

TRABAJO FIN DE GRADO

Efecto de la variabilidad climática sobre la producción del Olivo en España



Aitana Caride Quiroga
Grado en Ciencias Ambientales
Julio 2014

Tutor: M^a de las Nieves Lorenzo González
Departamento de Física Aplicada

Efecto de la variabilidad climática sobre la producción del olivo en España

Trabajo Fin de Grado de Ciencias Ambientales

Facultade de Ciencias de Ourense

Aitana Caride Quiroga

Dra. M^a de las Nieves Lorenzo González, profesora titular del área de Física de la Tierra, del departamento de Física Aplicada, de la Universidad de Vigo

INFORMA:

Que el trabajo titulado "**Efecto de la variabilidad climática sobre la producción del Olivo en España**" presentado por **D^a./D. Aitana Caride Quiroga**, con **D.N.I.: 44659177P**, ha sido realizado bajo mi dirección en el departamento de Física Aplicada de la Universidad de Vigo, y autorizo su presentación como **Trabajo Fin de Grado** del **Grado de Ciencias Ambientales** al considerarlo apto para ser defendido.

Ourense , 10 de Junio de 2014

D^a. M^a de las Nieves Lorenzo González

RESUMEN

La producción agrícola de España representa el 12.1% de la producción total de la Unión Europea, detrás de Francia (23.1%) y de Alemania e Italia (ambas 15.4%) siendo la producción hortofrutícola, el viñedo y el olivar los sectores más destacados en España. Esta producción agrícola experimenta importantes cambios de un año para otro. Los factores climáticos son un recurso natural que influye en dichos cambios de forma distinta según el tipo cultivo y su situación geográfica (Moreno et al., 2005).

Debido a la gran exportación y beneficios económicos que genera este sector, el estudio de la influencia de los factores climáticos en la producción es muy importante para conocer su impacto en la agricultura. Por lo que conocer qué condiciones atmosféricas proporcionan un mayor nivel de producción puede contribuir a una mejor previsión de las expectativas del sector agrario y así conseguir un gran beneficio económico al conocer orientativamente cuanta producción se obtendría.

En este trabajo, se analiza la respuesta de la producción del olivo de mesa y de almazara en España a las variaciones climáticas observadas en el periodo comprendido entre 1980 y 2007. En el estudio se consideran los efectos de la temperatura media mensual, precipitación media mensual, los índices de los principales patrones de teleconexión que influyen en la circulación atmosférica del Atlántico y Eurasia (NAO, EA, EAWR, SCA), la influencia del fenómeno ENSO que tiene lugar en el Pacífico tropical y el índice de la oscilación del sur (SOI) para representar la variabilidad climática, la cual se relaciona con la productividad de las dos variedades de olivo a estudiar. Este análisis nos permite conocer qué condiciones atmosféricas son favorables para la producción de oliva de mesa y almazara en la península Ibérica.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	3
1.1. El olivar en España.....	5
1.1.1. Botánica y morfología	6
1.1.2. Fenología del olivar	6
1.1.3. Variedades del olivo en España.....	10
1.2. Clima de España.....	14
1.2.1. Temperatura	15
1.2.2. Precipitación	20
1.3. Modos o patrones de teleconexión.....	21
1.3.1. Oscilación del Atlántico Norte (NAO)	22
1.3.2. Patrón del Atlántico este (EA).....	24
1.3.3. Patrón del Atlántico Este/Rusia Occidental (EA/WR)	25
1.3.4. El patrón Escandinavo (SCA)	26
1.3.5. La Oscilación del Sur- El NIÑO (ENSO)	26
2. MATERIAL Y MÉTODOS	31
2.1. Datos	31
2.2. Métodos.....	35
3. RESULTADOS	39
3.1. Caracterización de la producción del olivo	39
3.2. Relación entre la producción anual del olivo y la variabilidad climática.....	46
3.3. Relación entre la producción anual del olivo y los principales modos de teleconexión	60
4. CONCLUSIONES	67
BIBLIOGRAFIA	71

1. INTRODUCCIÓN

El rendimiento agrícola en España experimenta cambios notables de un año para otro lo que afecta a la renta de los agricultores y repercute sobre las medidas que hay que adoptar para paliar los efectos negativos del clima, como el sistema de seguros agrarios. Esto, unido a la preocupación cada vez más generalizada por el posible cambio en las variables climatológicas, hace que sea importante determinar en qué medida dichas variables son un elemento de riesgo que puede afectar a la producción agrícola y si su variabilidad puede explicar parte de la varianza en la explotación de los cultivos (Quiroga e Iglesias, 2004). Como resultado de todo ello, los agricultores se enfrentan cada año a una alta incertidumbre en lo que se refiere al nivel de producto y también a su valor en el mercado. Al mismo tiempo, el sistema de seguros agrarios se enfrenta a la incertidumbre de cuanto deberán pagar por compensaciones y si las tarifas fijadas son adecuadas.

El estudio de la respuesta de las producciones agrícolas a los diferentes factores climáticos que afectan a una región tiene gran interés para el uso adecuado de los recursos y por los beneficios económicos que se pueden conseguir (Changnon y

Kunkel, 1999; Changnon y Winstanley, 2000). Los modelos del sistema suelo-planta-atmósfera consideran factores de irrigación, fertilizantes y ambientales que permiten reconocer las condiciones óptimas para los ciclos vegetativo y reproductivo de las plantas. Estos modelos también se aplican para determinar el impacto potencial del cambio climático en la agricultura (Guerena et al., 2001; Reilly et al., 2003). No obstante, por lo general, los modelos agrícolas no se ajustan adecuadamente a las producciones reales (Landau et al., 1998), lo que sugiere la necesidad de analizar los datos históricos de producciones agrícolas junto con los datos climáticos.

Las relaciones empíricas y estadísticas que se deriven de estos estudios permitirán: por una parte, atenuar los riesgos agrícolas debidos a las variaciones climáticas; y por otro lado, facilitar la labor de calibración de los modelos de cosechas a las peculiaridades climáticas regionales.

Entre los trabajos que estudian diferentes aspectos de las relaciones existentes entre las variaciones climáticas y las producciones agrícolas encontramos el de Jones y Davis (2000) que relacionaron la circulación regional y situaciones sinópticas con las producciones vitícolas de la región de Burdeos (Francia); Esteves y Manso Orgaz (2001) relacionaron la calidad del vino de la región de Viseu (Portugal) con la temperatura y precipitación. Lorenzo et al. (2013) analizaron la producción del vino de la región de Rias Baixas (España) con variables climáticas de gran escala y de escala local. Scian (2004) obtuvo las relaciones entre las producciones de trigo en la pampa Argentina con variables meteorológicas como la temperatura y la precipitación y derivadas como el agua disponible en el suelo, la evaporación, índices de sequía de Palmer y con anomalías de humedad; Zubair (2002) analizó la influencia del fenómeno de El NIÑO en la producción de arroz de Sri Lanka. Un trabajo similar fue llevado a cabo por Fraise et al. en 2008 con la producción de soja en el este de Paraguay. Menzel (2003) estudió las variaciones de la fenología de diversas plantas en Alemania con la temperatura y con la NAO (Oscilación del Atlántico Norte).

En este trabajo, se analiza la respuesta de la producción de olivo en España a las variaciones climáticas observadas. El estudio empírico/estadístico combina los efectos de la temperatura, precipitación y circulación atmosférica para representar la variabilidad climática, que se relaciona con la productividad del olivo. Este análisis

permite caracterizar las condiciones atmosféricas favorables para el desarrollo de la producción de olivo en España. De este modo, se pretende identificar los regímenes de tiempo y patrones de teleconexión que influyen en la productividad del olivo, lo que nos ofrece una aplicación potencial de gran interés (Ogallo et al., 2000), ya que los modelos climáticos predicen con bastante aproximación los modos de variación de la circulación atmosférica.

Las relaciones entre el clima y la agricultura son muy complejas. En este trabajo se plantea obtener las relaciones entre las producciones agrícolas del olivo y las variaciones climáticas mediante métodos estadísticos. El procedimiento que se seguirá es el desarrollado en la publicación (Rodríguez-Puebla et al., 2007) aplicado al olivar de mesa y almazara de la península Ibérica. En dicho trabajo se analizan las relaciones observadas entre variables climáticas de gran escala y de escala local con la producción del olivo.

1.1. El olivar en España

El olivo se considera como uno de los árboles más antiguos que ha cultivado el hombre. Es originario de la región geográfica que se extiende desde el sur del Cáucaso hasta las altiplanicies del Irán, Palestina y la zona costera de Siria, se extendió por Chipre hacia Anatolia, y a través de Creta hacia Egipto, hasta poblar todos los países ribereños del Mediterráneo. A partir del siglo XV, con los viajes oceánicos de Colón, pasó y se extendió por el nuevo mundo y, en la actualidad, se cultiva en Sudáfrica, China, Japón y Australia.

Aunque el crecimiento del olivo es posible en otras latitudes, el hábitat del olivo se concentra entre las latitudes 30° y 45°, tanto en el Hemisferio Norte como en el Hemisferio Sur, en regiones climáticas del tipo mediterráneo, caracterizadas por un verano seco y caluroso.

El patrimonio oleícola existente se estima aproximadamente en 1000 millones de olivos, ocupando una superficie aproximada de 10 millones de hectáreas. EL 98% del total se sitúa en los países de la Cuenca Mediterránea, 1.2% en el continente Americano, 0.4% en Asia Oriental y otro 0.4% en Oceanía. Actualmente el 95% del área mundial cultivada se encuentra en el área mediterránea (Barranco et al., 2008).

1.1.1. Botánica y morfología

El olivo, *Olea europaea* L., pertenece a la familia botánica Oleaceae, que comprende especies de plantas distribuidas por las regiones tropicales y templadas del mundo. Es un árbol perennifolio, longevo, y probablemente el árbol subtropical más resistente al frío. Es la única especie de la familia botánica Oleaceae con fruto comestible.

El olivo es un árbol de tamaño mediano, de unos 4 a 8 metros de altura, según la variedad. Puede permanecer vivo y productivo durante cientos de años. El tronco es grueso y la corteza color gris a verde grisáceo. La copa es redondeada y bastante densa.

Las hojas del olivo son persistentes y normalmente sobreviven dos o tres años, aunque también permanecen en el árbol hojas de mayor edad. Son hojas simples, de forma lanceolada y con bordes enteros y se disponen de forma opuesta; tienen un pequeño peciolo y el limbo entero.

La estructura anatómica de la hoja del olivo sirve en muchos aspectos para su adaptación a ambientes de alta transpiración, es decir, para protegerla de la pérdida del agua. El haz, la superficie superior, es verde oscuro y brillan debido a la presencia de una gruesa cutícula. El envés, la superficie inferior, tiene un color blanquecino y está cubierto de pelos aparasolados blanco-plateados.

Las flores son hermafroditas y aparecen en panículas axiales. Tienen un cáliz forado por un tubo corto y cuatro lóbulos un poco más marcados y corola blanquecina con cuatro lóbulos.

Por último el fruto llamado aceituna es de tipo drupa de forma elipsoide verde al principio y negruzco en la madurez, con el mesocarpo carnoso y rico en aceite (Barranco et al., 2008).

1.1.2. Fenología del olivar

La fenología se refiere al seguimiento de los distintos estados o etapas que transcurren en una planta a lo largo de su ciclo durante el año mediante la

observación de sus elementos externos como son yemas, flores y frutos, guardando siempre relación con las condiciones atmosféricas.

El estudio de la fenología es importante en cualquier planta debido a su relación con el clima en general y el microclima en el que se desarrolla la planta, actuando así como un bioindicador.

A continuación se describen los procesos a lo largo del ciclo del olivo, que van desde la brotación de las yemas a la salida del invierno hasta la maduración de los frutos y entrada en reposo del olivo al retorno del siguiente invierno (Marcos, 2012; Barranco et al., 2008).

- **Brotación**

El crecimiento y desarrollo de las plantas se produce a partir de las yemas. Cuando una yema despierta e inicia su crecimiento, formará un brote en el cual irán apareciendo nuevas hojas y a su vez nuevas yemas sobre un nuevo tallo.

En el caso del olivo, el final del invierno es el que desencadena el proceso de la brotación. Sus yemas a diferencia de las de casi todas las plantas leñosas, se encuentran visibles a simple vista, no están protegidas por escamas, y de ahí también el que sean más sensibles al frío.

Las fechas están muy influenciadas principalmente por el clima, y sólo en parte por la variedad del olivo u otros aspectos. En condiciones de inviernos más rigurosos esta brotación es más tardía, e incluso en climas extremadamente opuestos por su calidez puede darse el caso de que el olivo no detenga su crecimiento en invierno, aunque esto lleve asociado que la floración no se produzca o que lo haga de una forma escasa e irregular.

Los nuevos brotes que se van formando experimentan un rápido crecimiento en primavera, sufren una parada en verano y continúan su crecimiento algo más lento en otoño. En climas fríos este crecimiento otoñal puede no existir, y en los más suaves puede incluso no producirse una parada de verano, aunque todo esto está influenciado mayoritariamente por el agua disponible en las raíces del olivo.

De esta forma, cuando se observa un olivo, no sólo se puede apreciar la carga de aceitunas presente sino también y en cierta medida se puede estimar la cosecha de aceitunas del año siguiente. Así si el olivo no ha tenido una brotación suficiente en el año presente, la cosecha del año venidero podría resultar escasa.

- **Floración**

La floración es un momento clave entre las etapas por las que pasa un olivo en su ciclo anual. En esta fase el olivo, como cualquier planta de reproducción sexual, desarrolla una importante cantidad de flores con el objetivo de ser fecundadas y convertirse así en nuevos frutos.

La floración se hace visible a mediados de mayo con variaciones dependientes del lugar donde se cultiva el olivo, la variedad, el año, etc. y su duración no viene a pasar más allá de una semana, aunque desde que se abre la primera flor hasta la última en un mismo olivo puede pasar un tiempo superior, de hasta tres semanas. Durante ese tiempo el polen que es vertido a la atmósfera es muy elevado en comparación a otras plantas. Sin embargo, muy pocas flores se convertirán en frutos. Quizás el uno o dos por ciento de las que aparecieron al principio, pero serán en cualquier caso suficientes para producir aceitunas cada año.

- **Cuajado y crecimiento**

La floración se ve culminada cuando las flores han quedado fecundadas, siendo por tanto el inicio de un nuevo fruto o aceituna. Este proceso se denomina también cuajado, al que le sigue inmediatamente después una caída natural de parte de esos nuevos frutos dejando en el olivo aquellos que será capaz de alimentar posteriormente.

A partir de ese momento y desde junio hasta su completa maduración en noviembre, el fruto pasará por dos etapas de desarrollo: el crecimiento rápido y la acumulación de reservas, dos etapas perfectamente separadas por un momento clave, el endurecimiento del hueso que llegará aproximadamente en el mes de julio.

La floración finaliza a finales de mayo y hasta la llegada del verano en el que las temperaturas serán más elevadas y las horas de luz también el olivo se prepara.

Durante este periodo el olivo hará engordar sus frutos para que en su etapa final de crecimiento éstos transformen en aceite las reservas que han acumulado. Además el olivo debe hacer crecer los brotes con hojas para que se conviertan en ramillas con nuevas hojas sobre los que el olivo volverá a florecer la primavera siguiente. Por lo tanto, el olivo tiene que aprovechar el agua y nutrientes del suelo, pues una vez llegue el verano las temperaturas elevadas dificultarán la actividad y el olivo entrará en una parada acumulando azúcares y otras sustancias de reserva. El endurecimiento del hueso marcará el final de este periodo. Es ahí cuando el fruto ha llegado a la adolescencia tras un periodo de crecimiento rápido transitoriamente frenado por el endurecimiento de hueso, para retomar su desarrollo posterior de manera más lenta hasta su maduración.

- **La parada del verano**

Tras el endurecimiento del hueso, los frutos, con un tamaño parecido al definitivo y con un color verde intenso, irán acumulando reservas de manera paulatina hasta llegar a la maduración. Las altas temperaturas y la falta de agua hacen que los olivos detengan su actividad durante la mayor parte de las horas del día, de tal forma que economizarán al máximo el agua enviada por las raíces.

El fruto en un principio acumulará las reservas en forma de azúcares que posteriormente transformará en ácidos grasos que forman el aceite. Por ello la maduración es un proceso, que puede ocupar todo el otoño y llegar incluso al invierno.

- **Envero**

Es al final del verano, con temperaturas máximas y longitud del día en gradual descenso, cuando los frutos del olivo entran en una etapa final decisiva y marcada por el fenómeno del envero, es decir, el cambio de color del fruto. Esta etapa final en el desarrollo del fruto se debe seguir con cuidado, porque no se repite todos los años en las mismas fechas, si no que la sequedad o baja cosecha pueden adelantarlo y un año abundante retrasarlo.

El momento del envero tiene mucha importancia cuando hablamos de aceituna de mesa, ya que las características del fruto cambian de manera rápida y a partir de

cierto momento no son adecuadas para usarse para mesa, por lo que la recolección en ese caso no puede pasarse de cierta fecha marcada por el envero. En el caso de los aceites también es clave no excederse de maduración ya que sus aceites perderían parte de sus aromas más delicados.

Por último, el momento final del envero coincide con la máxima concentración de aceite en los frutos, aunque la recolección tradicionalmente demore un tiempo en la creencia que ese aceite aún debe aumentar.

- **Maduración**

El final del envero marca la maduración total del fruto. Es por tanto al finalizar el otoño y con el envero completado cuando la aceituna ya ha acumulado todo su aceite y se hace necesaria la recolección. En la figura 1.1 se muestra de forma esquemática todas las etapas de desarrollo del olivo.

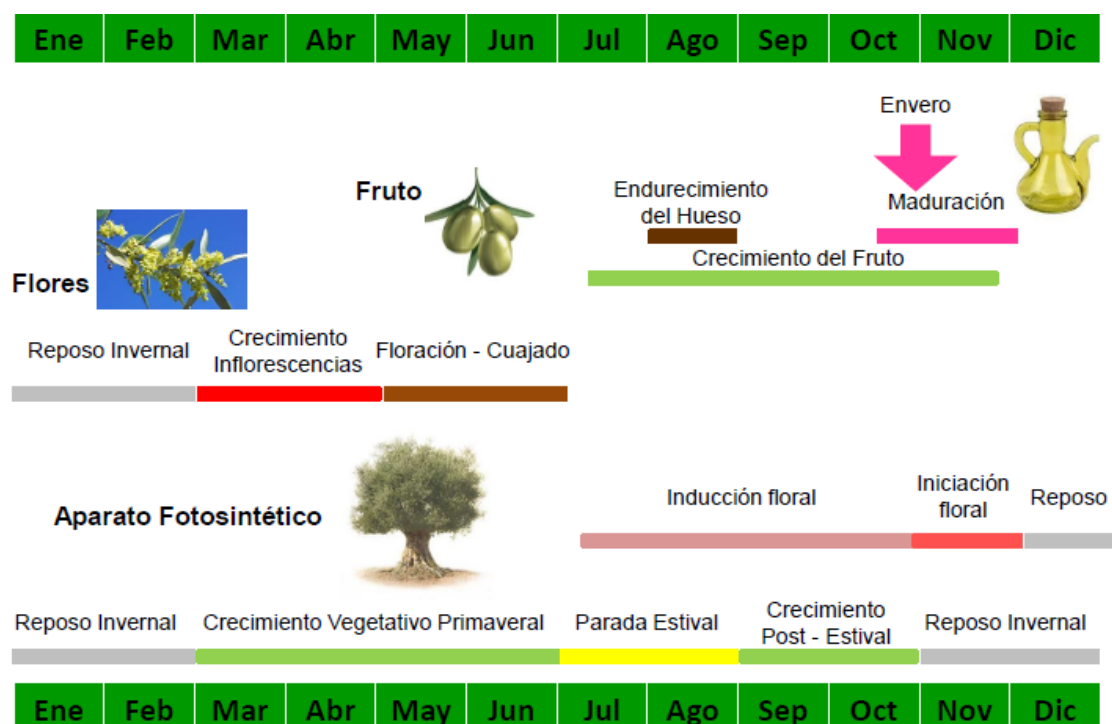


Figura 1.1. Etapas del olivo.

1.1.3. Variedades del olivo en España

Durante el desarrollo y expansión del cultivo del olivo, se ha llevado a cabo un proceso de selección de individuos en función de la producción, características del

fruto y de su adaptación a las condiciones edafoclimáticas. Este proceso de selección, junto con el sistema de propagación vegetativo, ha dado lugar a la gran variabilidad observada dentro de la especie, como lo muestra el elevado número de variedades descritas.

Sólo en España se han registrado 262 variedades diferentes, que se caracterizan por su antigüedad, por su localización ya que su cultivo se centra en una zona determinada y por su homogeneidad genética consecuencia del sistema de propagación vegetativo y de la escasa incidencia de mutaciones.

El olivar español está presente en 34 provincias de 13 Comunidades Autónomas. Ocupa una superficie de 2.584.564 hectáreas, de las que el 96% corresponden a variedades de aceituna para almazara y el 4% restante a variedades para mesa.

- **Variedades de aceituna de mesa**

La aceituna de mesa es un sector muy diferente al del aceite, hasta el punto que ambos sólo tienen en común el olivo que produce la materia prima. Sabemos que casi de cualquier variedad de olivo puede salir un buen aceite, pero por el contrario son limitadas las posibilidades en variedades aptas para aceituna de mesa.

Según el Consejo Oleícola Internacional, se denomina aceituna de mesa al fruto de variedades determinadas del olivo cultivado, sano, cogido en el estado de madurez adecuado y de calidad que, sometido a las preparaciones adecuadas, dé un producto de consumo y buena conservación como mercancía comercial.

