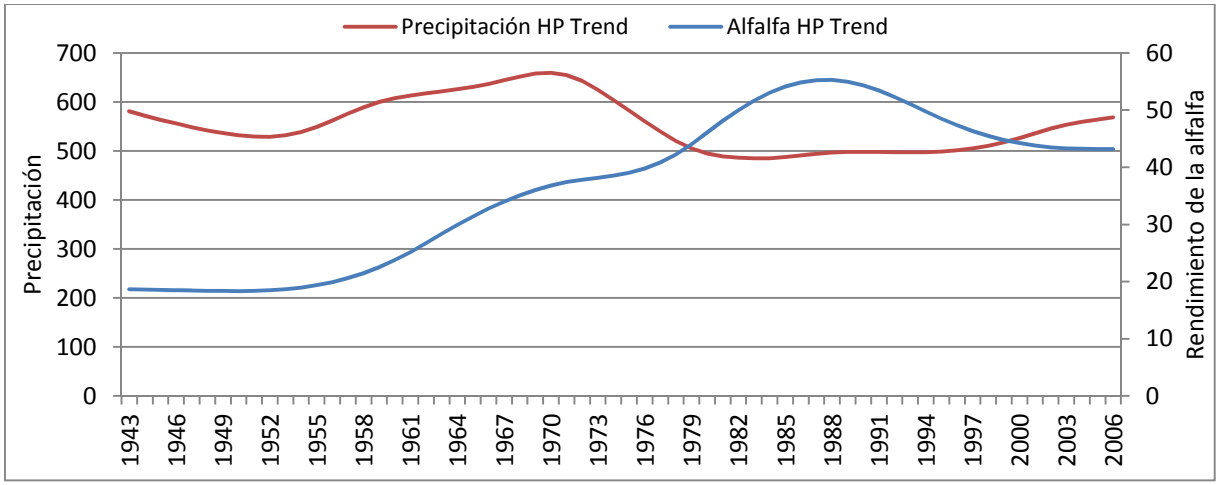

Figura 123.- Gráfico lineal de la tendencia de las señales (HP Trend) de las series temporales correspondientes al rendimiento de alfalfa y la precipitación entre los años 1943 y 2006.

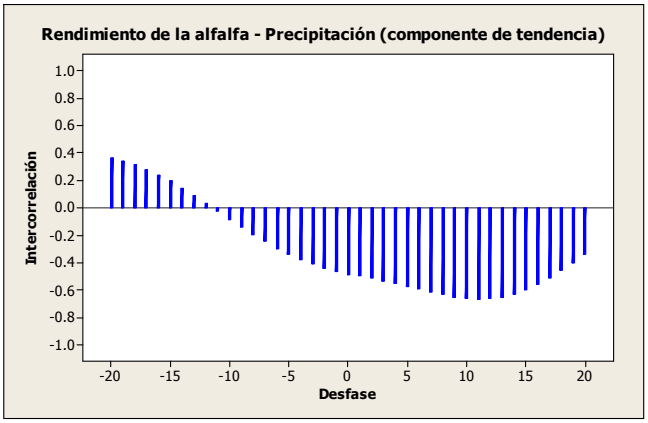

Figura 124.- Función de intercorrelación para la tendencia de las series del rendimiento de alfalfa y de la precipitación con un desfase de ±20 años.

A continuación se resume los resultados obtenidos del estudio de correlación entre las tendencias de las señales del rendimiento de los cultivos y de los factores climáticos.
Los resultados de la correlación ente los rendimientos de los cultivos y la temperatura media del aire son los siguientes:

- Rendimiento del arroz: el coeficiente de correlación lineal 0.8 y la correlación es máxima cuando no hay desfase entre las señales con un valor de 0.82.
- Rendimiento de la cebada: el coeficiente de correlación lineal es 0.82siendo a la vez el valor máximo de la correlación cuando no hay desfase entre las señales.
- Rendimiento del maíz: el coeficiente de correlación lineal es 0.87siendo a la vez el valor máximo de la correlación cuando no hay desfase entre las señales.
- Rendimiento del trigo: el coeficiente de correlación lineal es 0.75 siendo a la vez el valor máximo de la correlación cuando no hay desfase entre las señales.
- Rendimiento de la patata: el coeficiente de correlación lineal es 0.92siendo a la vez el valor máximo de la correlación cuando no hay desfase entre las señales.
- Rendimiento de los viñedos: el coeficiente de correlación lineal es 0.93siendo a la vez el valor máximo de la correlación cuando no hay desfase entre las señales.

- Rendimiento de la alfalfa: el coeficiente de correlación lineal es 0.66siendo a la vez el valor máximo de la correlación cuando no hay desfase entre las señales.

Esto indica que los cambios en la tendencia de la señal de la temperatura del aire sirven para explicar los cambios en la tendencia de las señales del rendimiento de todos los cultivosdel mismo año. Lo hacen con coeficientes de correlación positivos muy fuertes en el caso del arroz, la cebada, el maíz, la patata y los viñedos (0.818, 0.824, 0.87, 0.92 y 0.92, respectivamente) y con un coeficiente de correlación positivo moderadamente alto en el caso del trigo y dela alfalfa (0.75 y 0.66, respectivamente).
Con lo que se considera que la tendencia de la temperatura del aire es una muy buena variable explicativa para la tendencia del rendimiento del arroz, la cebada, el maíz, la patata y los viñedos.
También se considera una variable explicativa para la tendencia del rendimiento del trigo y de la alfalfa, pero con una influencia moderada.

Los resultados de la correlación ente la tendencia de las señales de los rendimientos de los cultivos y de las precipitaciones son los siguientes:

- Rendimiento del arroz: el coeficiente de correlación lineal -0.05 y la correlación es máxima cuando hay un desfase de -20 años entre las señales con un valor de 0.5. En la figura 99 se observa a simple vista una relación entre el comportamiento de las dos señales, con una respuesta atrasada del rendimiento del arroz frente los cambios de precipitación. Este comportamiento se refleja en el resultado de la función intercorrelación comentado.
- Rendimiento de la cebada: el coeficiente de correlación lineal es -0.28 y la correlación es máxima cuando hay un desfase de -20 años entre las señales con un valor de 0.42.
- Rendimiento del maíz: el coeficiente de correlación lineal es -0.003 y la correlación es máxima cuando hay un desfase de -20 años entre las señales con un valor de 0.26.
- Rendimiento del trigo: el coeficiente de correlación lineal es -0.37 y la correlación es máxima cuando hay un desfase de -20 años entre las señales con un valor de 0.5.
- Rendimiento de la patata: el coeficiente de correlación es -0.52 y la correlación es máxima cuando hay un desfase de -1 año entre las señales con un valor de -0.53.
- Rendimiento de los viñedos: el coeficiente de correlación lineal es -0.37 y la correlación es máxima cuando hay un desfase de -10 años entre las señales con un valor de -0.43
- Rendimiento de la alfalfa: el coeficiente de correlación lineal es -0.49 siendo a la vez el valor máximo de la correlación cuando no hay desfase entre las señales.

Aunque la lectura estadística del resultado del arroz y del trigo sería que hay una correlación positiva moderada (0.5 ambos) y la de la cebada, una correlación positiva moderada-baja (0.42), no se puede afirmar que el rendimiento de estos cultivos tenga una memoria de 20 años respecto a los datos de las precipitaciones. Por esta razón no se considera la tendencia de la señal de las precipitaciones una variable explicativa para la tendencia de las señales del rendimiento del arroz, de la cebada o del trigo.

El resultado del maíz indica que los cambios en la tendencia de las precipitaciones son poco relevantes y no sirven para explicar los cambios en la tendencia del rendimiento del maíz ya que el coeficiente de correlación es débil (0.26).
Con lo que no se considera la tendencia de las precipitaciones una variable explicativa para la tendencia del rendimiento del maíz.

Por último, los resultados de la patata, los viñedos y la alfalfa indican que los cambios en la tendencia de las precipitaciones sirven para explicar los cambios en la tendencia del rendimiento de la patata (1 año después de que los primeros tengan lugar), de los viñedos (10 años después) y de la alfalfa (del mismo año). Lo hacen con coeficientes de correlación negativos moderados (-0.53 y -0.49 para la patata y la alfalfa, respectivamente) y moderado-bajo para el caso de los viñedos (-0.43).
Con lo que se considera la tendencia de la señal de la precipitación una variable explicativa para la tendencia de las señales del rendimiento de la patata, de los viñedos y de la alfalfa, pero con una influencia moderada.

Las tablas 6 y 7 muestran un resumen de los coeficientes de correlación obtenidos entre las componentes de las señales de cada uno de los rendimientos de los cultivos estudiados y la señal de la temperatura del aire y las precipitaciones, respectivamente. Para cada relación se indica el mayor coeficiente de correlación obtenido y se especifica para cuantos años de desfase entre las dos señales tiene lugar. En amarillo destacan los casos en que existe un coeficiente de correlación moderado y en rojo los que tienen un coeficiente de correlación muy fuerte.