Las principales variedades españolas con dedicación exclusiva a aceitunas de mesa son (figura 1.2):

_ **Manzanilla Sevillana:** Es la variedad de olivo más difundida internacionalmente debido a su productividad y calidad del fruto. Su precoz entrada en producción la hacen ideal para plantaciones intensivas. Se la considera susceptible al frío invernal. Presenta elevada relación pulpa/hueso y un contenido aceptable en aceite cuando se destina a molino.

_ **Gordal Sevillana:** Tanto su origen como su cultivo está vinculado a la provincia de Sevilla. Su fruto es de gran tamaño acorazonado y algo asimétrico. Se

considera tolerante al frío invernal. Su producción es variable, pues presenta problemas de cuajado que, a veces, mejoran con una buena polinización. El contenido de aceite de sus frutos es muy bajo.

Otras variedades pero sin un uso exclusivo para mesa sino que también se emplean para la elaboración de aceite son: manzanilla cacereña, hojiblanca y aloreña.

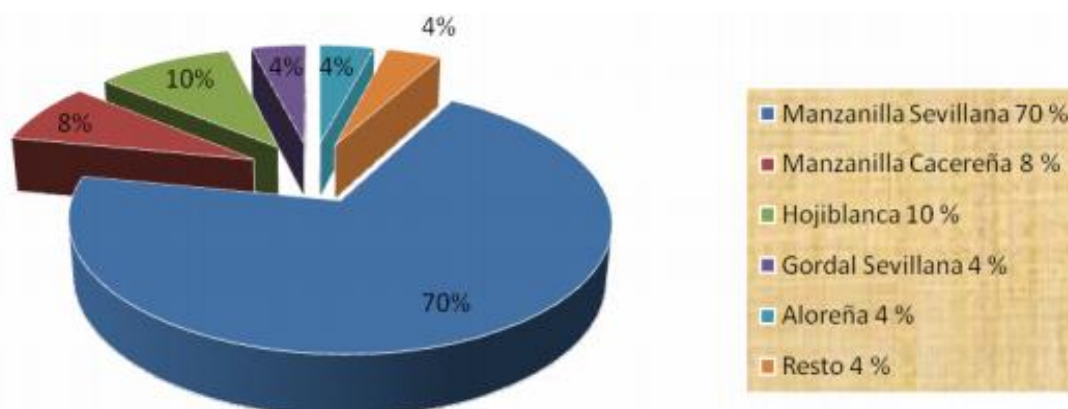


Figura 1.2. Estimación varietal aceituna de mesa. <http://www.variedadesdeolivo.com>.

Los tipos de aceitunas de mesa, en función del grado de madurez de los frutos frescos, se clasificarán en uno de los siguientes tipos:

- _ Aceitunas verdes: frutos recogidos durante el ciclo de maduración, antes del invierno, cuando han alcanzado su tamaño normal.
- _ Aceitunas de color cambiante: frutos recogidos antes de su completa madurez, durante el invierno.
- _ Aceitunas negras: frutos recogidos en plena madurez o poco antes de ella.

• **Varietades de aceituna de almazara**

En una almazara se extrae el aceite de oliva a partir de las aceitunas recolectadas en los olivares. Estas aceitunas deben ser recogidas en el momento de su madurez óptima, considerando como tal el estado en el que el fruto tenga la máxima cantidad de aceite y de mejores características.

La diferencia de sabores entre unos aceites y otros depende, entre otras cosas, de la variedad de aceituna utilizada y de las condiciones climáticas variables a las que

cada año es sometida la aceituna. Las variedades más empleadas para la elaboración del aceite son:

_ Picual: Es la variedad que más se produce en el mundo, representa un 20% a nivel mundial y un 50% en España. Lo más destacable es su alta productividad, por ello está tan extendida esta variedad, además de adaptarse fácilmente a las condiciones del clima y suelo. Su aceite es de calidad media, aunque destaca por su índice de estabilidad y por su elevado contenido en ácido oleico.

_ Arbequina: Es una de las variedades con mayor porcentaje de extracción de aceite. Es muy apreciada por su elevada productividad, buen rendimiento graso y excelente calidad de aceite, aunque éste presente baja estabilidad.

_ Picudo: Es muy valorada por su elevado rendimiento graso y por las excelentes características organolépticas de su aceite. La época de maduración de sus frutos es tardía.

_ Cornicabra: Es apreciada por su elevado rendimiento graso y por la calidad de su aceite, de excelentes características organolépticas y elevada estabilidad. Sus frutos presentan una maduración tardía y elevada resistencia al desprendimiento.

_ Empeltre: Variedad apreciada por su productividad, excelente calidad de aceite y la maduración temprana de sus frutos.

_ Lechin Sevilla: Su contenido en aceite es medio aunque de calidad.

_ Farga: la maduración de sus frutos es muy temprana y su contenido en aceite es elevado y de muy buena calidad pero de difícil extracción.

- **Variedades de aceituna de doble aptitud**

Son las aceitunas destinadas al aceite o a ser aceitunas de mesa. Las variedades que presentan doble aptitud son:

_ Hojiblanca: Tiene doble aptitud y se considera muy adecuada para ser aceituna de mesa. Sus frutos presentan un contenido en aceite bajo, aunque apreciado por su calidad.

_ Verdial de Badajoz: Su contenido en aceite es medio y de buena calidad, presenta una productividad elevada y relativamente constante. Se utiliza tanto para

aceituna de mesa como para almazara, donde son muy apreciadas por su alto rendimiento graso.

— Cacereña: Es muy apreciada para ser aceituna de mesa verde o negra. Su contenido en aceite es bajo aunque de calidad.

La siguiente tabla (tabla 1.1) muestra un resumen de las variedades más importantes de aceitunas destinadas a aceite, a mesa o a ambos usos.

Tabla 1.1. Variedades más importantes de aceitunas.

ALMAZARA	Picual
	Arbequina
	Empeltre
	Cornicabra
	Picudo
	Lechin Sevilla
	Farga
MESA	Gordal Sevilla
	Manzanilla Sevilla
DOBLE APTITUD	Hojiblanca
	Verdial de Badajoz
	Cacereña

1.2. Clima de España

Tal y como se ha visto la calidad y producción del olivo es muy dependiente de las condiciones climáticas, principalmente de la temperatura y la precipitación. La península Ibérica presenta una gran variedad de climas debidos a su situación geográfica y a su orografía. Se encuentra situada en el límite sur de la influencia del frente polar que, con sus borrascas asociadas, es responsable del clima húmedo continental de la zona occidental de Europa. Por otro lado, también se encuentra en el límite norte de la acción de las zonas de altas presiones tropicales que, debido a que portan aire cálido y seco, generan las grandes extensiones desérticas del Sahara.

De manera general, el norte peninsular estará más influenciado por el sistema ciclónico de borrascas, mientras que el sur estará dominado por un clima más tropical. Debido a la dinámica de la atmósfera, es frecuente que durante el invierno las frentes húmedos provenientes del Atlántico barran la Península, provocando lluvias intensas. Con la llegada del verano, la influencia de las altas presiones tropicales, el anticiclón de las Azores, se intensifica determinando un tiempo caluroso y seco del que escapa sólo la Cornisa Cantábrica, que sigue siendo influenciada por los frentes atlánticos, aunque en menor medida. Se puede decir que el clima de la Península sólo presenta dos estaciones principales, verano e invierno, ya que tanto la primavera como el otoño son estaciones de transición en las que, de manera habitual, se alternan situaciones intermedias de verano o invierno (Martín-Vide y Olciana, 2001).

Sin embargo, esta situación ideal se ve alterada con frecuencia debido a la naturaleza dinámica de la atmósfera. De esta forma, las ondulaciones del frente polar pueden ser más acusadas, provocando la alteración del patrón general y extendiendo las condiciones de humedad continental por la Península. De la misma forma, estas ondulaciones pueden ser más débiles, de manera que los anticiclones tomen mayor relevancia y extiendan un clima más cálido y seco (Martín-Vide y Olciana, 2001). A continuación se analiza la temperatura media, máxima y mínima, y también la precipitación en la península Ibérica, utilizando los datos de la base Spain02 (<http://www.meteo.unican.es/es/datasets/spain02>).

1.2.1. Temperatura

A continuación se muestran las temperaturas anuales, mínimas, máximas y medias, de la península Ibérica así como los valores de los meses de invierno (diciembre enero y febrero) y de los meses de verano (junio, julio y agosto). Los valores mensuales y anuales son resultado de las medias de los valores diarios de la base Spain02 (<http://www.meteo.unican.es/es/datasets/spain02>).

— Temperatura media

En cuanto a los valores de las temperaturas medias anuales (figura 1.3) estos varían entre valores inferiores a 2.5°C en las áreas de mayor altitud y norte de la Península,

y valores superiores a 17°C que se producen esencialmente en las provincias del Sur de España.

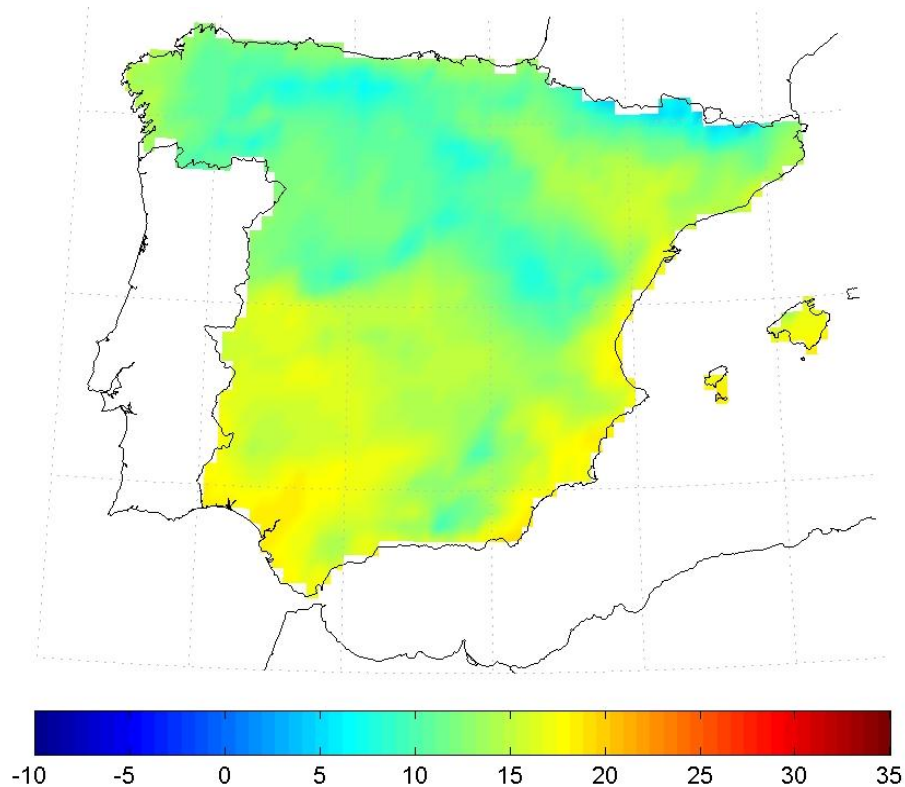


Figura 1.3. Temperatura media anual en la península Ibérica e islas Baleares (1950-2007) calculada con la base de datos Spain02.

Por otro lado los valores de la temperatura media mensual varían regularmente durante el año, alcanzando los valores máximos en verano (figura 1.4) y los valores mínimos en invierno (figura 1.5). Los valores medios mensuales más bajos de la temperatura media son durante los meses de invierno con temperaturas por debajo de los 0°C, en las áreas de montaña. Los valores más altos son registrados durante los meses de verano con temperaturas superiores a los 27°C, en el sur de España.

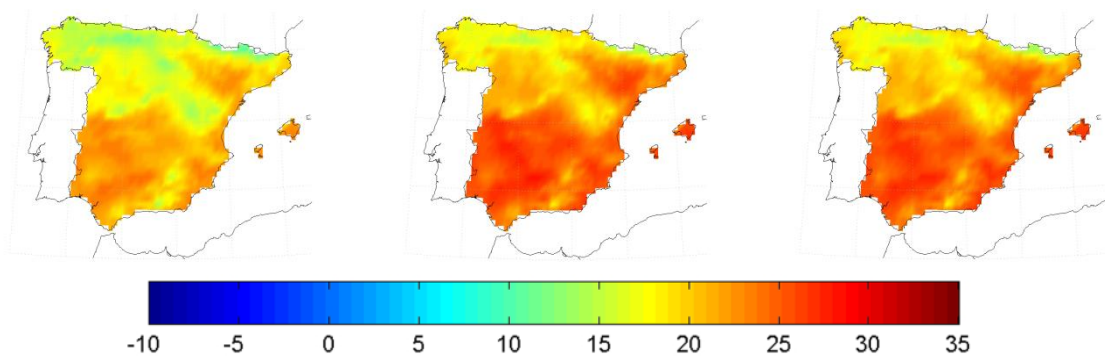


Figura 1.4. Temperatura media mensual durante el verano (JJA).

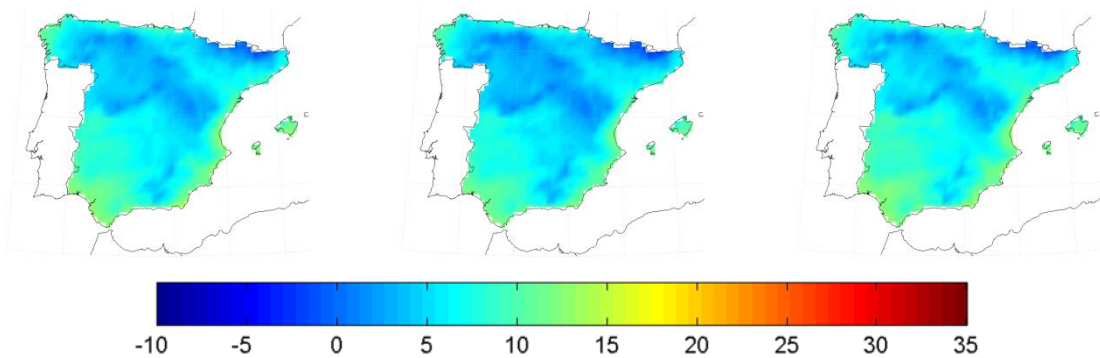


Figura 1.5. Temperatura media mensual durante el invierno (DEF).

Temperatura máxima

Los valores medios anuales de la temperatura máxima varían entre valores inferiores a 10°C en las áreas de altitudes más elevadas de España y valores superiores a 22°C, que tienen lugar en el interior y sur de la Península (figura 1.6).

Durante el verano, la temperatura máxima varía entre los 17/20°C y los 32/35°C, registrándose los valores más elevados en la zona centro y sur de España (figura 1.7). En invierno estas temperaturas pueden alcanzar valores inferiores a 2°C, en las regiones de mayor altitud de la mitad norte peninsular (figura 1.8).

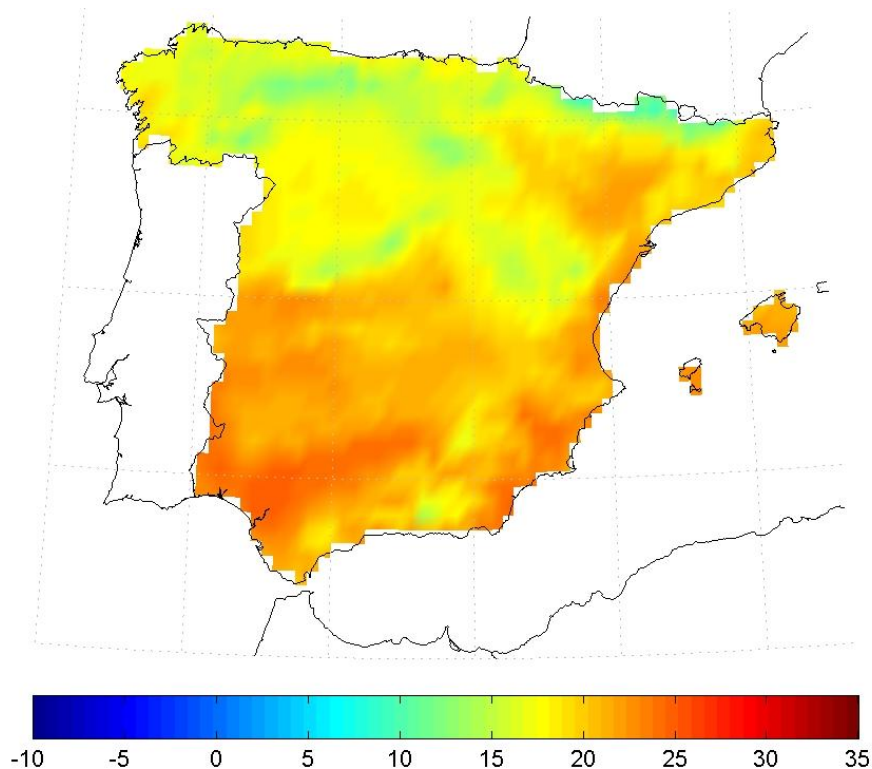


Figura 1.6. Temperatura media máxima anual en la península Ibérica e islas Baleares (1950-2007) calculada con la base de datos Spain02.

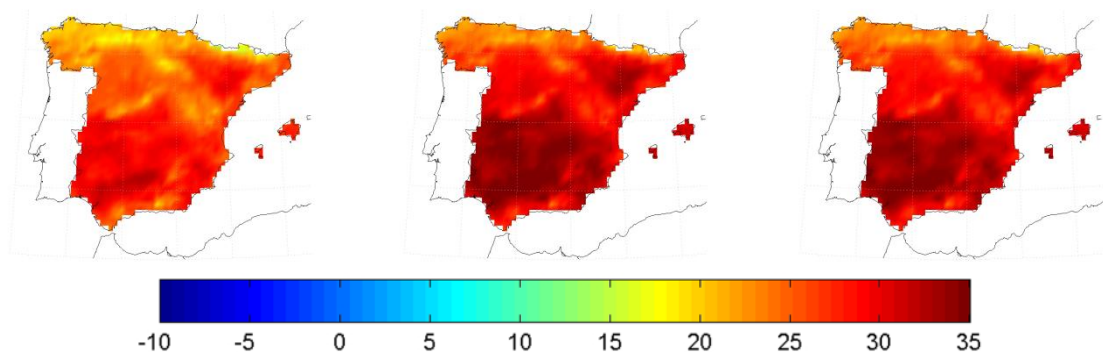


Figura 1.7. Temperatura media máxima mensual durante el verano (JJA).

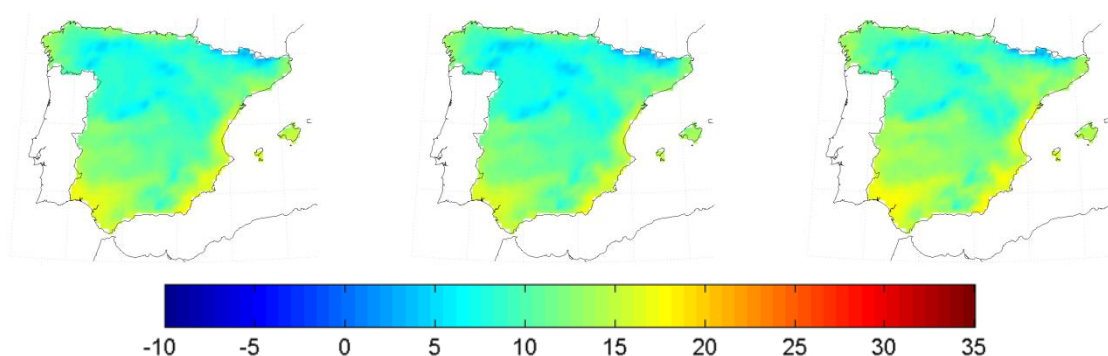


Figura 1.8. Temperatura media máxima mensual durante el invierno (DEF).

— Temperatura mínima

Los valores medios anuales de la temperatura mínima varían entre valores inferiores a 0°C en las áreas de mayor altitud y valores superiores a 15°C en la franja costera de España entre las provincias de Cádiz y Alicante y en las islas de Ibiza y Menorca (figura 1.9).

Por otra parte los valores medios mensuales más bajos ocurren durante el período invernal, registrándose temperaturas inferiores a los -2.5°C en las áreas de mayor altitud (figura 1.11). Los valores más altos se registran en el período estival con valores superiores a los 17°C , en casi toda la franja litoral de España y en las regiones de Extremadura, Andalucía, oeste de Castilla La Mancha, sur de Madrid y en las islas Baleares (figura 1.10).

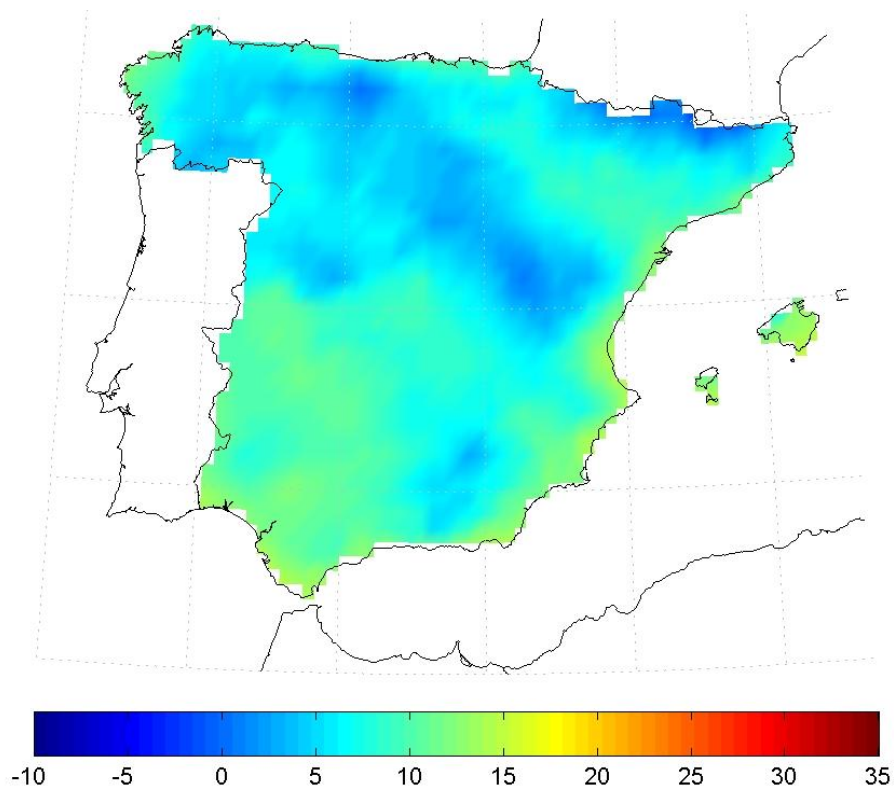


Figura 1.9. Temperatura media mínima anual en la península Ibérica e islas Baleares (1950-2007) calculada con la base de datos Spain02.