Los resultados observados en la tabla 7 llevan a la siguiente discusión: se debe tener en cuenta que la precipitación no necesariamente es una variable explicativa, ya que el agua se embalsa.

	TEMPERATURA DEL AIRE								
	Señal Total			Señal Tendencial			Señal Cíclica		
Arroz	Coef. Corr. Pears.	Intercorrelación		Coef. Corr. Pears.	Intercorrelación		Coef. Corr. Pears.	Intercorrelación	
		años de desfase	0		años de desfase	**0**		años de desfase	-9
	0.52		0.52	0.80		**0.82**	0.09		-0.21
Cebada	Coef. Corr. Pears.	Intercorrelación		Coef. Corr. Pears.			Coef. Corr. Pears	Intercorrelación	
		años de desfase	-2		años de desfase	**0**		años de desfase	0
	0.44		0.52	0.82		**0.82**	-0.27		-0.27
Maíz	Coef. Corr. Pears	Intercorrelación		Coef. Corr. Pears.	Intercorrelación		Coef. Corr. Pears.	Intercorrelación	
		años de desfase	0		años de desfase	**0**		años de desfase	-14
	0.62		0.62	0.87		**0.87**	-0.13		0.21
Trigo	Coef. Corr. Pears.	Intercorrelación		Coef. Corr. Pears.	Intercorrelación		Coef. Corr. Pears.	Intercorrelación	
		años de desfase	-2		años de desfase	**0**		años de desfase	0
	0.48		0.52	0.75		**0.75**	-0.20		-0.2
Patata	Coef. Corr. Pears.	Intercorrelación		Coef. Corr. Pears.	Intercorrelación		Coef. Corr. Pears.	Intercorrelación	
		años de desfase	0		años de desfase	**0**		años de desfase	-2
	0.63		0.63	0.92		**0.92**	-0.03		0.21
Viñedos	Coef. Corr. Pears.	Intercorrelación		Coef. Corr. Pears.	Intercorrelación		Coef. Corr. Pears.	Intercorrelación	
		años de desfase	0		años de desfase	**0**		años de desfase	-14
	0.57		0.57	0.93		**0.93**	-0.24		0.28
Alfalfa	Coef. Corr. Pears.	Intercorrelación		Coef. Corr. Pears.	Intercorrelación		Coef. Corr. Pears.	Intercorrelación	
		años de desfase	-1		años de desfase	0		años de desfase	-6
	0.41		0.41	0.66		0.66	-0.12		0.29

Tabla 6.- Resumen de los coeficientes de correlación entre la temperatura del aire y el rendimiento de los cultivos

	PRECIPITACIONES								
	Señal Total			Señal Tendencial			Señal Cíclica		
Arroz	Coef. Corr. Pears.	Intercorrelación		Coef. Corr. Pears.	Intercorrelación		Coef. Corr. Pears.	Intercorrelación	
		años de desfase	-1		años de desfase	-20		años de desfase	-1
	-0.09		-0.17	-0.05		0.50	-0.08		-0.21
Cebada	Coef. Corr. Pears.	Intercorrelación		Coef. Corr. Pears.			Coef. Corr. Pears	Intercorrelación	
		años de desfase	-4		años de desfase	-20		años de desfase	0
	0.02		-0.15	-0.28		0.42	0.17		0.17
Maíz	Coef. Corr. Pears	Intercorrelación		Coef. Corr. Pears.	Intercorrelación		Coef. Corr. Pears.	Intercorrelación	
		años de desfase	-13		años de desfase	-20		años de desfase	-17
	0.01		0.08	0.00		0.26	0.03		-0.33
Trigo	Coef. Corr. Pears.	Intercorrelación		Coef. Corr. Pears.	Intercorrelación		Coef. Corr. Pears.	Intercorrelación	
		años de desfase	-20		años de desfase	-20		años de desfase	0
	-0.05		0.19	-0.37		0.50	0.16		0.16
Patata	Coef. Corr. Pears.	Intercorrelación		Coef. Corr. Pears.	Intercorrelación		Coef. Corr. Pears.	Intercorrelación	
		años de desfase	0		años de desfase	-1		años de desfase	-13
	-0.20		-0.2	-0.52		-0.53	-0.13		0.26
Viñedos	Coef. Corr. Pears.	Intercorrelación		Coef. Corr. Pears.	Intercorrelación		Coef. Corr. Pears.	Intercorrelación	
		años de desfase	-7		años de desfase	-10		años de desfase	-7
	-0.10		0.12	-0.37		-0.43	0.02		0.14
Alfalfa	Coef. Corr. Pears.	Intercorrelación		Coef. Corr. Pears.	Intercorrelación		Coef. Corr. Pears.	Intercorrelación	
		años de desfase	-1		años de desfase	0		años de desfase	-7
	-0.08		-0.17	-0.49		-0.49	0.21		-0.24

Tabla 7.- Resumen de los coeficientes de correlación entre las precipitaciones y el rendimiento de los cultivos

5.- Conclusiones

Referido a la metodología utilizada en el análisis de tendencia flexible realizado en el trabajo, se obtienen las conclusiones que se exponen a continuación.

Se concluye que los resultados obtenidos para el estudio de las tendencias lineales son factibles debido a la robustez del método Mann-Kendall y Sen, ya que además del ritmo de cambio también indica el nivel de significancia. Debido a esta aportación, los resultados obtenidos en este trabajo son más creíbles que los resultados que se habrían obtenido con otros métodos, como por ejemplo el de regresión simple, porque se ha calculado una significancia alta, que por lo tanto indica que es muy factible que en todas las señales exista una tendencia.

El método de filtrado de Hodrick-Prescott, con el que se ha trabajado por el hecho de tener un solo parámetro de ajuste y además estar éste determinado por el estado del arte, ha resultado ser un buen método representativo de las series con buenos resultados para períodos menores a 20 años. Una futura línea de trabajo consistiría en utilizar el método de filtrado de Pasa Banda para estudiar la correlación entre las series, ajustando para cada cultivo los parámetros de ajuste superior e inferior correspondientes, según los resultados que proporciona el análisis de densidad espectral. Esto podría llevar a una comparación entre ambos métodos.

Acerca de los resultados obtenidos del análisis de tendencia de cada señal, dentro de una tendencia flexible destaca la afectación negativa que tuvo el período de la Guerra Civil en la producción de arroz y de patata en Tarragona creando un descenso importante en el rendimiento de dichos cultivos. Por otro lado, las señales del rendimiento de la cebada, del trigo y de la alfalfa muestran una tendencia a estabilizarse durante el período comprendido entre los años 1940 y 1970, la cual va relacionada con la incorporación de nuevos avances tecnológicos como la construcción de presas y la incorporación de sistemas de riego, o con nuevos métodos como la mayor utilización de fertilizantes y las semillas mejoradas, contribuyendo en lo que fue la "revolución verde[5]".

Respecto a los resultados obtenidos de las técnicas de regresión y correlación cruzada entre señales se concluye lo que se expone a continuación.

En primer lugar, cabe destacar la fuerte relación que existe entre la tendencia de los rendimientos de los cultivos y la tendencia de la temperatura del aire. En este caso, se puede observar que los cambios en la tendencia de la temperatura del aire explican la tendencia del comportamiento del rendimiento de los cultivos del mismo año. Por lo tanto se considera que, a largo término, la temperatura del aire influye notablemente en el rendimiento de los cultivos analizados de la zona de Tarragona.

Por otro lado, se concluye que el comportamiento total de los rendimientos de los cultivos está ligeramente relacionado con la señal total de la temperatura del aire del

[5] Revolución verde es la denominación usada para describir el importante incremento de la productividad agrícola entre 1940 y 1970 en Estados Unidos y extraído después por numerosos países. Consistió en la siembra de variedades mejoradas de semillas, la aplicación de grandes cantidades de agua, fertilizantes y plaguicidas.

mismo año o de dos años anteriores. Aun así, la relación entre ambos es moderada, y esto indica que los cambios totales en los rendimientos de los cultivos no dependen únicamente de la temperatura del aire, sino que hay otros factores que deben ser estudiados para entender el comportamiento de estos rendimientos.
Los mismos resultados, pero con una correlación inversa (cuando la tendencia de las precipitaciones aumenta, la tendencia de estos rendimientos disminuye), se encuentran en la relación entre la tendencia de la señal del rendimiento de la patata y la alfalfa, y la tendencia de las precipitaciones.

Finalmente, se rechaza la posibilidad de que los cambios en las precipitaciones puedan afectar el rendimiento de los otros cultivos de Tarragona, ni a largo ni a corto plazo (a excepción de la relación expuesta anteriormente). También se descarta la posibilidad de que los cambios a corto plazo de la temperatura del aire provoquen cambios en el comportamiento a corto plazo del rendimiento de estos cultivos.