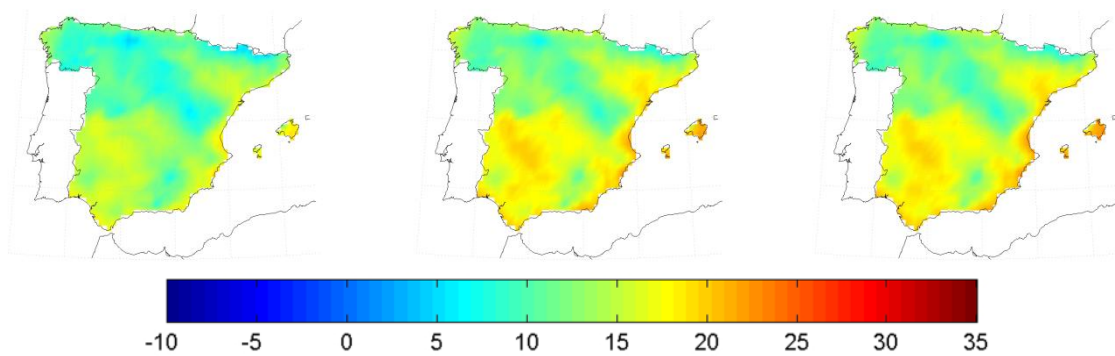


Figura 1.10. Temperatura media máxima mensual durante el verano (JJA).

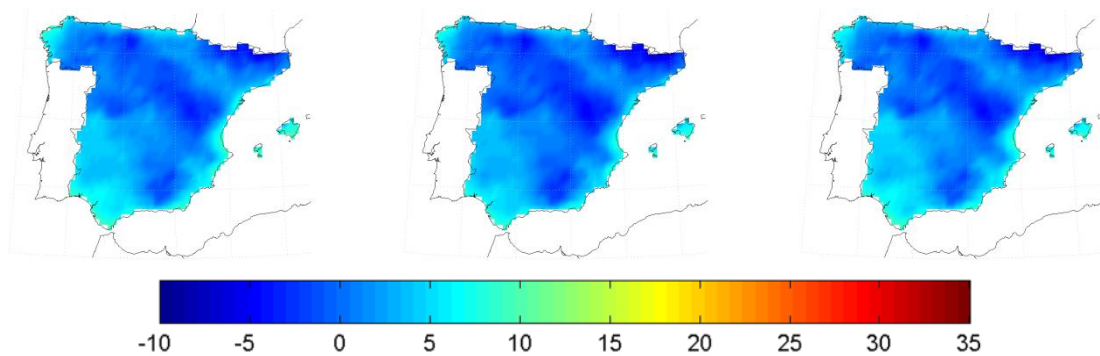


Figura 1.11. Temperatura media mínima mensual durante el invierno (DEF).

1.2.2. Precipitación

Para caracterizar el régimen de precipitaciones es importante analizar tanto la precipitación media anual como su distribución temporal a lo largo de las estaciones del año.

Analizando la precipitación media anual en la península Ibérica se puede observar (figura 1.12) que presenta una distribución geográfica muy variada. Los valores más elevados se registran por encima de los 2200 mm en las áreas montañosas del noroeste de Navarra y en algunas áreas del sudoeste de Galicia. Los valores más bajos se registran en el sureste de España con valores de precipitación media anual inferior a 300 mm.

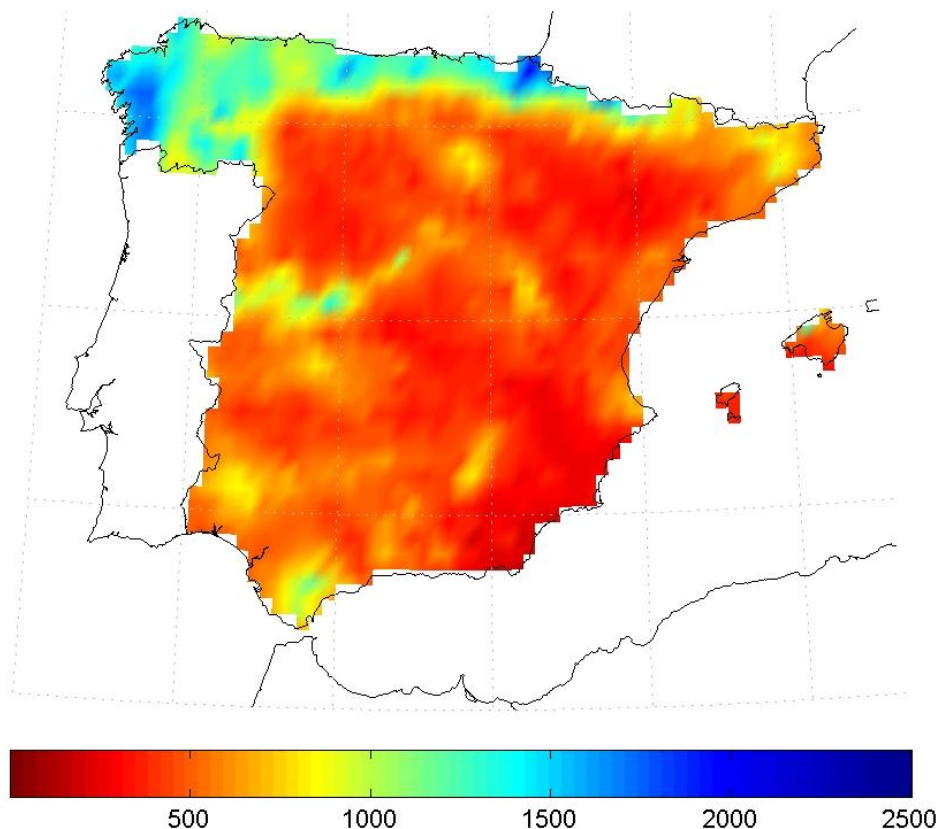


Figura 1.12. Precipitación media anual para la península Ibérica e islas Baleares (1950-2007) calculada con la base de datos Spain02.

La precipitación media mensual varía a lo largo de los años, con una notable estacionalidad que es más fuerte en la mitad sur peninsular y menor en el noreste de España y con una clara disminución de la precipitación en verano. El mes más

Iluvioso en la Península es diciembre y por el contrario el mes más seco es agosto (figura 1.13).

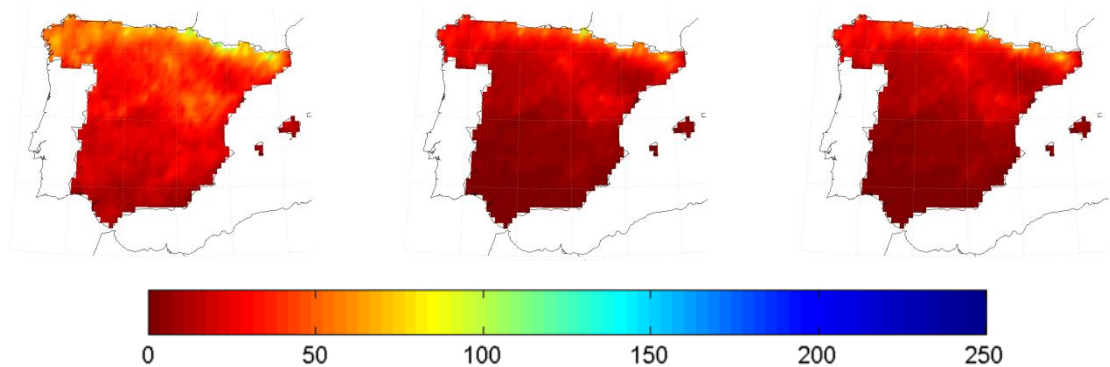


Figura 1.13. Precipitación media mensual durante el verano (JJA).

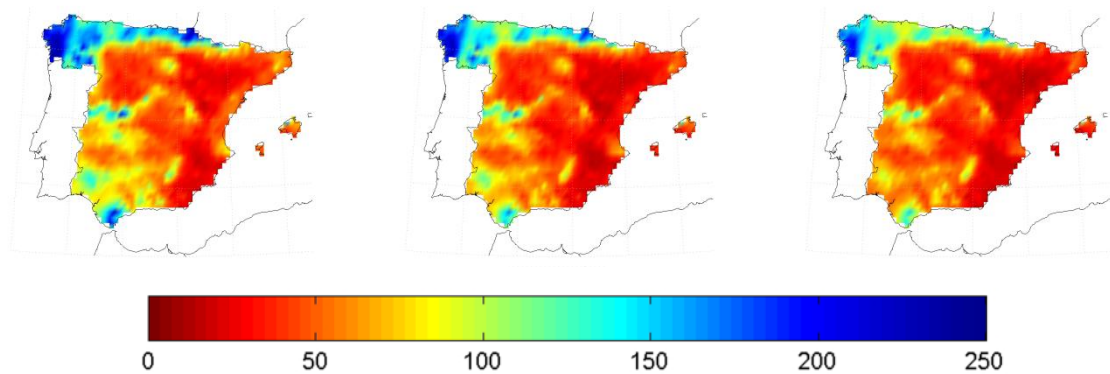


Figura 1.14. Precipitación media mensual durante el invierno (DEF).

1.3. Modos o patrones de teleconexión

Existen diferentes términos para referirse a los patrones de variabilidad atmosférica: teleconexiones, patrones o modos, se definen como una conexión entre cambios del tiempo que ocurren en regiones separadas del globo. También se puede observar dicha conexión como una correlación significativa, positiva o negativa, entre las fluctuaciones de dos variables o campos meteorológicos en puntos separados (American Meteorological Society, AMS 2000).

Estos patrones se miden cuantitativamente mediante índices que evalúan la divergencia o amplitud entre los diversos polos del patrón. Los índices de patrones

definidos mediante el método de las teleconexiones pueden calcularse como la diferencia entre las presiones normalizadas de dos puntos geográficos (Barnston, y Livezey, 1987).

En algunas regiones del globo la variabilidad atmosférica se encuentra dominada en parte por un patrón atmosférico de escala sinóptica que oscila en el tiempo con periodos estacionales o interanuales. Los principales modos preferentes de variabilidad conocidos son:

- _ La Oscilación del Atlántico Norte (NAO)
- _ La Oscilación del Sur-el NIÑO (ENSO)
- _ El patrón del Atlántico este (EA)
- _ El patrón del Atlántico este - Rusia Occidental (EA/WR)
- _ El patrón Escandinavo (SCA)
- _ El patrón Polar - Eurasia (POL)
- _ El patrón del Pacífico Oeste (WP)
- _ El patrón del Pacífico este - Pacífico Norte (EP-NP)
- _ El patrón del Pacífico/Norteamérica (PNA)
- _ El patrón Tropical del Hemisferio Norte (TNH)
- _ El patrón de Transición Pacífica (PT)

En este trabajo nuestra área de estudio se centra sobre la península Ibérica y los principales patrones que tienen influencia en dicha zona son aquellos que actúan principalmente sobre el Atlántico Norte y Eurasia (NAO, EA, EA/WR, SCA). También se considerará la influencia del fenómeno ENSO que tiene lugar en el Pacífico tropical y que afecta a la circulación de la atmósfera de forma global.

1.3.1. Oscilación del Atlántico Norte (NAO)

La Oscilación del Atlántico Norte (NAO) es la teleconexión más importante y más estudiada del Atlántico Norte por ser el patrón principal de variabilidad en dicha área (Hurrell, 1996). Su influencia se extiende desde Norteamérica Central a Europa, alcanzando incluso al Norte de Asia.

La NAO consiste en una oscilación atmosférica de masa entre el anticiclón subtropical de las Azores y la región de bajas presiones situada cerca de Islandia. Es la mayor fuente de variabilidad tanto estacional como interdecadal de la circulación atmosférica sobre el continente europeo y, por ende, sobre la península Ibérica, sobretodo en invierno cuando es más intensa.

Dicha oscilación determina la variabilidad del clima invernal en la región del Atlántico Norte y se estima mediante el índice NAO, que se calcula como la diferencia de presión a nivel del mar que se produce entre las bajas presiones de Islandia y las altas presiones de las Azores. El nombre fue citado por primera vez por Walker G.T en 1924. La NAO es más importante en invierno, presenta dos fases una positiva y otra negativa. Cada una de ellas presenta condiciones meteorológicas diferentes alrededor del Atlántico Norte. Las cosechas, la pesca, la gestión del agua, el suministro de energía y los niveles tróficos de los ecosistemas marinos se ven directamente afectados por la NAO.

En la fase positiva de la NAO la diferencia de presión existente entre las Azores e Islandia es muy grande. Indica un centro de alta presión subtropical más fuerte de lo normal y una depresión polar más profunda de lo normal.

El incremento de la diferencia de presión entre ambos centros de acción da como resultado que las tormentas de invierno crucen con mayor intensidad y frecuencia el Océano Atlántico siguiendo una dirección más hacia el norte de lo normal.

Como resultado en el norte de Europa los inviernos son más cálidos y lluviosos mientras que en el norte de Canadá y Groenlandia los inviernos son más fríos y secos. Las zonas orientales de los EE.UU experimentan condiciones de invierno templadas y húmedas mientras que en el sur de Europa son secas (figura 1.14).

La fase negativa de la NAO se produce cuando se debilita el centro de altas presiones subtropicales y la depresión polar. La reducción del gradiente de presión da como resultado que las tormentas de invierno cruzando el Atlántico Norte en dirección este-oeste sean de menor frecuencia e intensidad y aporten aire húmedo a la cuenca del Mediterráneo y aire frío al norte de Europa. La costa este de los EE.UU experimenta condiciones de invierno con más irrupciones de aire frío y por lo

tanto más temporales de nieve. Sin embargo, en Groenlandia las temperaturas invernales son más templadas (figura 1.15).

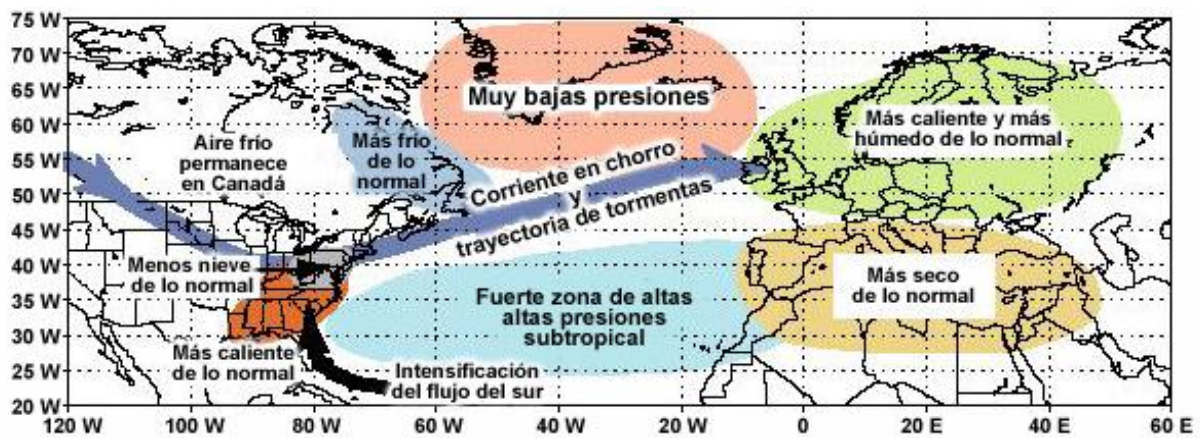


Figura 1.14. Efectos de la NAO durante el invierno cuando se encuentra en fase positiva. Imagen tomada de <https://www.meted.ucar.edu>.

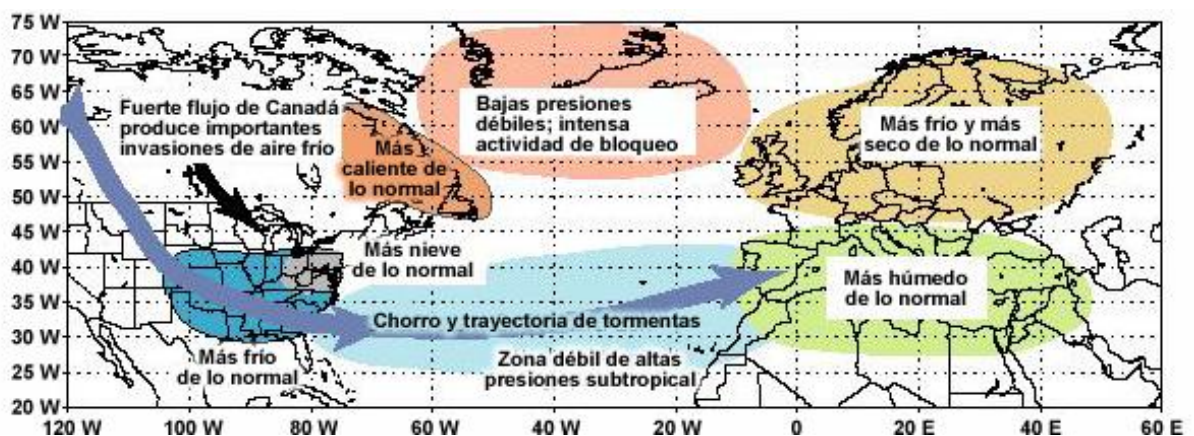


Figura 1.15. Efectos de la NAO durante el invierno cuando se encuentra en fase negativa. Imagen tomada de <https://www.meted.ucar.edu>.

1.3.2. Patrón del Atlántico este (EA)

El patrón del Atlántico Este (EA) es el segundo modo de variabilidad de baja frecuencia más importante sobre el Atlántico Norte, y aparece en todos los meses. El patrón de EA es estructuralmente similar a NAO, consiste en un dipolo de anomalías norte-sur que abarca todo el Atlántico Norte. Sus centros están desplazados hacia el sudeste respecto a los de la NAO, uno sobre las altas latitudes del Atlántico Norte y Escandinavia y el otro sobre el norte de África y el mar Mediterráneo. Sin embargo,

el centro de baja latitud presenta fuertes relaciones con la circulación subtropical, este enlace subtropical hace el patrón EA distinto de su homólogo NAO.

Este patrón presenta dos fases, una positiva y otra negativa. En la fase positiva, el centro de altas latitudes del Atlántico Norte tiene anomalías negativas, mientras que el centro de bajas latitudes tiene anomalías positivas. Las temperaturas superficiales estarán por encima de la media en Europa, particularmente en el norte de la península Ibérica, y por debajo de la media en el norte y centro de los Estados Unidos. Esta fase intensifica los vientos del oeste sobre las latitudes centrales al este del Atlántico Norte y sobre la mayor parte de Europa. En la fase negativa la situación cambia, con un fuerte flujo partido sobre las latitudes centrales del este del Atlántico Norte y mayor parte de Europa, asociado con un bloqueo anticiclónico en la vecindad de Groenlandia y Gran Bretaña. Este patrón presenta una variabilidad interdecadal (Iglesias, 2010).

1.3.3. Patrón del Atlántico Este/Rusia Occidental (EA/WR)

El patrón del Atlántico Este/Rusia Occidental (EA/WR) es el tercer patrón que más afecta a Eurasia a lo largo del año. Aparece principalmente durante el invierno, la primavera y el otoño.

Durante los meses invernales el patrón EA/WR tiene dos centros principales de anomalías que se encuentran sobre el mar Caspio y Europa occidental y otros dos centros de signos opuestos a los anteriores que se sitúan en el oeste y noroeste de Rusia y en el noroeste de Europa. Un tercer centro de anomalías, de igual signo al que se sitúa sobre Rusia, aparece ante las costas portuguesas en primavera y más retirado en dirección oeste durante el otoño.

El patrón EA/WR también se caracteriza por tener dos fases. En la fase positiva, el centro sobre Europa occidental y noroeste de China adquiere valores positivos en las anomalías, y en el centro del Atlántico Norte y el norte del mar Caspio muestra valores negativos. Las fases negativas más pronunciadas y persistentes tienden a producirse en invierno y al principio de la primavera (Iglesias, 2010).

1.3.4. El patrón Escandinavo (SCA)

El patrón Escandinavo (SCA) consiste en un centro primario de anomalías que abarca Escandinavia y grandes porciones del océano Ártico y norte de Siberia. El patrón está presente todo el año. Presenta otros dos centros adicionales y más débiles, de signo opuesto al anterior, situados sobre Europa occidental, Mongolia y el oeste de China. En su fase positiva, se observan valores positivos de las anomalías sobre Escandinavia y oeste de Rusia y valores negativos de las anomalías sobre los otros centros (Sarmiento, 2006)

1.3.5. La Oscilación del Sur- El NIÑO (ENSO)

La oscilación del Sur - El NIÑO (ENSO) es el fenómeno más importante de variabilidad natural del clima global en escalas interanuales, y se caracteriza por fluctuaciones del sistema atmósfera-océano sobre el Pacífico tropical.