Así pues, de manera resumida los efectos que provocan los cambios de los factores climáticos (temperatura del aire y precipitación) en los cultivos de Tarragona son los siguientes: en primer lugar, y el que supone una reacción más importante, consiste en que la tendencia al aumento de la temperatura del aire provoca una aumento del rendimiento de los cultivos de Tarragona, a largo plazo. En segundo lugar, el aumento de la temperatura del aire en general provoca un ligero aumento del rendimiento de los cultivos. Y, finalmente, el aumento de la tendencia de las precipitaciones provoca una ligera disminución del rendimiento de la patata y de la alfalfa a largo plazo.

La variación de los ciclos de las señales climáticas no afecta a ninguno de los rendimientos de los cultivos de Tarragona, y por lo tanto no es un buen indicador de los cambios en los rendimientos de los cultivos a corto plazo.

La presencia de correlaciones moderadas, mayormente entre la temperatura del aire y los rendimientos de los cultivos, lleva a la hipótesis que otros factores que no se han estudiado en este trabajo influyan en el comportamiento del rendimiento de los cultivos. Una futura línea de trabajo como continuación de este estudio consistiría en estudiar la influencia sobre el rendimiento de los cultivos de otros factores climáticos como la radiación solar, la evapotranspiración o la contaminación del aire, especialmente interesante la concentración de CO_2 atmosférico; o de factores externos al clima como los sistemas de regadío, el uso de nuevas tecnologías aplicadas a la agricultura, el uso de pesticidas, etc.

Los resultados que se han obtenido de la precipitación indican que, en general, ésta no es una variable explicativa del rendimiento de los cultivos, contrariamente a lo que se podía esperar en un principio; esto se debe a que el agua se embalsa y se puede utilizar cuando se cree conveniente, y por lo tanto la precipitación deja de ser necesariamente una variable explicativa. En este caso, la mano del hombre puede ser un factor más relevante para el rendimiento de los cultivos que el factor climático.

Además, otra futura línea de trabajo consistiría en determinar las zonas de España dónde, debido a los efectos del cambio climático, se necesitarán nuevas infraestructuras de dotaciones de riego, relacionado con las variaciones en la producción, y los requerimientos hídricos de los cultivos.

6.- Referencia bibliográfica

Aguilar Fernández, S. (1997). *El reto del medio ambiente. Conflictos e intereses en la política medioambiental europea.* Alianza Universidad, Madrid. (Original no consultado, citado por: Arce Ruiz, R.M.& Palomino Monzón, C. (2006).*El medio ambiente y la sostenibilidad en las escuelas de ingeniería civil.*)

Arce Ruiz, R.M. & Palomino Monzón, C. (2006).*El medio ambiente y la sostenibilidad en las escuelas de ingeniería civil.* Colegio de Ingenieros de Caminos, C.P. 2006. Zaragoza, III Congreso de Ingeniería Civil, Territorio y Medio Ambiente. "Agua, Biodiversidad e Ingeniería", 25-27 de octubre de 2006.

Arce, R. (2009) - dentro de Delgado, da una opinión que no salen en ningún artículo.

Barbero, J., Muñoz D. & Rodrigo, F.S. (2004). *Estudio sobre la relación entre precipitaciones mensuales en el levante español y temperaturas de la superficie del mar en el Mediterráneo Occidental*. Departamento de Física Aplicada, Universidad de Almería.

Batista, P. (2012). *Meteorología. Hidrología*. Universidad Tecnológica de Santiago

Baxter, M. & King, R.G. (1999).*Measuring Business Cycles: Approximate Band-Pass Filters for Economic Time Serires.* University of Virginia.

Boluda, A. (2010). *Los efectos del cambio climático en la biodiversidad de Cataluña.* ECOticias. (Disponible en: http://www.ecoticias.com/naturaleza/25713/rss.php. Consultado el: 15 de noviembre de 2014).

Censo Agrario (2009). Instituto Nacional de Estadística.

Cernuda, J.M. (2011). *Las variables del clima y las del cambio climático*. EFEverde. (Disponible en: http://www.efeverde.com/opinion/las-variables-del-clima-y-las-del-cambio-climatico-por-jose-maria-cernuda/. Consultado el: 10 de noviembre de 2014).

Christiano, L.J. & Fitzgerald, T.J. (1999).*The Band Pass Filter.* NBER Working Paper No. 7257.Massachusetts, National Bureau of Economic Research Working Paper Series.