Se denomina El NIÑO a la componente oceánica que presenta un calentamiento de las aguas del Pacífico tropical, y Oscilación Sur a una variación a gran escala del sistema de presión atmosférica sobre los trópicos. La componente atmosférica está representada por el Índice de Oscilación del Sur (SOI) definido por Sr. Gilbert Walker y está dado por la diferencia de Presión en el Pacífico occidental y la Presión en el Pacífico oriental central. Estos dos fenómenos se relacionan entre sí manifestando de forma clara e intensa la interacción océano-atmósfera. El fenómeno contrario, es decir la presencia de temperaturas anormalmente frías en la superficie del mar en dicha región, se denomina La Niña. El estudio del fenómeno ENSO es clave para entender muchas de las anomalías climáticas que tienen lugar a escala global (Sarmiento, 2006; Iglesias, 2010).

El NIÑO afecta al tiempo atmosférico de gran parte del mundo. Estos efectos dependen fuertemente de la localización y la estación del año. Los efectos más intensos sobre precipitación se encuentran al sureste de Asia y al oeste del océano Pacífico, especialmente en el periodo que va de agosto a noviembre.

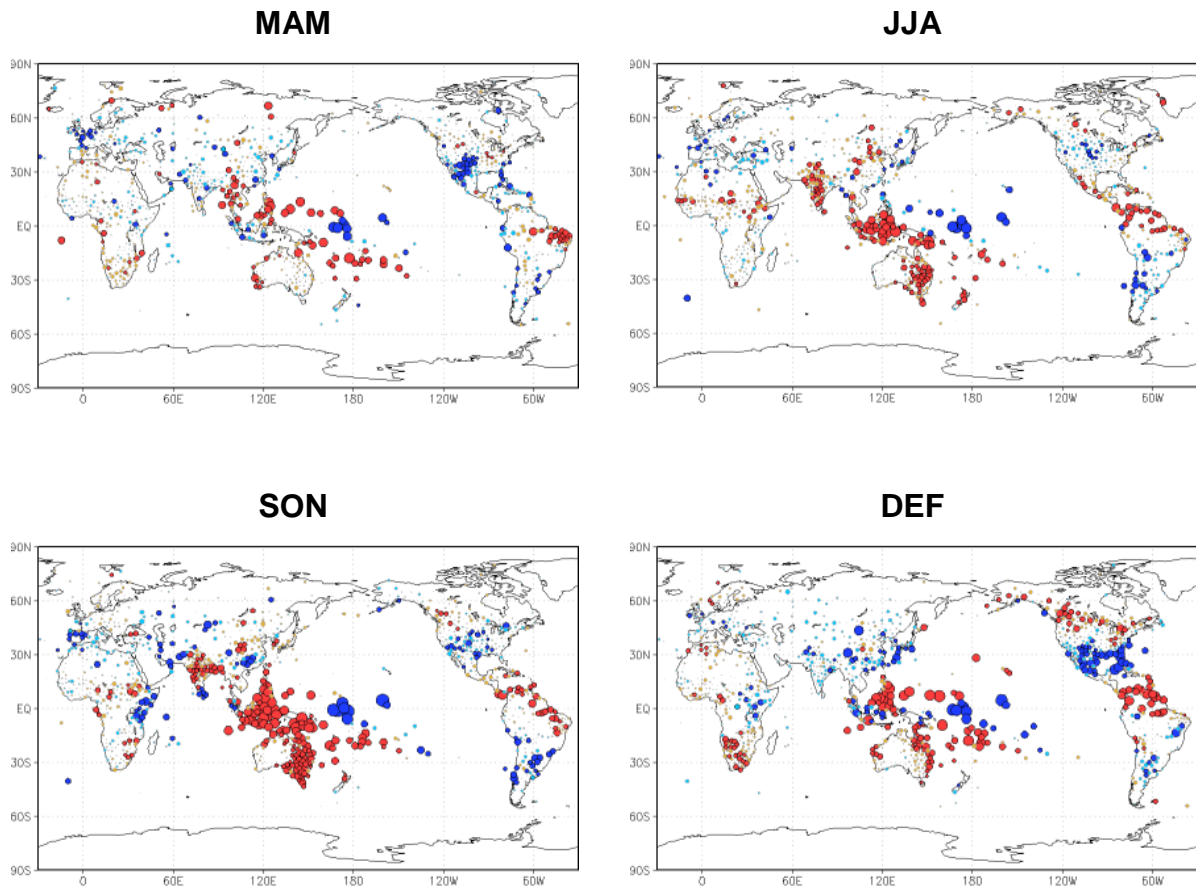


Figura 1.16. Mapas de precipitación: Los círculos azules muestran los lugares que en promedio son más lluviosos de lo normal durante El NIÑO. Los círculos rojos indican sequía durante El NIÑO. La Niña tiene efectos opuestos en casi todos los lugares. El tamaño de los círculos es una medida de la intensidad de la relación. Imagen tomada de http://www.knmi.nl/research/global_climate/enso/effects/.

Hay efectos de El NIÑO sobre las temperaturas de todo el globo principalmente en los trópicos. El número de ciclones tropicales también se ve afectado por El NIÑO. En el invierno boreal los efectos se extienden, desde el sur de África al este de Rusia y en toda América. Haciendo un estudio estacional se puede ver como El NIÑO afecta prácticamente a todo el globo tanto en precipitación (figura 1.16) como en temperatura (figura 1.17).

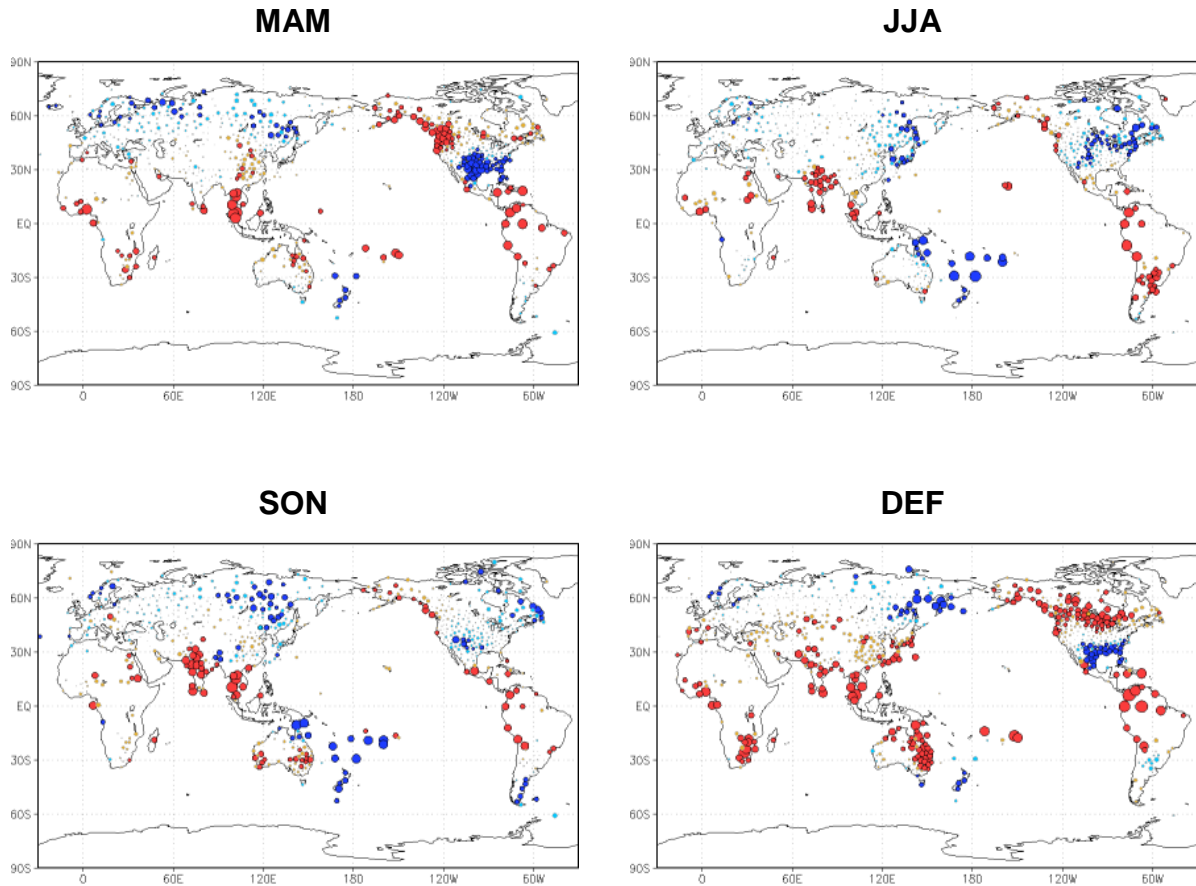


Figura 1.17. Mapas de temperatura: Los círculos rojos muestran los lugares que en promedio son más cálidos durante El NIÑO y más fríos durante La Niña. Los círculos azules son más fríos durante El NIÑO y/o más cálidos durante La Niña. El tamaño de los círculos es una medida de la intensidad de la relación. Los efectos en Norte América son no lineales: El efecto de La Niña no es el opuesto al efecto de El NIÑO. Imagen tomada de http://www.knmi.nl/research/global_climate/enso/effects/.

En particular en nuestra región estudios previos demuestran que El NIÑO tiene una influencia significativa principalmente sobre las precipitaciones de la Península (Mariotti et al., 2002) tal y como se puede ver en la figura 1.18 donde se muestra la correlación estacional entre la precipitación en la región Euro-Mediterránea y el índice NIÑO3.4 para el periodo 1948-1996. Las correlaciones significativas al 95% son enmarcadas por contornos negros

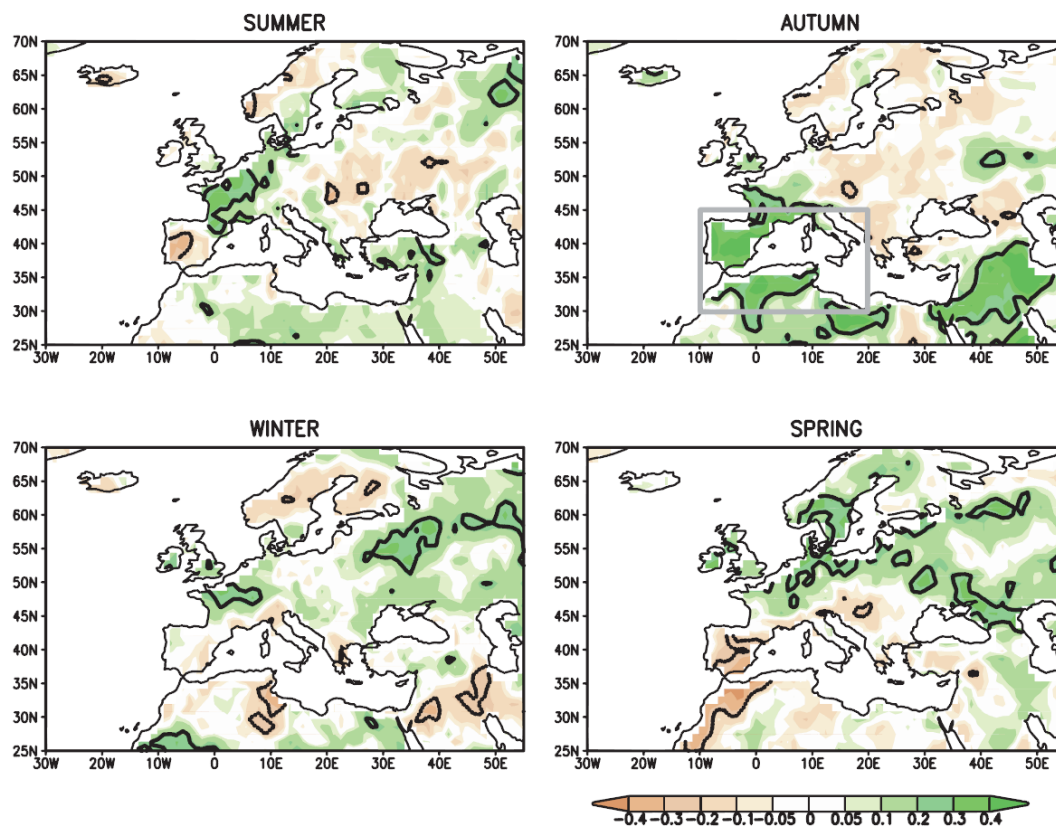


Figura 1.18. Correlación estacional de la precipitación en la región Euro-Mediterránea y el índice NIÑO3.4 para el periodo 1948-1996. Los datos de Precipitación son de CRU. Los coeficientes de correlación enmarcados por los contornos negros son significativos al 95%. Imagen tomada de Mariotti et al., 2002.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Datos

Para la realización de este trabajo se han empleado varias bases de datos:

1. Las series temporales de datos de producción y rendimiento, tanto de la oliva de mesa como de almazara, fueron proporcionados por el Ministerio de Agricultura Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA) a través de su página web (<http://www.magrama.gob.es>). El registro abarca el periodo 1935-2010 para la oliva mesa, y 1965-2008 para la almazara. Los datos de producción se expresan en miles de toneladas y el rendimiento en qm/ha. Además también se tomaron los datos provinciales de superficie en producción y productividad del año 2011, del anuario presentados por MAGRAMA en el año 2011. A continuación se muestran las tablas que recogen los datos descargados de la página web mencionada anteriormente para los dos tipos de oliva para el periodo 1980-2007.

Tabla 2.1. Datos oliva almazara. Fuente: MAGRAMA

OLIVA ALMAZARA			
AÑO	Superficie en producción (miles de ha)	Rendimiento de la superficie en producción (qm/ha)	Producción (miles de t)
1980	1009.6	10.9	2113.6
1981	1898.1	7.3	1389.1
1982	1898.6	16.3	3112.1
1983	1898.9	6.5	1252.1
1984	1884.7	17.2	3239.1
1985	1897.3	9.8	1874.9
1986	1903.1	12.1	2319.0
1987	1882.8	19.4	3663.1
1988	1861.8	10.9	2054.4
1989	1871.8	14.2	2661.3
1990	1877.5	16.8	3153.2
1991	1696.0	14.4	2725.4
1992	1864.3	15.8	2945.8
1993	1953.8	13.3	2605.7
1994	1966.2	13.3	2608.0
1995	1993.9	7.6	1516.7
1996	1995.5	21.7	4328.3
1997	2034.8	27.5	5592.8
1998	2074.6	19.3	4020.7
1999	2039.6	15.0	3072.3
2000	2088.0	22.8	4729.1
2001	2135.4	30.4	6496.6
2002	2144.0	18.9	4057.0
2003	2170.5	32.5	7055.1
2004	2198.7	21.6	4744.6
2005	2221.1	16.4	3646.3
2006	2230.2	23.7	5283.3
2007	2221.3	25.7	5701.7

Tabla 2.2. Datos oliva mesa. Fuente: MAGRAMA

OLIVA MESA			
AÑO	Superficie en producción (miles de ha)	Rendimiento de la superficie en producción (qm/ha)	Producción (miles de t)
1980	146.9	9.5	141.4
1981	149.9	9	131.6
1982	149.2	15	225.8
1983	151.5	4.9	76.3
1984	154.4	18.5	286.3
1985	153.7	7.3	114.5
1986	160.1	14.6	237.8
1987	174.1	12.4	215.9
1988	173.1	9.7	169.3
1989	181.7	15.7	284.4
1990	186.1	11.6	216
1991	178.2	14.5	257.6
1992	187.6	12.4	232.1
1993	138.1	14.6	204.2
1994	128.2	14.9	190.8
1995	125.5	14.1	177.5
1996	130.4	14.5	189
1997	122.7	23.4	286.8
1998	119.5	21.6	258.5
1999	162.1	23.9	387.8
2000	164.7	20.1	331.2
2001	156	31.1	485.9
2002	157.4	22.7	357.9
2003	162.4	30.7	498.5
2004	166.1	27.4	455.4
2005	161.8	23.2	375.4
2006	165.2	23.9	395.7
2007	167	26.3	438.6

El periodo de estudio en este trabajo se centra en el periodo de 1980-2007, tanto para la oliva de mesa como la oliva de almazara. La elección de este periodo es debida a que los datos de producción tanto de la oliva de mesa como de la de almazara no presentan una cadencia anual hasta 1980 y los datos de la base Spain02 que nos da información diaria y mensual sobre las variables de temperatura y precipitación no completa el año 2008.

2. La base de datos escogida para la obtener los mapas de temperatura y precipitación es Spain02 (Herrera et al., 2012). Esta base de datos comprende registros diarios y mensuales de precipitación acumulada y temperaturas máximas y mínimas de 2.756 estaciones meteorológicas españolas, cubriendo todo el área de la península Ibérica y las islas Baleares para el período que va de 1950 a 2008. La rejilla o malla tiene una resolución de 0.2° que en nuestras latitudes equivale aproximadamente a 20 Km (<http://www.meteo.unican.es/es/datasets/spain02>).

3. Los datos de los cuatro patrones de teleconexión considerados (NAO, EA, EA/WR y SCA) se pueden descargar de forma gratuita desde la página web del Centro de Predicción Climática (CPC) (<http://www.cpc.ncep.noaa.gov>). El procedimiento utilizado para identificar los patrones teleconectivos del hemisferio norte es el Rotated Principal Component Analysis (RPCA) (Barnston y Livezey, 1987). Este procedimiento aísla los patrones primarios de teleconexión para todos los meses y permite la realización de las series temporales de los patrones. Se aplica la técnica RPCA a las anomalías estandarizadas de medias mensuales de 500 MB de altura obtenidas del CDAS en la región de análisis de 20° N - 90° N.

4. Los datos para el índice de la oscilación del Sur (SOI) se descargaron de forma gratuita en la siguiente página web <http://climexp.knmi.nl/data/iso1.dat>. La Oscilación del Sur se refiere a una oscilación en la presión atmosférica entre el sudeste y el sudoeste de aguas del Pacífico. Cuando las aguas del este del Pacífico incrementan su temperatura (evento El NIÑO), la presión atmosférica sube en el oeste del Pacífico y cae en el este. Esta caída de presión es acompañada por un debilitamiento de los vientos del este. Junto con "El NIÑO", este fenómeno se

conoce como ENSO: "El NIÑO-Southern Oscillation". Se calcula a partir de la diferencia entre la presión a nivel del mar (SLP) en Tahití y Darwin.

5. Los datos del NIÑO se pueden descargar de en la página web del Centro de Predicción Climática (CPC) <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/>. Los datos para el NIÑO1+2, NIÑO3, NIÑO4 y NIÑO3.4 son la SST y la SSTA mensual de la base de datos ERSST.V3B. La localización de las 4 diferentes zonas se muestra en la figura 2.1 NIÑO 1+2 [0° 10°S] [90°O 80°O] NIÑO 3 [5°N 5°S] [150°O 90°O] NIÑO 4 [5°N 5°S] [160°E 150°O] NIÑO 3.4 [5°N 5°S] [170°O 120°O].

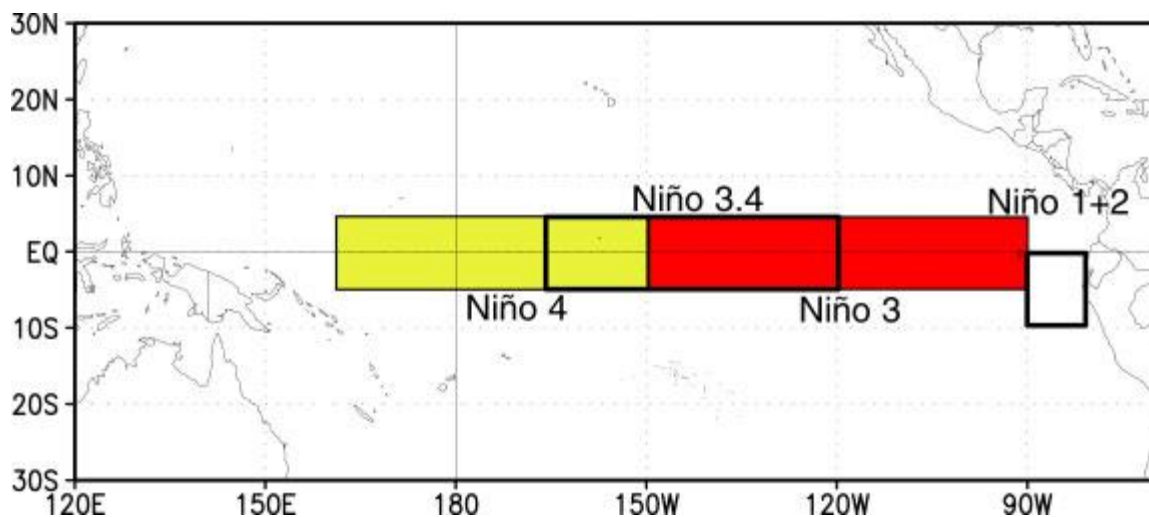


Figura 2.1. Localización geográfica de las 4 zonas NIÑO. Imagen tomada de http://ggweather.com/enso/enso_regions.jpg

2.2. Métodos

En un primer análisis se ha **filtrado la componente de tendencia** de los datos de producción de la oliva de mesa y de la almazara para el periodo 1980-2007. Los datos se estandarizaron restando el valor medio y dividiéndolo por la desviación estándar, para evitar la tendencia creciente de la productividad debida a la mejora de las prácticas agrícolas. Esto se ha realizado con el comando *detrend* de matlab $Y=detrend(X)$, que elimina el valor medio o la tendencia lineal del vector o matriz X. También se ha aplicado este mismo filtrado a las series de los diferentes índices de

los modos atmosféricos y el NIÑO para extraer la tendencia debida al cambio climático.

Para detectar y estimar la evolución de la serie temporal de los valores anuales de la producción de oliva, es decir si la tendencia de esta producción es creciente o decreciente. Se ha utilizado el **test de Mann-Kendall** (Mann, 1945; Kendall, 1975; Salmi et al., 2002) que es un test no paramétrico muy utilizado en el campo de las ciencias medioambientales. Una de las ventajas de este test es que los datos no necesitan ajustarse a una distribución en particular.

El cálculo de este test se realiza con una plantilla de Excel en la cual a través de una serie de fórmulas, que se citan a continuación, se lleva a cabo el test Z de significación y el test Q para los datos de producción en el periodo 1980-2007.

El test Z se calcula cuando tenemos un número de datos mayor que 10, con este test se evalúa la presencia de una tendencia estadísticamente significativa. La expresión para calcular dicha variable es:

$$Z = \begin{cases} \frac{S - 1}{\sqrt{VAR(S)}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{S + 1}{\sqrt{VAR(S)}} & \text{if } S < 0 \end{cases}$$

Calculándose S y VAR(S) de la siguiente forma:

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

$$\text{sing}(x_j - x_k) = 1 \text{ si } x_j - x_k > 0$$

$$= 0 \text{ si } x_j - x_k = 0$$

$$= -1 \text{ si } x_j - x_k < 0$$

Donde x_j y x_k son los valores anuales del año j, k ($j > k$), respectivamente.

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

Donde n es el número de datos, g es el número de grupos vinculados y t_p es el número de puntos de datos.

Un valor positivo de Z nos indica una tendencia creciente mientras que si obtenemos un valor negativo estamos ante una tendencia decreciente. En nuestro caso tenemos un número de datos mayor que 10, por lo que la significación se basa en la estadística Z .

*** si la tendencia es significativa al nivel de $\alpha = 0.001$.

** si la tendencia es significativa al nivel de $\alpha = 0.01$.

* si la tendencia es significativa al nivel de $\alpha = 0.05$.

(Celda en blanco) si la tendencia es significativa al nivel de $\alpha = 0.1$.

El test Q se emplea para la estimación de la verdadera pendiente de una tendencia existente, para ello se utiliza el método no paramétrico Sen (Gilbert, 1987).

Para analizar la relación entre las variables meteorológicas de temperatura y precipitación y de los diferentes patrones de teleconexión con la producción de oliva de mesa y de almazara, se utilizó el coeficiente de **correlación de Pearson** y la prueba **test de Student** para determinar la significación estadística de dichas correlaciones.

El coeficiente de correlación de Pearson mide el grado de asociación lineal entre dos variables aleatorias cuantitativas, y puede calcularse dividiendo la covarianza de ambas entre el producto de las desviaciones típicas de las dos variables. El valor resultante no depende de las unidades de medida.

$$r_{xy} = \frac{\sigma_{xy}}{S_x S_y}$$

El valor de r_{xy} está comprendido entre -1 y 1. El valor de r será positivo si existe una relación directa entre ambas variables, esto es, si las dos aumentan al mismo tiempo. Será negativo si la relación es inversa, es decir, cuando una variable disminuye a medida que la otra aumenta. Un valor de +1 ó -1 indicará una relación lineal perfecta entre ambas variables, mientras que un valor 0 indicará que no existe

relación lineal entre ellas. Hay que tener en consideración que un valor de cero no indica necesariamente que no exista correlación, ya que las variables pueden presentar una relación no lineal.

Una vez que hemos calculado el coeficiente de correlación de Pearson puede realizarse un sencillo test de hipótesis, basado en este caso en la distribución t de Student, para valorar la significación del coeficiente de correlación y confirmar si existe o no una asociación estadísticamente significativa entre ambas características. Estudiar la significación estadística del coeficiente de correlación es determinar si r es estadísticamente diferente de cero.

En la distribución de t Student se realiza una conversión de la distribución de los valores r a una distribución de t de Student mediante su estandarización:

$$t = \frac{r}{S_r}$$

Siendo S_r la desviación estándar muestral de los valores de r, calculada a partir de la siguiente fórmula:

$$S_r = \sqrt{\frac{1 - r^2}{n - 2}}$$

Sustituyendo se obtiene:

$$t = \frac{r}{\sqrt{\frac{1 - r^2}{n - 2}}} \text{ con grados de libertad } gl = n - 2$$

Por último, Con el fin de reconocer las características de las condiciones favorables para una mayor productividad del olivo de mesa y almazara, se han dibujado los mapas promedio de precipitación y temperatura correspondientes a años para los que las anomalías de productividad tienen valores positivos y negativos. La diferencia entre estos mapas conocidos como **composites** nos permitirá interpretar las relaciones e identificar las propiedades de los flujos atmosféricos favorables para la productividad.

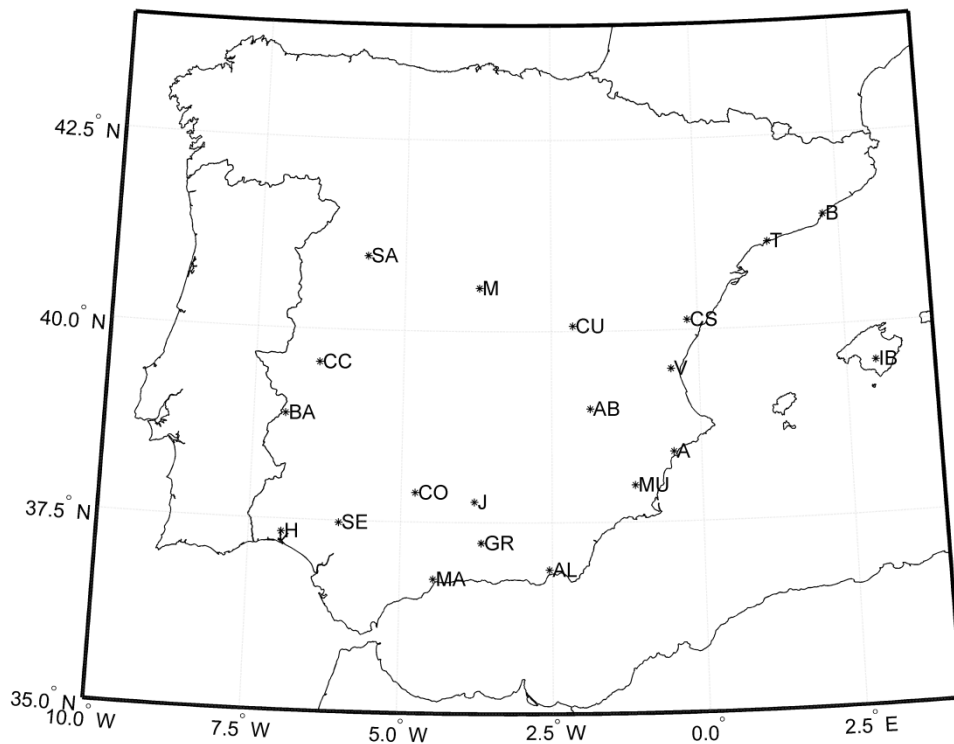
3. RESULTADOS

3.1. Caracterización de la producción del olivo

España es el primer productor y exportador mundial de aceite de oliva y de aceitunas de mesa, con la mayor superficie de olivar y el mayor número de olivos. El olivar español está presente en 21 provincias para la oliva de mesa y en 42 provincias para la de almazara. La distribución geográfica para cada tipo de oliva se muestra en la figura 3.1. Como se puede observar hay más provincias productoras de olivar de almazara que de mesa.

En cuanto a la superficie de producción del olivar de mesa, en la tabla 2.2 se mostraba que las provincias de Sevilla (SE) y Badajoz (BA) son de las 21 provincias que cultivan dicho tipo de olivar, las que presentan una mayor superficie de producción. Mientras que el olivar de almazara (tabla 2.1) presentaba su mayor superficie de producción en las provincias de Jaén (J) y Córdoba (Co).

Olivar de mesa



Olivar de almazara

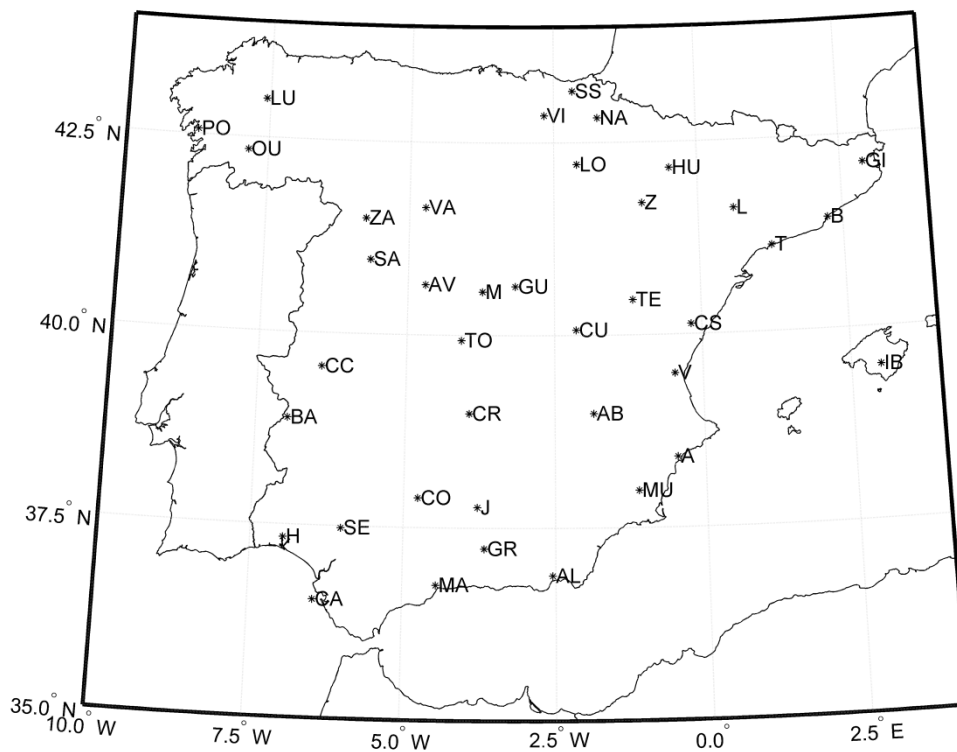


Figura 3.1. Distribución geográfica de la oliva de mesa (figura superior) y almazara (figura inferior) en España.

En la figura 3.3 se muestra el rendimiento que se obtuvo en el año 2011 para los dos tipos de oliva en las diferentes provincias. La productividad o rendimiento se determina mediante la relación entre cantidades de oliva producida y la superficie cultivada. Aunque como se muestra en las tablas 2.1 y 2.2, la producción de ambos tipos de oliva es mayor en el sur de la Península, el rendimiento obtenido para la oliva de almazara en las provincias del norte resulta muy alto dada su escasa superficie de cultivo.

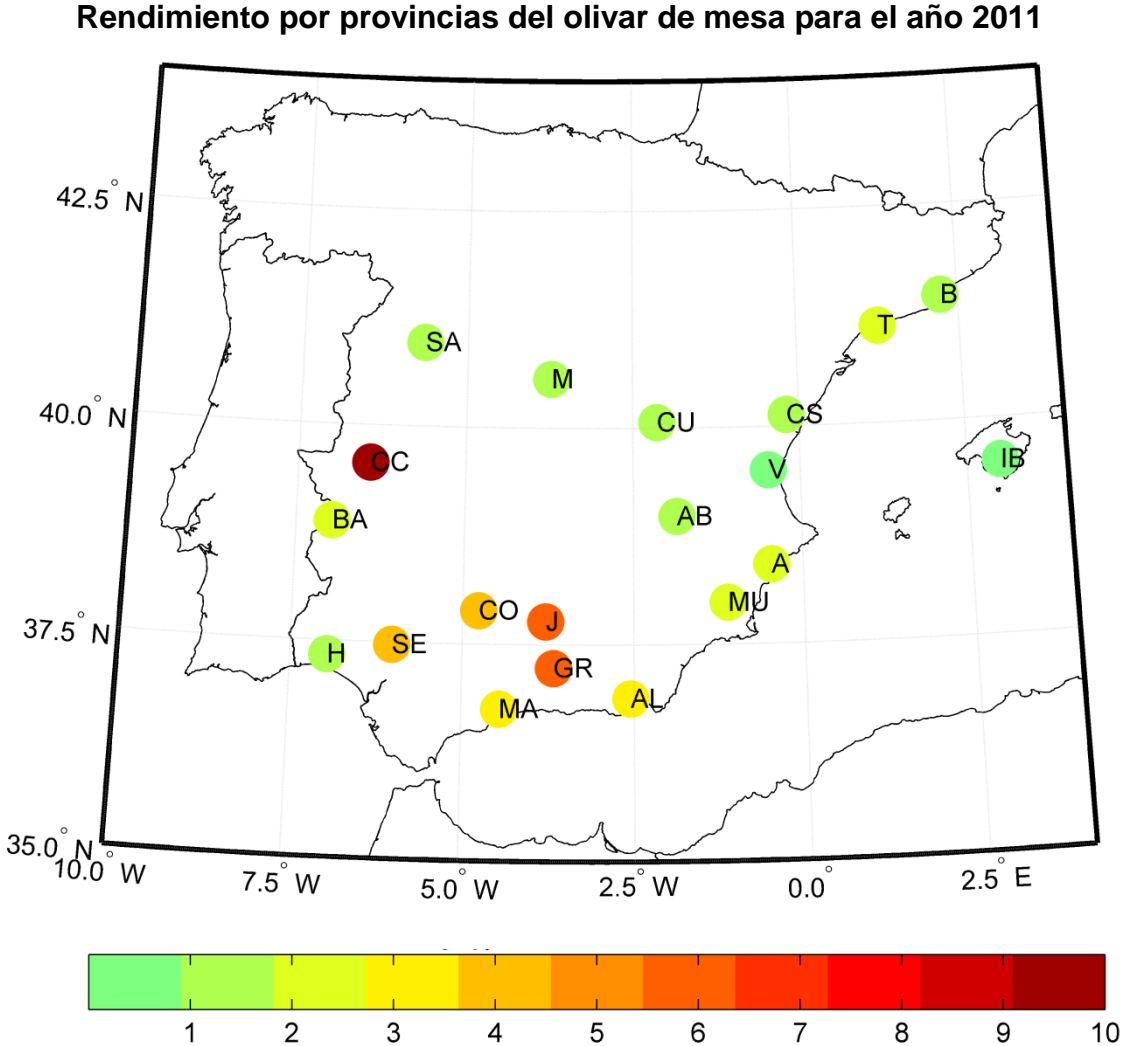


Figura 3.3. Distribución espacial de las provincias con productividad (toneladas/hectárea) de olivar de mesa y almazara en la península Ibérica.

Rendimiento por provincias del olivar de almazara para el año 2011

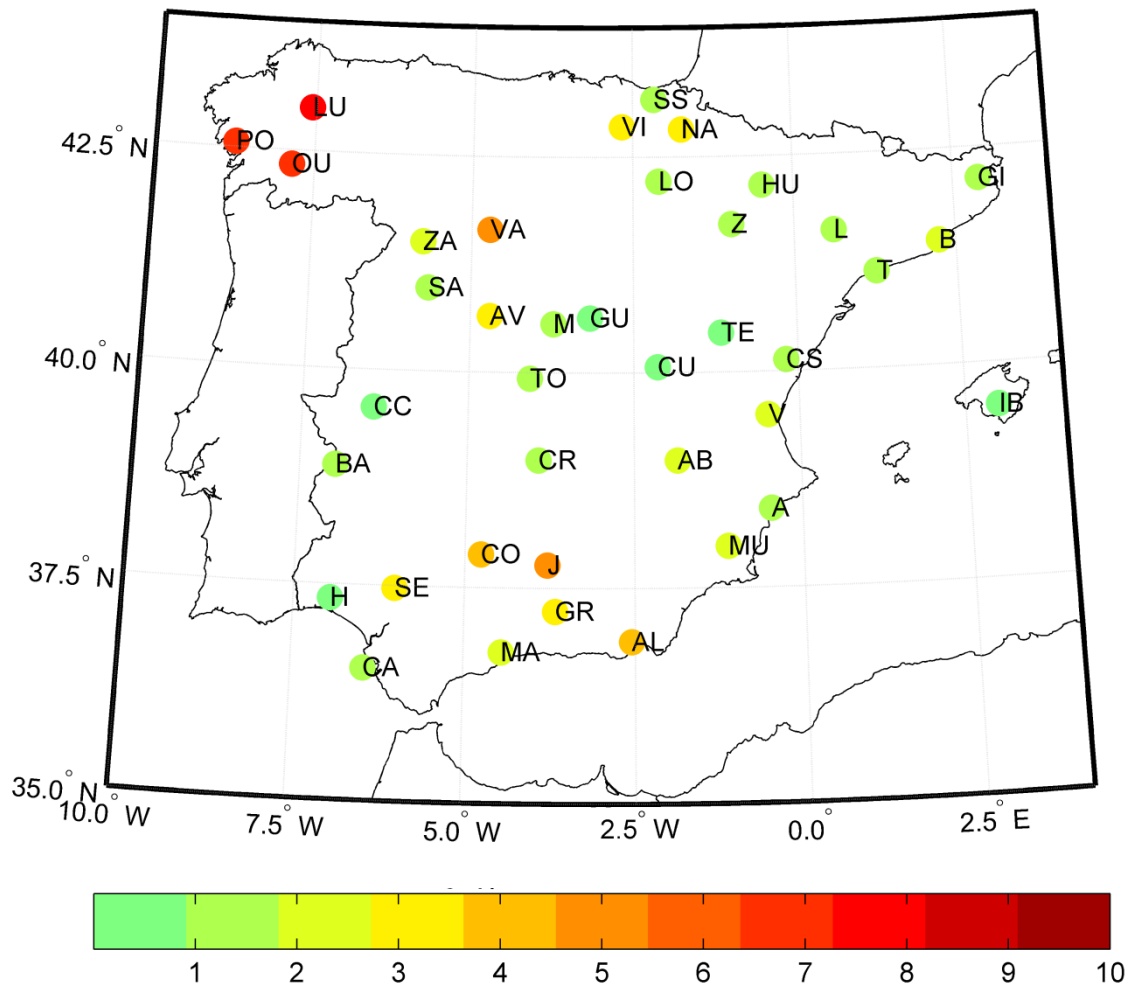
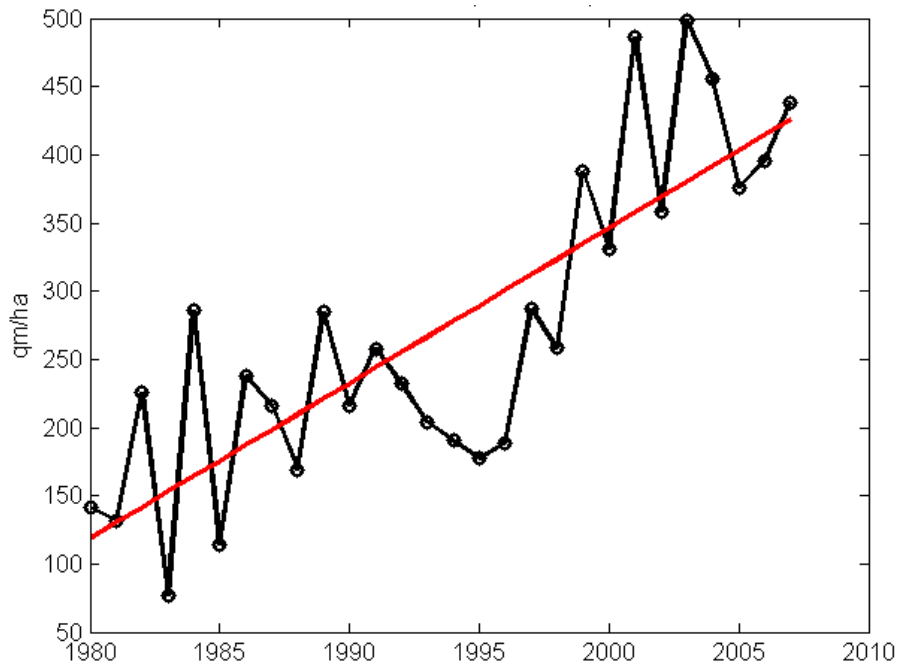


Figura 3.3. (**Continuación**) Distribución espacial de las provincias con productividad (toneladas/hectárea) de olivar de mesa y almazara en la península Ibérica.

En la figura 3.4 se muestra la serie histórica de productividad de la oliva de mesa (figura superior) y almazara (figura inferior) para el periodo de estudio que va de 1980 a 2007. Analizando las imágenes se puede ver que la producción de la oliva de mesa es menor que la de almazara. Observamos un aumento de productividad con el transcurso del tiempo, es de esperar que esta tendencia creciente sea debida a la mejora de las prácticas agrícolas. Por este motivo, filtramos la componente de tendencia de la serie original y estandarizamos los datos restando el valor medio y dividiendo por la desviación estándar.

Rendimiento de la superficie en producción para el olivar de mesa



Rendimiento de la superficie en producción para el olivar de almazara

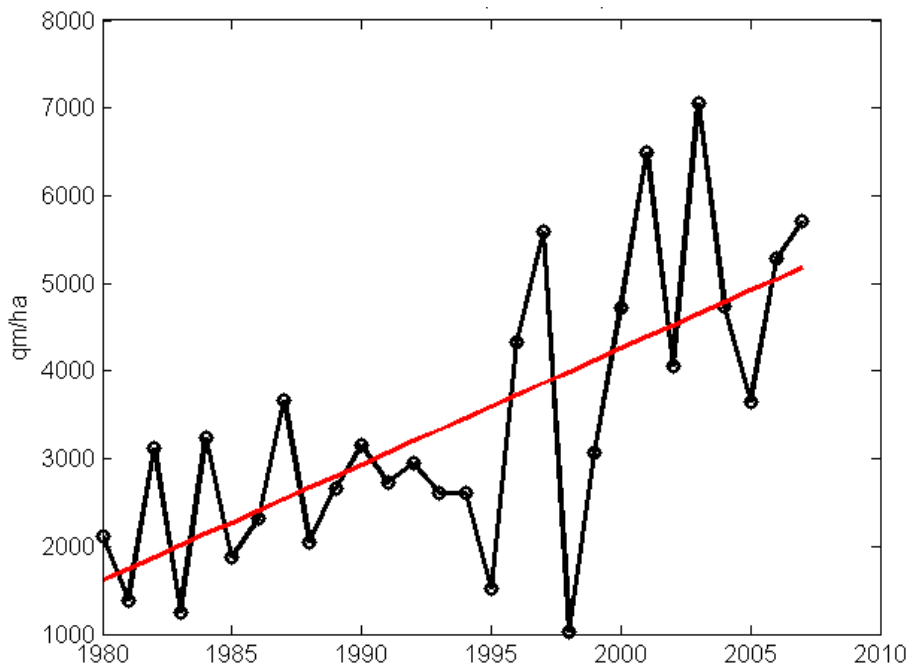


Figura 3.4. Serie temporal de la productividad del olivar de mesa (figura superior) y almazara (figura inferior) para el periodo 1980-2007.