Comisión Europea (2009). *Libro blanco de adaptación al cambio climático.*

Comitee on the Science of Climate Change (2001). *Climate Change Science. An analysis of some key questions.* Division on Earth and Life Studies. Washington D.C., National Research Council.

Delgado, M. (2009). *La ingeniería civil y su lucha contra el cambio climático. El reto del compromiso.* Cauce 2000. ISSN 0212-761X (149): 6-15.

Edmunds, S. & Letey, J. (1975). *Ordenación y Gestión del medio Ambiente.* Ed. MacGraw-Hill

Felicísimo, A.M, Muñoz, J., Villalba C.J. & Mateo R.G. (2011). *Impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático de la biodiversidad española.* Madrid, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.

Gilbert, R.O. (1987). *Statistical Methods for Environmental Pollution Monitoring.* Nova York, Van Nostrand Reinhold.

Hodrick, R.J. & Prescott, E.C. (1980). *Postwar U.S. Business Cycles: An Empirical Investigation*. Carnegie Mellon University, núm. 451.
http://www.ecoticias.com/naturaleza/25713/2010/05/03/noticias-medio-ambiente-medioambiente-medioambiental-ambiental-definicion-contaminacion-cambio-climatico-calentamiento-global-ecologia-ecosistema-impacto-politica-gestion-legislacion-educacion-responsabilidad-tecnico-sostenible-obama-greenpeace-co2-naciones-unidas-ingenieria-salud-Kioto-Copenhague-Mexico. Consultado el: 12 de noviembre de 2014).

King, R.G. & Rebelo, S. (1993). *Low Frequency Filtering and Real Business-Cycles*. Journal of Economic Dynamics and Control.

Margalef, J. (2012). *Una visió económica del llarg segle XX al Camp de Tarragona i les Terres de l'Ebre.* Tarragona, Publicaciones URV.

Millán, H., Pocoví, A. & Casas, A.M. (1995). *Rev. Soc. Geol. Esp.* (Original no consultado, citado por: Barbero, J., Muñoz D. y Rodrigo, F.S. (2004). *Estudio sobre la relación entre precipitaciones mensuales en el levante español y temperaturas de la superficie del mar en el Mediterráneo Occidental.* Departamento de Física Aplicada, Universidad de Almería.)

Ministerio de Medio Ambiente 2007

National Science Foundation (2009). *Solving the Puzzle: Researching the Impacts of Climate Change Around the World.* National Science Foundation Office of Legislative and Public Affairs, NSF 09-202.

Negrão, R. (2004). *Gestión Ambiental (primera parte); Evolución de la percepción de los problemas ambientales y de la gestión ambiental.* Estrucplan. (Disponibleen:http://www.estrucplan.com.ar/articulos/verarticulo.asp?IDArticulo=740. Consultado el: 17 de noviembre de 2014).

Pellicer Armiñana, E. & Yepes Piqueras, V. (2005).*Consideraciones sobre la función de control aplicada a la gestión de proyectos de construcción.* Málaga, IX Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos, 22-24 de junio de 2005,pp 1463-1471.

Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (2006), Oficina Española de Cambio Climático, Ministerio de Medio Ambiente.

Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (2008), Primer Programa de Trabajo. Oficina Española de Cambio Climático. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marítimo.

Primer Programa de Trabajo del PNACC (2006), Oficina Española de Cambio Climático, Ministerio de Medio Ambiente.

Protocolo de Kioto (Naciones Unidas, 1998)

Ramos, A.G. (2000). *Gestión ambiental: Concepto e Importancia.* Estrucplan. (Disponible en: http://www.estrucplan.com.ar/articulos/verarticulo.asp?IDArticulo=166. Consultado el: 17 de noviembre de 2014.)

Segura Rodríguez, C. & Vásquez Carvajal, J.P. (2011). *Estimación del parámetro de suavizamiento del filtro de Hodrick y Prescott para Costa Rica*. División Económica. Costa Rica, Banco Central de Costa Rica.

Stharl, E. & John, L. (1975).*Ordenación y Gestión del medio Ambiente*. Ed. MacGraw-Hill. (Original no consultado, citado por: Ramos, A.G. (2000). *Gestión ambiental: Concepto e Importancia.* Estrucplan.)

Terrádez, M. & Juan, Á.A. (2002). *Series Temporales*. Proyecto e-math. Universitat Oberta de Catalunya.

Vila, A., Sedano, M., López, A. & Juan, Á.A. (2003). *Correlación lineal y análisis de regresión.* UOC