La tendencia de la producción de ambos tipos de oliva se calculó para el período 1980-2007. La presencia de una tendencia creciente o decreciente se prueba con el

test no paramétrico de Mann - Kendall. En ambos casos la tendencia es creciente y significativa al 0.001.

Tabla 3.1. Test Mann- Kendall *** 0.001 nivel de significancia

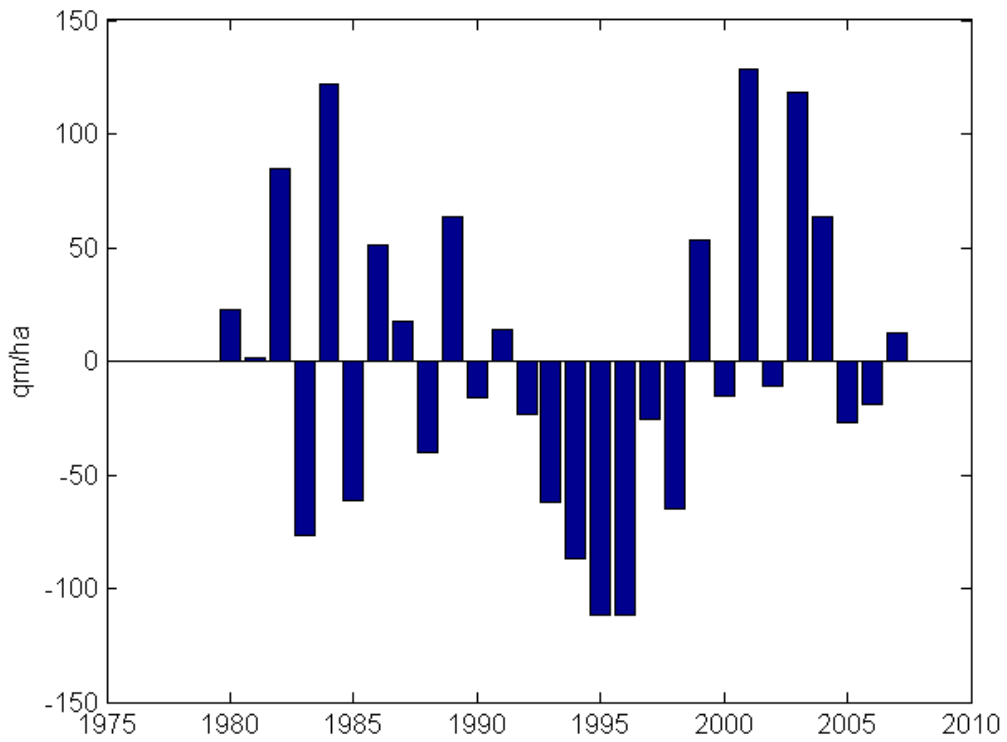
Oliva de mesa	
Test Z	4.21
significance	***
Q	110,760
Oliva de almazara	
Test Z	4.19
significance	***
Q	-

La figura 3.5 muestra las anomalías respecto a la tendencia de la figura 3.4 para el mismo periodo. En esta figura obtenemos información de los años buenos y malos en función de la producción.

Las anomalías son más pequeñas al principio del período que para los años más recientes especialmente en el caso de la oliva de almazara. Para la oliva de mesa los años en los que se tuvo una productividad superior a la media corresponden a 1980, 1981, 1982, 1984, 1986, 1987, 1989, 1991, 1999, 2001, 2003, 2004 y 2007; mientras que los valores con productividad inferior a la media corresponden a los años 1983, 1985, 1988, 1990, 1992, 1993, 1995 1996, 1997, 1998, 2000, 2002, 2005 y 2006.

Para la almazara los valores de productividad superior a la media corresponden a los años 1980, 1982, 1984, 1987, 1990, 1996, 1997, 2000, 2001, 2003, 2006 y 2007; mientras que los valores con productividad inferior a la media corresponden a los años 1981, 1983, 1985, 1986, 1988, 1989, 1991, 1992, 1993, 1994, 1995, 1998, 1999, 2002, 2004 y 2005.

Olivar de mesa



Olivar de almazara

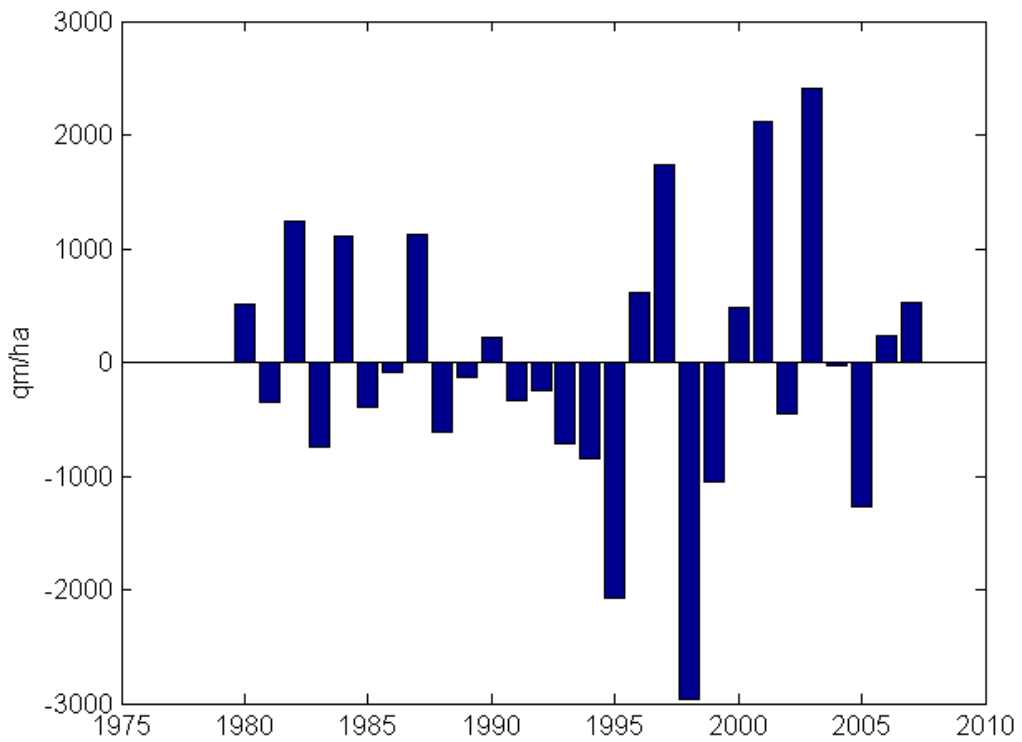


Figura 3.5. Anomalías de producción del olivar de mesa y almazara.

3.2. Relación entre la producción anual del olivo y la variabilidad climática

Atendiendo a la climatología de la Península se ha analizado la influencia que sobre la producción de ambos tipos de oliva tienen las variables de precipitación y temperatura. De este modo se conocerán las condiciones que propician una mejor producción. Para ello se calcularon las correlaciones de los datos de precipitación y temperatura media con la producción de la oliva de mesa y almazara.

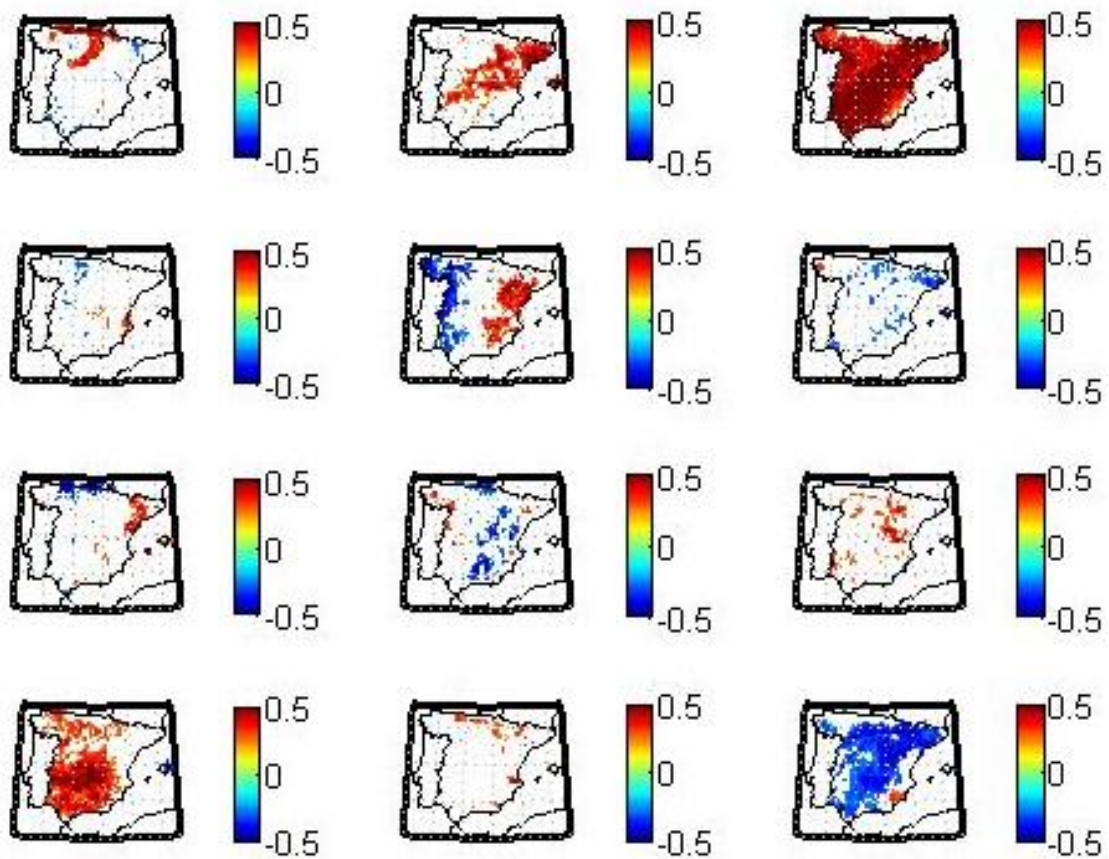


Figura 3.6. Mapas de correlación entre la precipitación mensual y la producción de oliva de mesa.

En la figura 3.6 se muestra la distribución espacial de las correlaciones con significatividad superior al 95% entre la producción de la oliva de mesa y la precipitación mensual. Como se aprecia en la figura los valores más altos de correlación se obtienen para los meses de marzo, mayo, octubre y diciembre. La correlación es positiva en el mes de marzo y octubre, esto quiere decir, que si hay más precipitación hay una mayor producción y si hay una disminución en esta obtenemos una menor producción. En marzo tiene lugar el crecimiento vegetativo

primaveral del olivo por lo que la presencia de las precipitaciones favorece su crecimiento y que éste presente un mayor número de inflorescencias que darán lugar al fruto. En cuanto al mes de octubre tiene lugar el crecimiento del fruto, siendo el agua favorable para su fructificación. La correlación es negativa en el mes de diciembre, lo que quiere decir que con una menores precipitaciones en este mes tendremos una mayor producción y viceversa. En este mes el fruto madura y su calidad depende de la cantidad de agua retenida en el fruto, y una excesiva precipitación puede dañar la cosecha. En el mes de mayo se obtiene una correlación positiva en la zona del mediterráneo y negativa en el noreste de España y por toda la frontera con Portugal. Esto se puede deber a la diferencia climatológica de ambas zonas; en el mediterráneo las precipitaciones son escasas por lo que un pequeño exceso no repercute negativamente en la floración del olivo, si no que un aporte extra de agua propiciará una mejor floración y será aprovechado en el mes de julio; en el noreste de España sin embargo las precipitaciones suelen ser abundantes, y un exceso podría causar pérdidas de inflorescencias y futuros frutos.

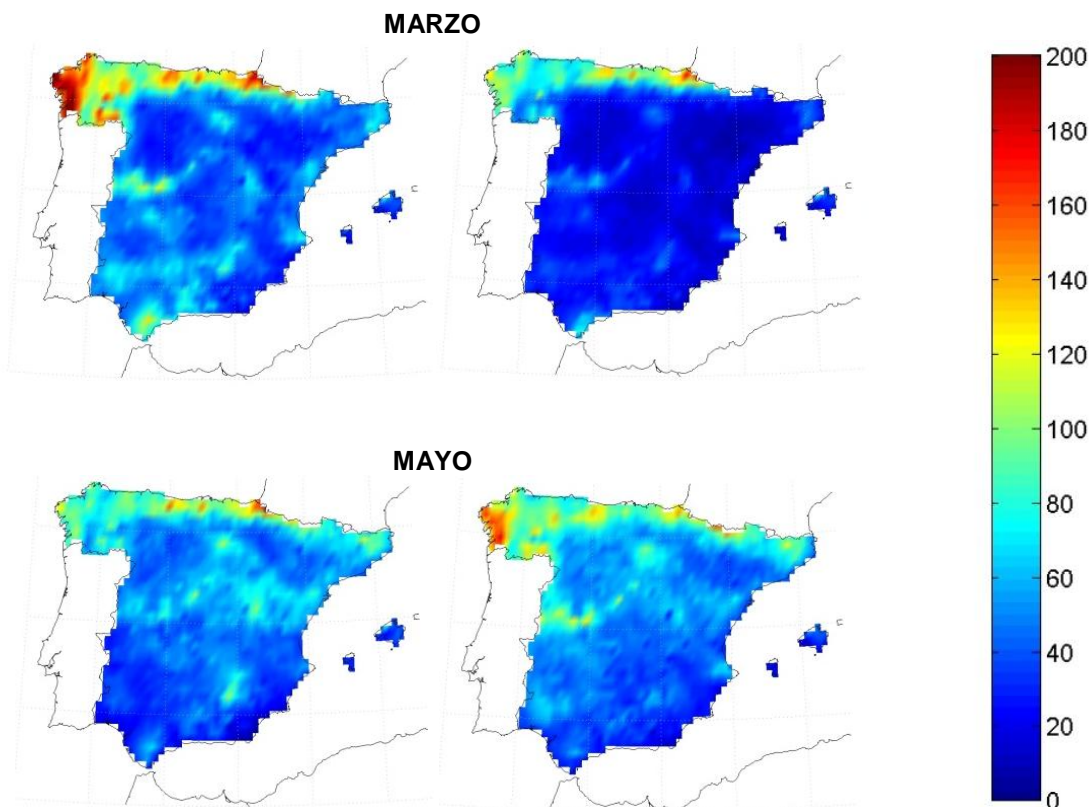


Figura 3.7. Mapas de precipitación para los años con buena y mala producción de oliva de mesa para los meses de marzo, mayo, octubre y diciembre.

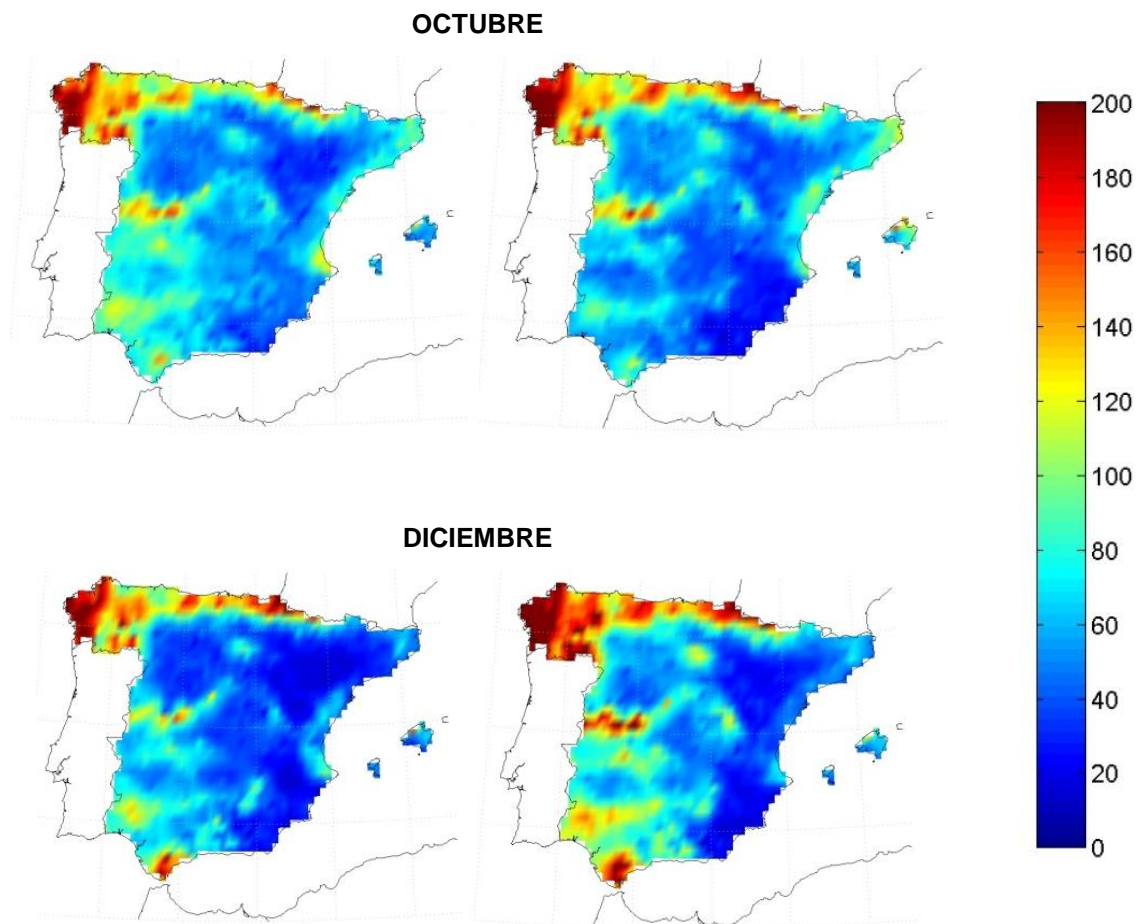


Figura 3.7. **(Continuación)** Mapas de precipitación para los años con buena y mala producción de oliva de mesa para los meses de marzo, mayo, octubre y diciembre

La figura 3.7 muestra la media de la precipitación para los años con producción superior a la media y la media de precipitación para los años producción por debajo de la media; en los meses de marzo, mayo, octubre y diciembre. Los mapas compuestos de la figura 3.8 se obtuvieron restando a la media de la precipitación de los años con una buena producción la media de la precipitación de los años con una producción por debajo de la media.

Si analizamos la figura 3.8 se ve que las buenas cosechas de oliva de mesa están relacionadas con años en los que los meses de marzo y octubre resultan lluviosos, mientras que diciembre y mayo presentan una menor pluviosidad sobre todo en la mitad oeste de la Península tal y como nos sugería la figura 3.6.

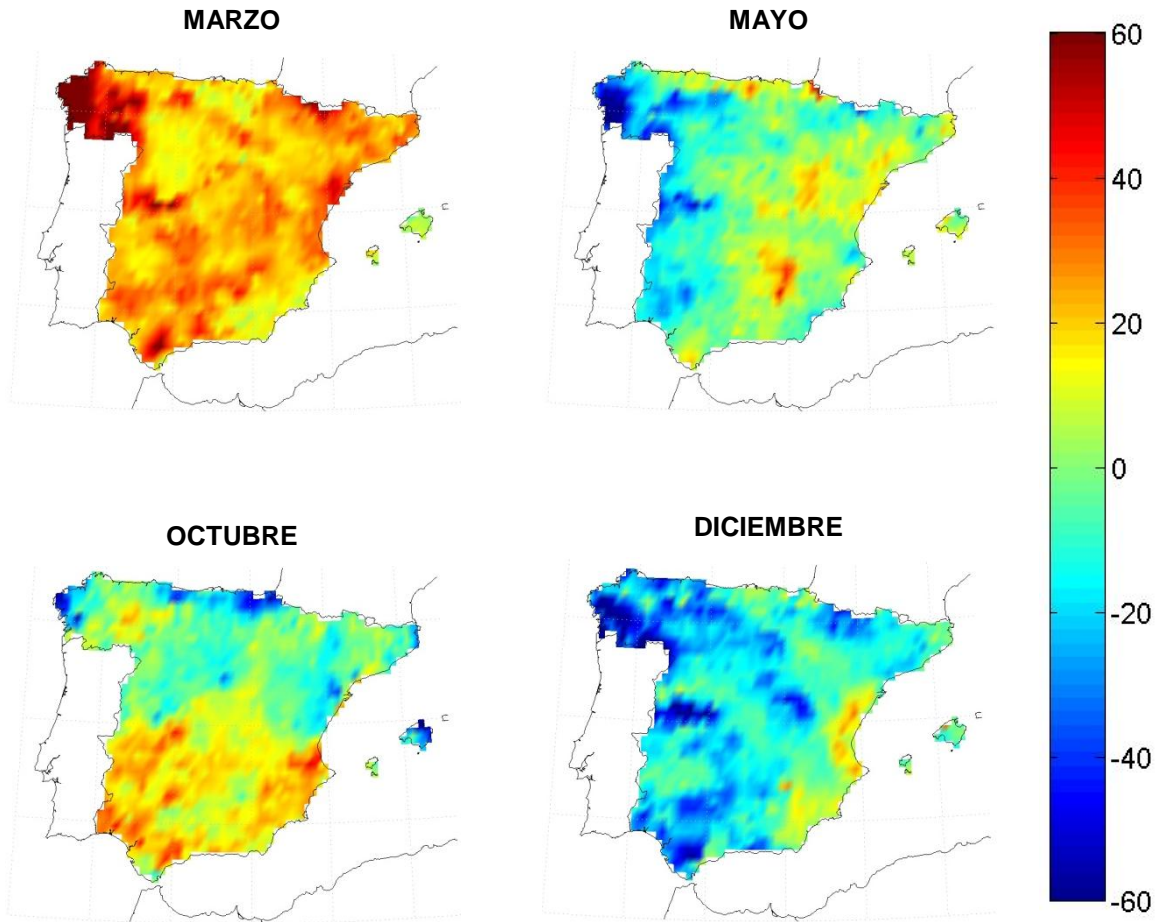


Figura 3.8. Mapas compuestos de precipitación para los meses de marzo, mayo, octubre y diciembre.

Para el caso de la oliva de almazara (figura 3.9) la distribución espacial de las correlaciones entre la producción de la oliva de almazara y la precipitación mensual muestra que las mayores correlaciones se registran en los meses de enero, marzo, mayo y noviembre. De los meses citados presentan una correlación positiva que abarca la mayor parte de la Península enero, marzo y noviembre. Mientras que el mes de mayo presenta una correlación negativa en el noroeste de la Península y una correlación positiva en toda la costa mediterránea similar a la observada en la figura 3.6.

La figura 3.10 muestra la media de la precipitación para los años con mayor producción y menor producción de los meses de enero, marzo, mayo y noviembre.

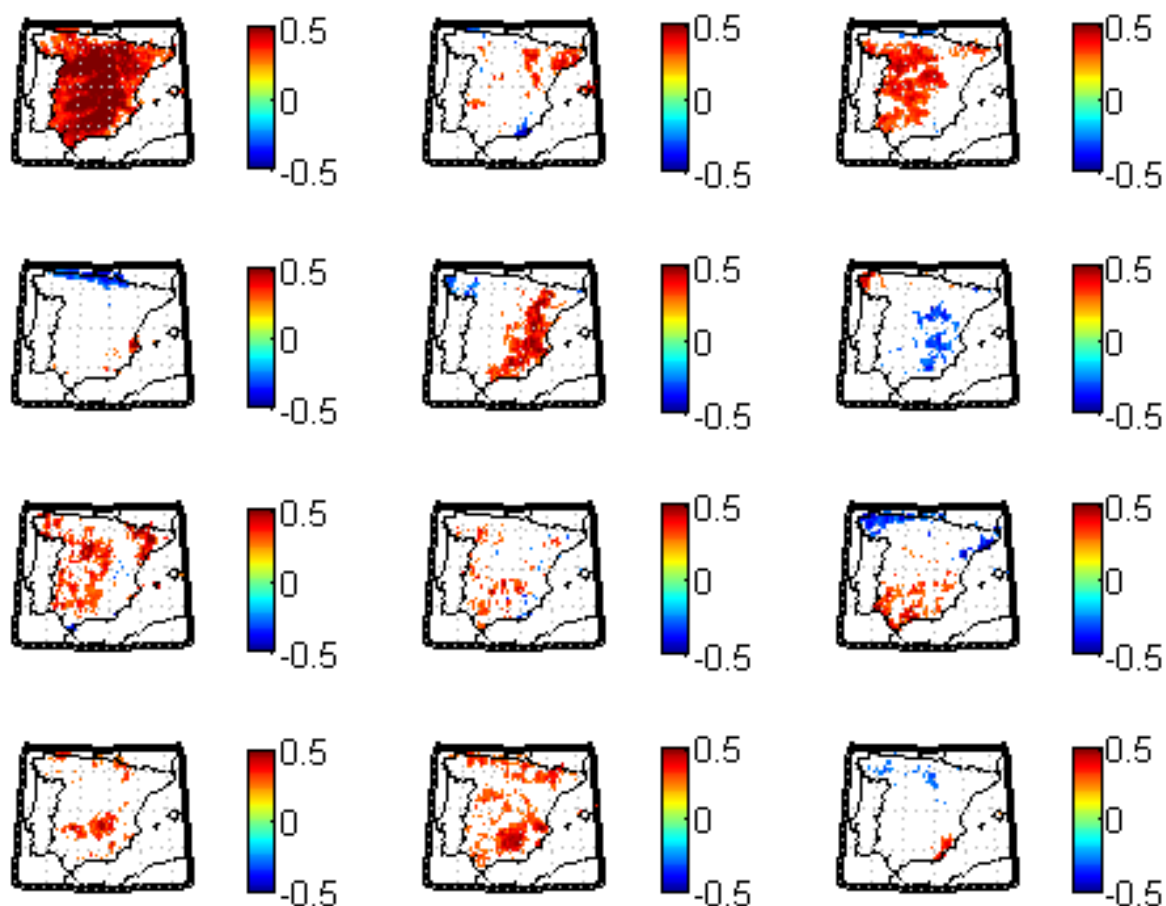


Figura 3.9. Mapas de correlación entre la precipitación mensual y la producción de oliva de almazara.

Los mapas compuestos de la oliva de almazara se muestran en la figura 3.11. En ellos se ve que en el mes de enero la presencia de precipitaciones favorece el aumento de la producción, un comienzo de año lluvioso proporciona reservas de agua a la planta para el resto del año. En el mes de marzo comienza el crecimiento de las inflorescencias y la presencia de las precipitaciones favorece un número mayor de inflorescencias que en el futuro darán lugar a la oliva. En mayo las precipitaciones se prefieren en la costa mediterránea mientras que no son del todo propicias en la costa oeste. Al igual que en el caso de la oliva de mesa (figura 3.8) las precipitaciones en el noreste son muy abundantes lo que pueden causar la caída de las inflorescencias y así disminuir la cantidad de producción de este tipo de oliva, y en el resto de la Península las precipitaciones al no ser tan constantes benefician el crecimiento de la inflorescencia y no su caída. Por último en el mes de noviembre las precipitaciones favorecen una buena producción quizás porque ayuden al engorde del fruto en la época final del envero.

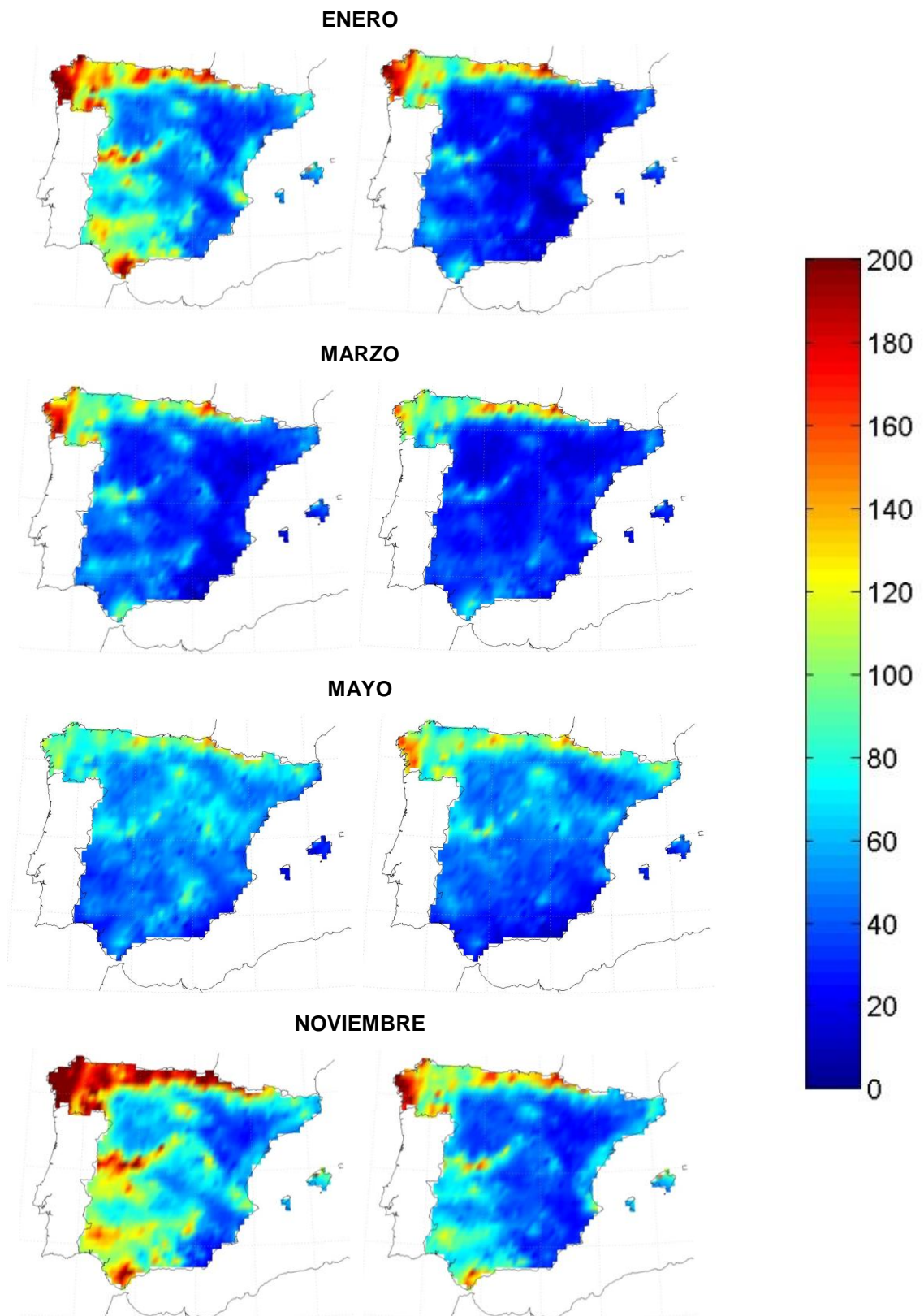


Figura 3.10. Mapas de precipitación para los años con buena y mala producción de oliva de almazara para los meses de enero, marzo, mayo y noviembre.

Además de la precipitación también es importante la relación de la producción con la temperatura. Por lo que también se ha analizado la relación entre la producción y la temperatura media peninsular. La figura 3.12 muestra la distribución espacial de las correlaciones entre la producción de la oliva de mesa y la temperatura media mensual mostrando sólo aquellas correlaciones con una significatividad superior al 95%. Como puede verse en dicha figura los valores más significativos se obtienen para los meses de marzo, junio, septiembre y noviembre. La correlación es positiva en el mes de junio y septiembre, esto quiere decir, que si hay temperaturas medias altas hay una mayor productividad y si hay una disminución en esta obtenemos una menor producción. La correlación es negativa en el mes de marzo y noviembre, lo que quiere decir que con temperaturas medias bajas tendremos una mayor producción y viceversa.

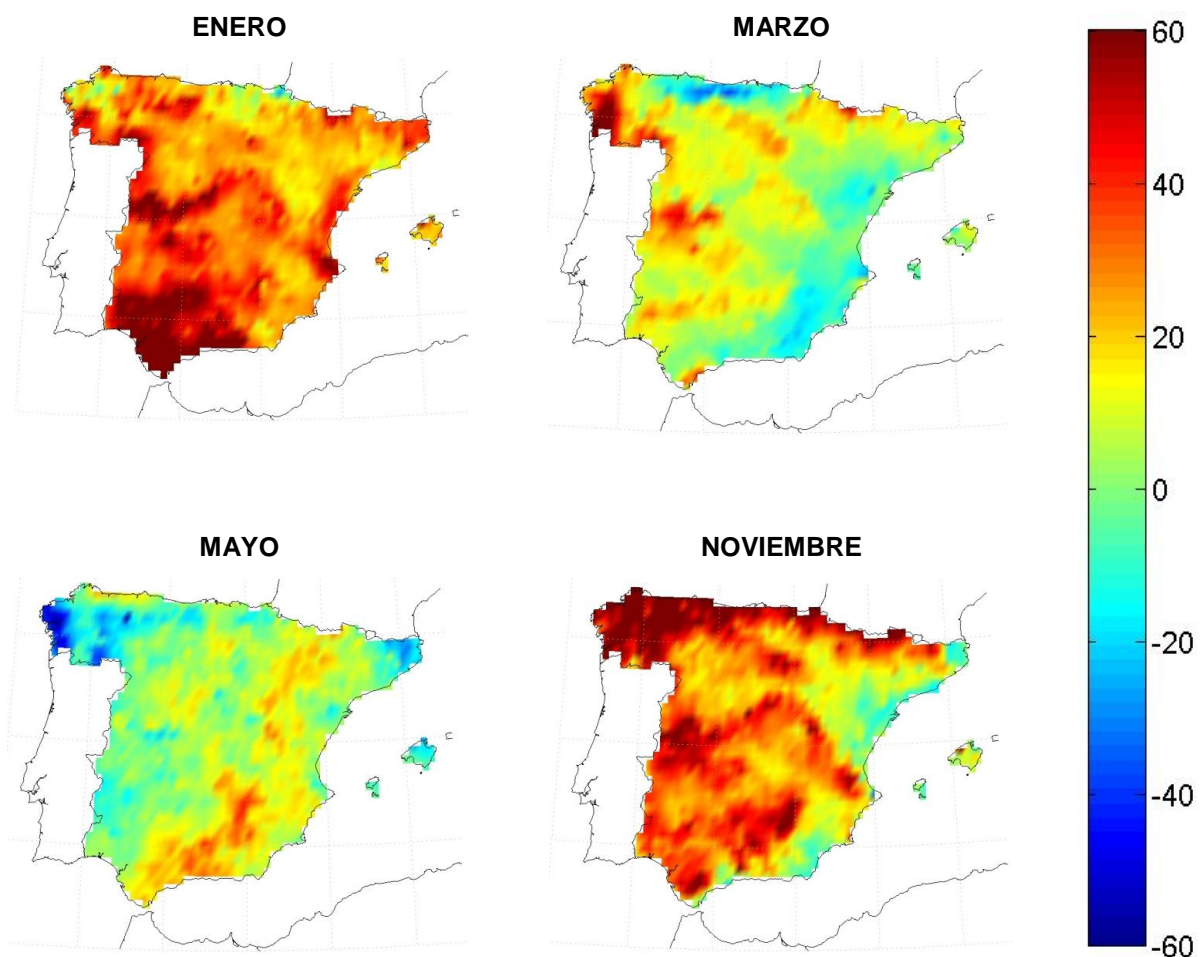


Figura 3.11. Mapas compuestos de precipitación para los meses de enero, marzo, mayo y noviembre.

La figura 3.13 muestra la media de la temperatura media para los años con alta producción y baja producción de los meses de marzo, junio, septiembre y noviembre. Los mapas compuestos de la figura 3.14 se obtuvieron restando a la temperatura media de los años con una buena producción de oliva de mesa la temperatura media de los años con baja producción de este tipo de oliva, igual que en el caso de la precipitación mensual.

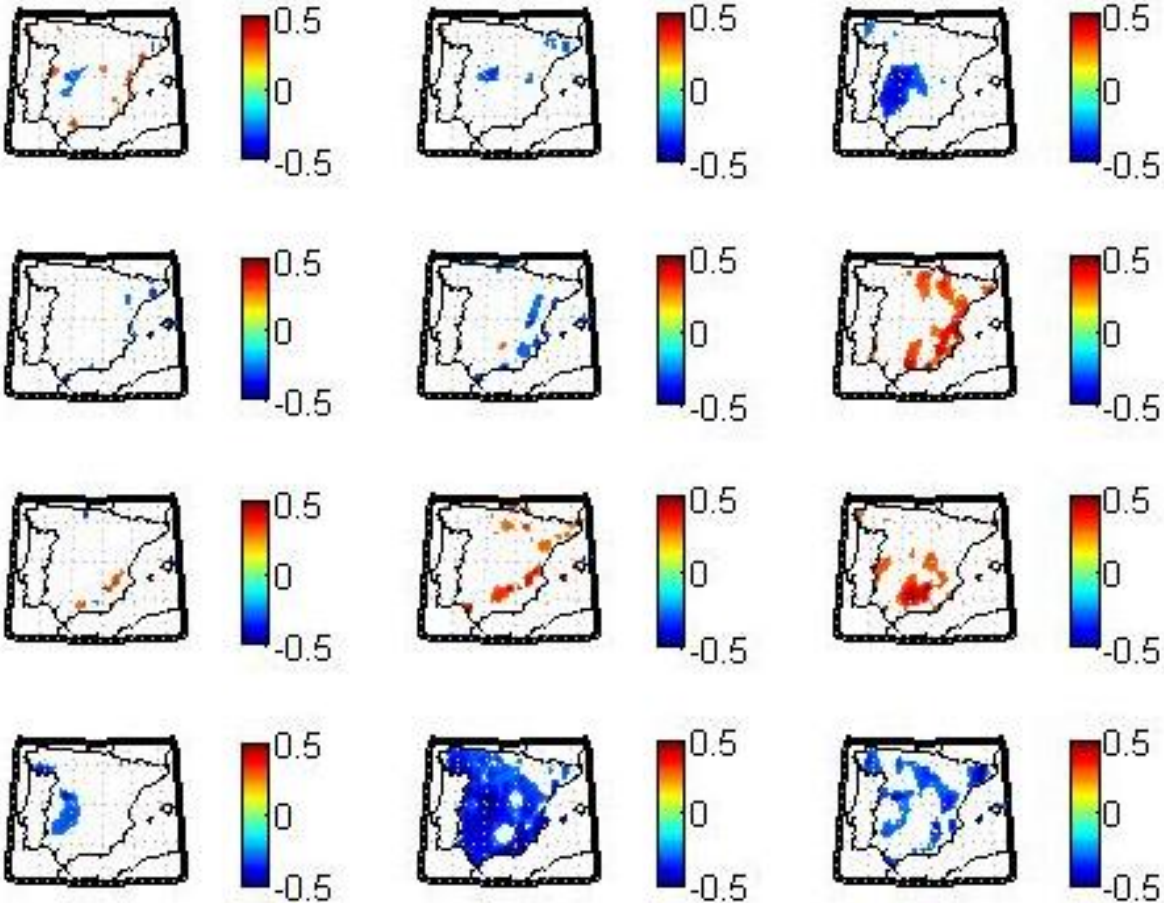


Figura 3.12. Mapas de correlación entre la temperatura media mensual y la producción de oliva de mesa.

Los resultados que se pueden deducir de la figura 3.14 es que para el mes de marzo las altas temperaturas no favorecen la producción en la zona central y el interior de Galicia, debido a que en este mes tiene lugar el crecimiento de las inflorescencias y las temperaturas altas pueden causar quemaduras en ellas. En junio, es la temperatura positiva la que favorece un aumento en la productividad en la zona sur, dado que se produce el crecimiento de la oliva, las altas temperaturas favorecen dicho crecimiento. Para el mes de septiembre se obtuvo que en el sur las

temperaturas más altas favorecen la producción, como en este mes tiene lugar el crecimiento post-estival estas altas temperaturas resultan beneficiosas para dicho crecimiento. Por último en el mes de noviembre son los años con temperaturas más bajas los que mejoran la producción, dicho mes tiene lugar la maduración y unas temperaturas demasiado altas podrían deteriorar la calidad del fruto.

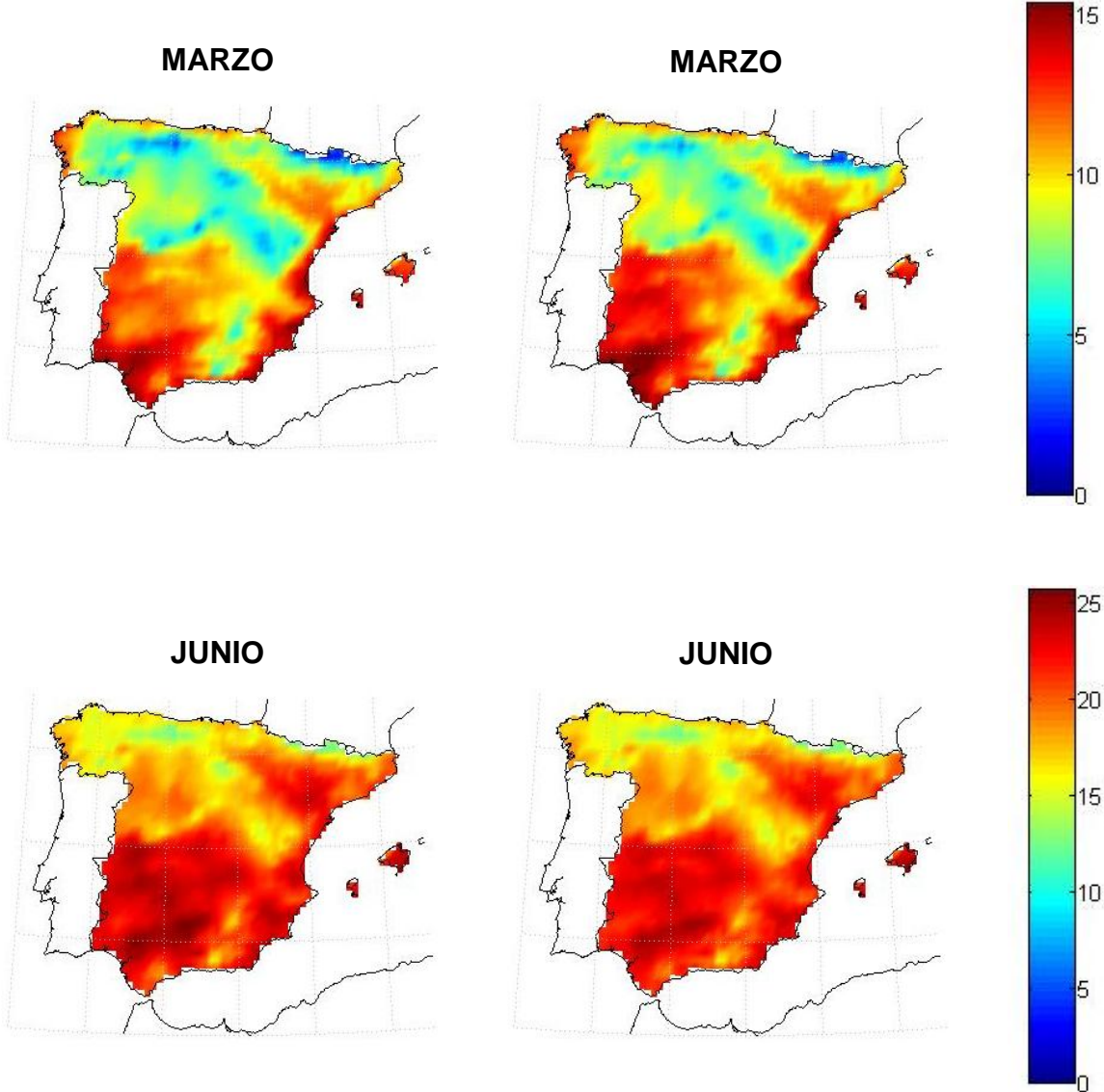


Figura 3.13. Mapas de temperatura media para los años con buena y mala producción de oliva de mesa para los meses de marzo, junio, septiembre y noviembre.

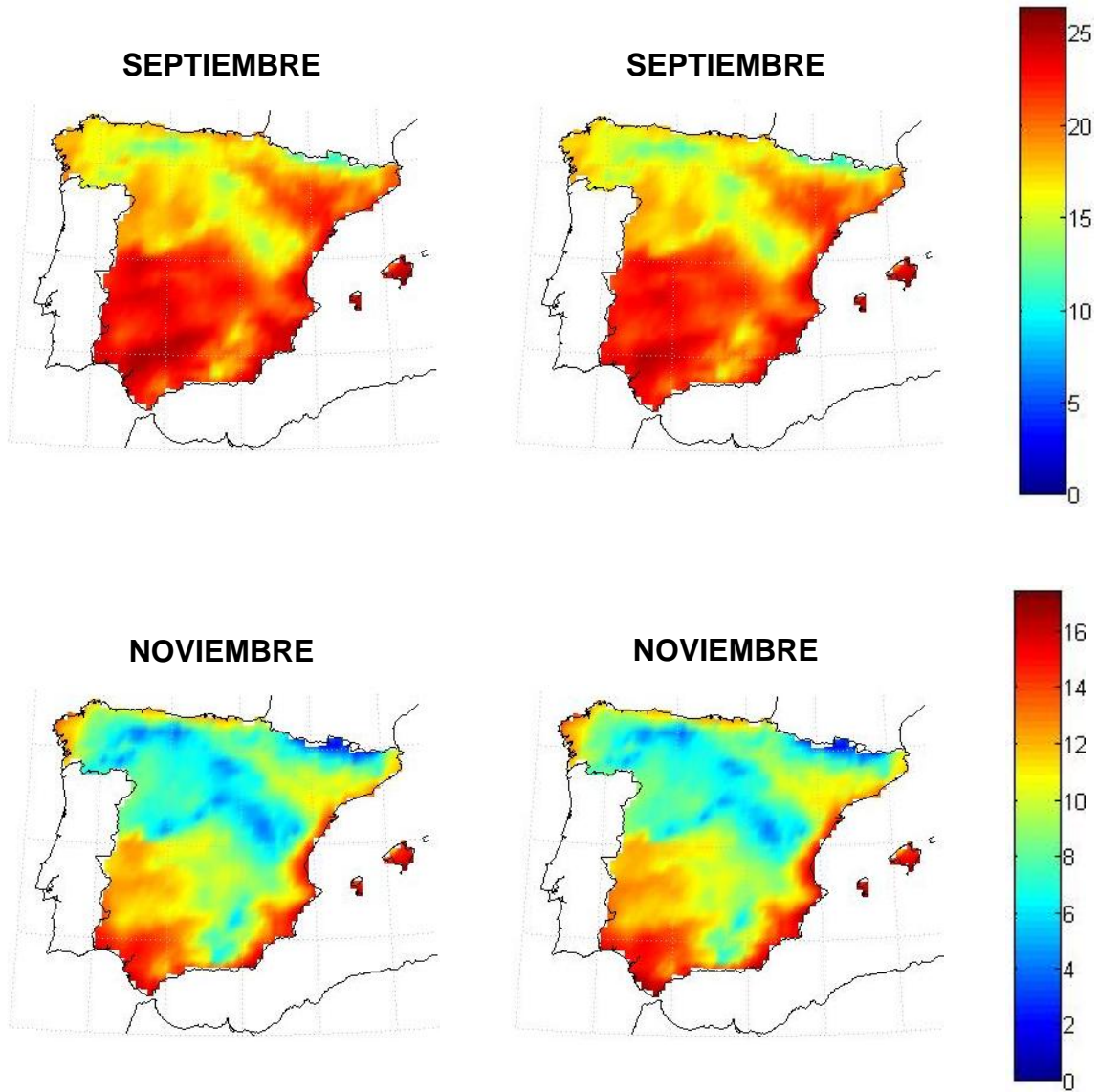


Figura 3.13. **(Continuación)** Mapas de temperatura media para los años con buena y mala producción de oliva de mesa para los meses de marzo, junio, septiembre y noviembre.

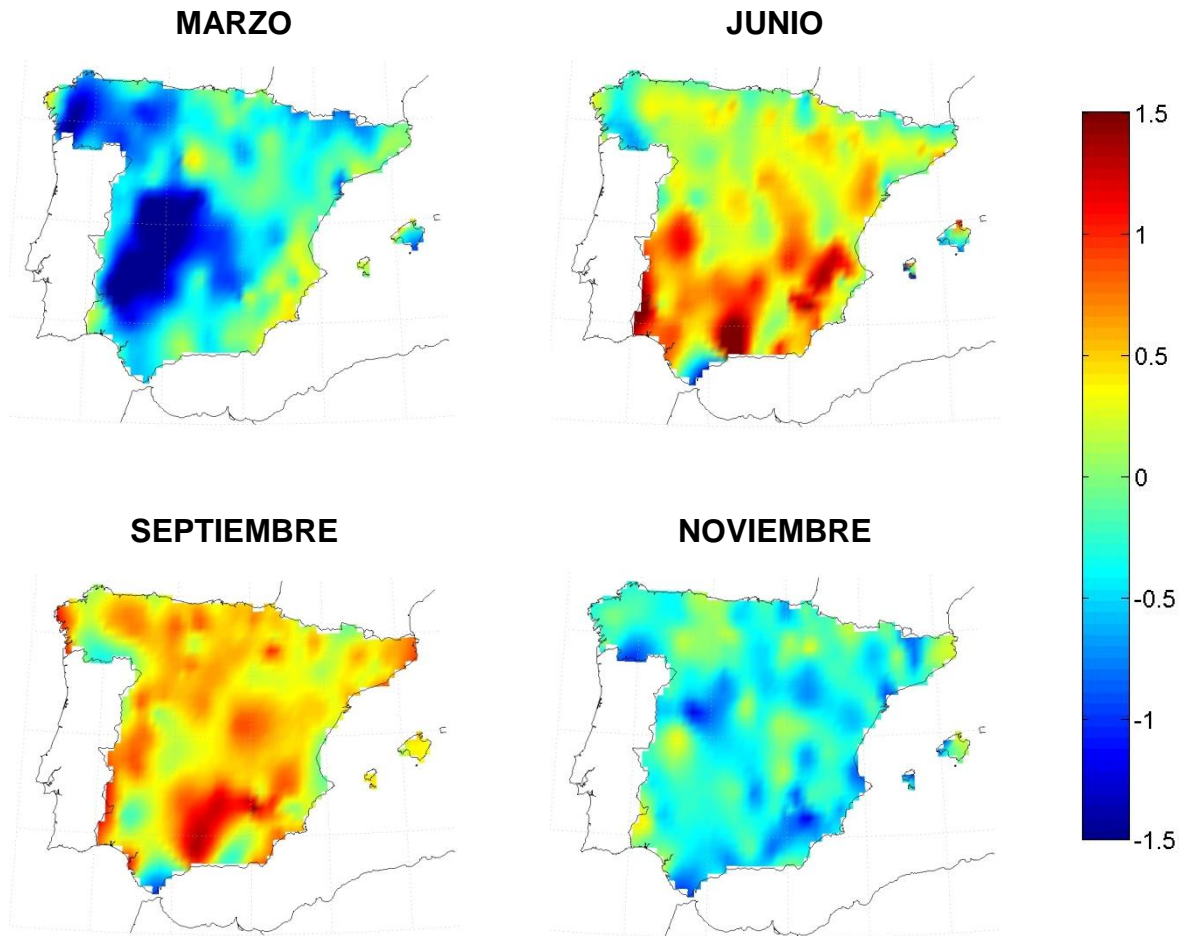


Figura 3.14. Mapas compuestos de temperatura media para los meses de marzo, junio, septiembre y noviembre.

En cuanto a la oliva de almazara la figura 3.15 muestra la distribución espacial de las correlaciones significativas al 95% entre la producción de la oliva y la temperatura media mensual. Se observa que los valores más significativos se obtienen para los meses de abril, julio, septiembre y noviembre. La correlación es positiva en el mes de abril y septiembre, esto quiere decir, que si hay temperaturas medias altas hay una mayor productividad y si hay una disminución en estas obtenemos una menor producción. La correlación es negativa en el mes de julio y noviembre, lo que quiere decir que con temperaturas medias bajas tendremos una mayor producción y viceversa.

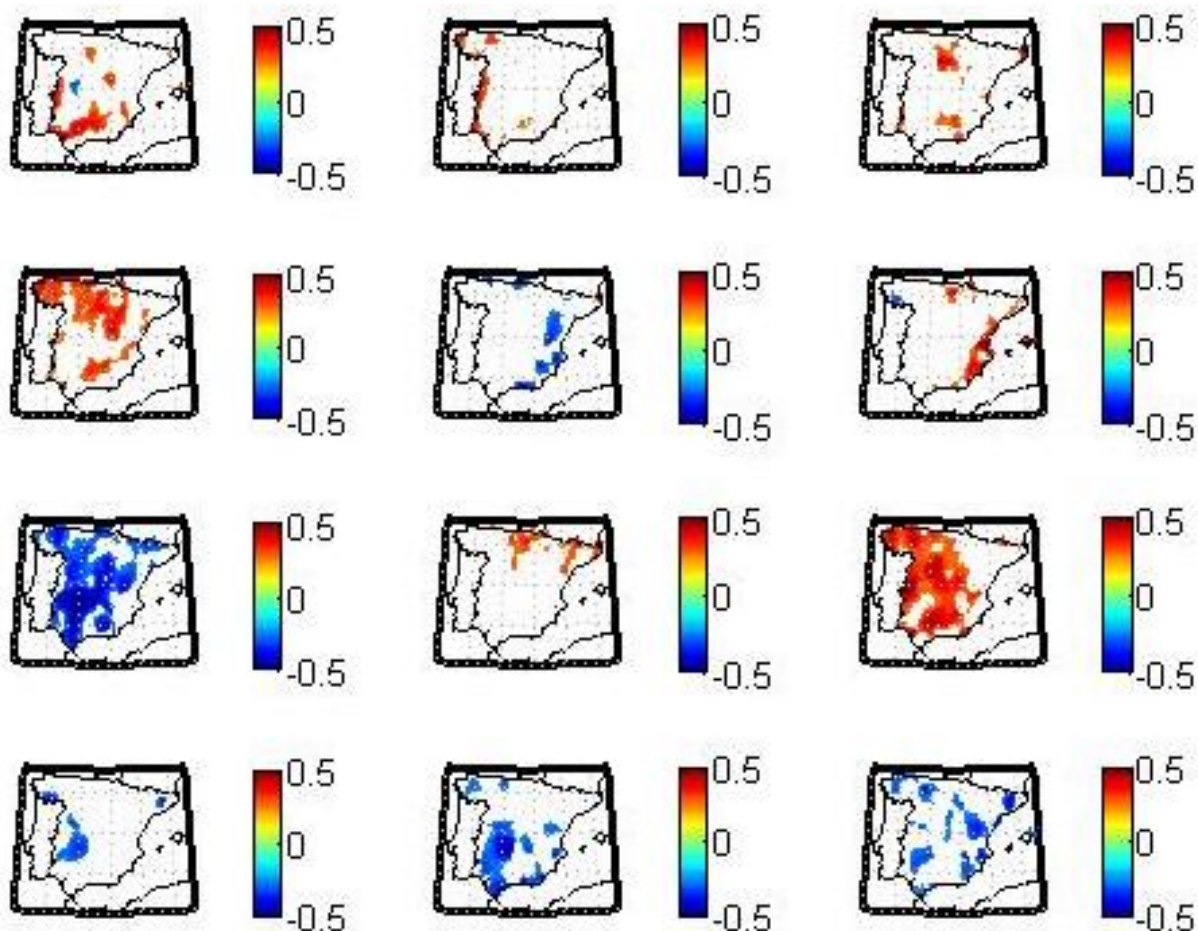


Figura 3.15. Mapas de correlación entre la temperatura media mensual y la producción de oliva de almazara.

La figura 3.16 muestra la media de la temperatura media para los años con producción superior a la media y producción inferior a la media de abril, julio, septiembre y noviembre.

La figura 3.17 recoge los mapas compuestos de la oliva de almazara que se obtuvieron restando a la temperatura media de los años con una buena producción de almazara la temperatura media de los años con baja producción de almazara.

Los resultados que nos muestra la figura 3.17 es que para el mes de abril la producción se ve favorecida por las altas temperaturas, dado que tiene lugar el crecimiento de las inflorescencias que en un futuro darán lugar al fruto, las altas temperaturas favorecen su crecimiento. En cuanto al mes de julio se observa que las temperaturas medias de los años de mayor producción son menores que las de los años de producción menor, esto puede deberse a que en esta época tiene lugar el

crecimiento del fruto y las temperaturas demasiado altas pueden provocar daños en él. En septiembre, al contrario que en julio, son las temperaturas más altas las que favorecen la productividad de la oliva de almazara. En este mes tiene lugar el crecimiento y las altas temperaturas lo favorecen posiblemente porque en septiembre empiezan a descender las temperaturas causando una disminución en el crecimiento. Para noviembre también las temperaturas demasiado altas podrían perjudicar la producción.

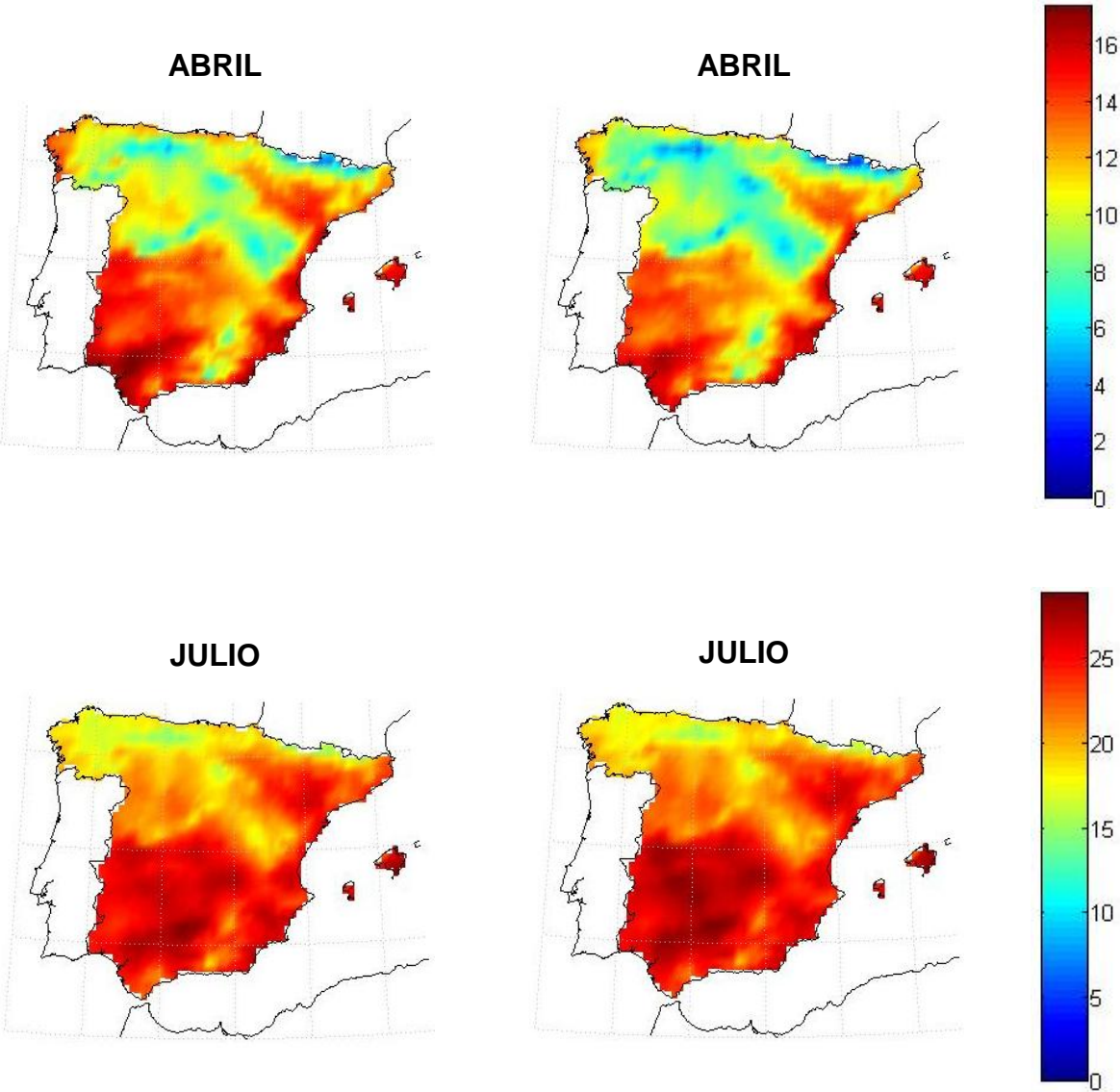


Figura 3.16. Mapas de temperatura media para los años con buena y mala producción de oliva de almazara para los meses de abril, julio, septiembre y noviembre.

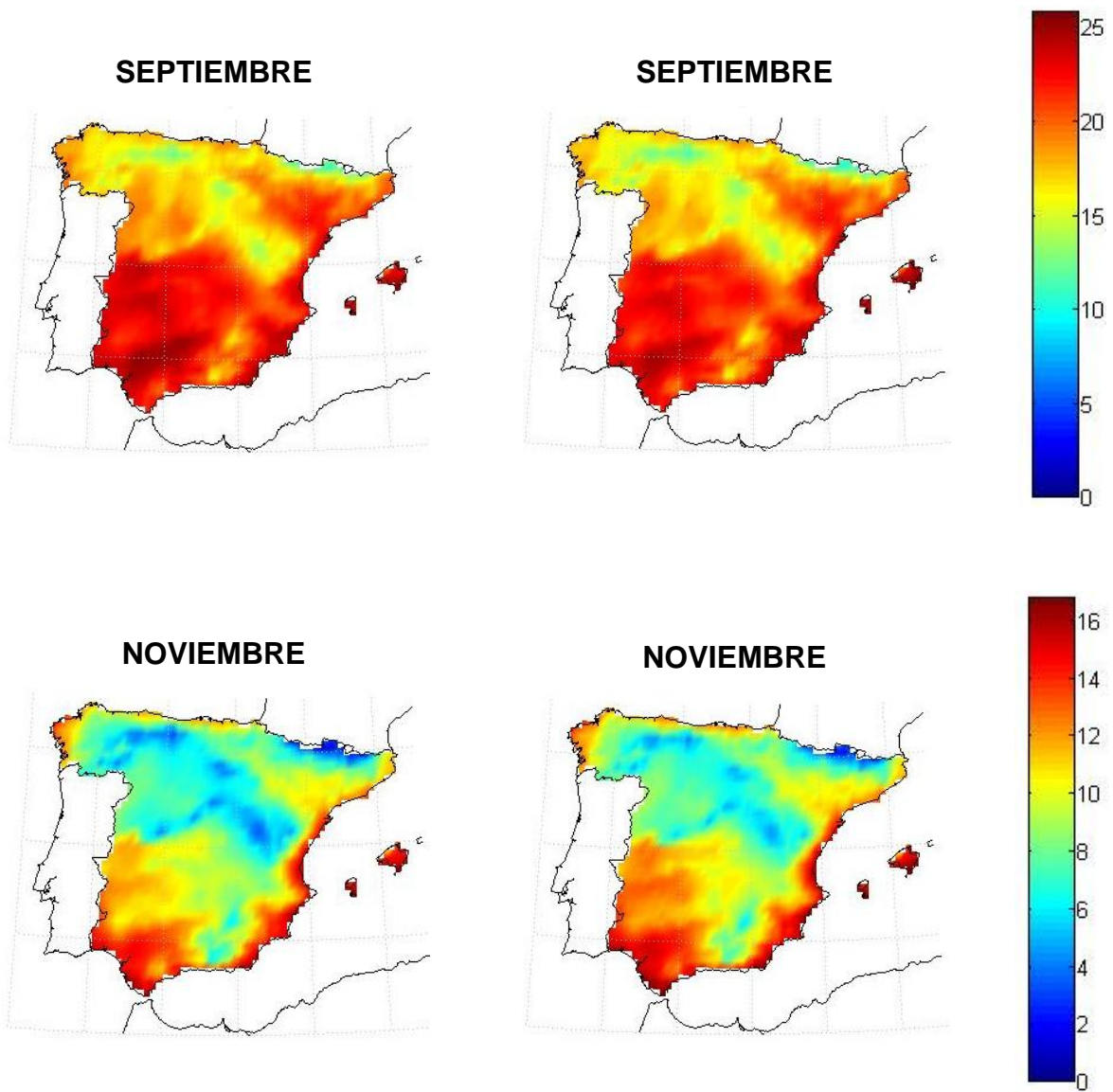


Figura 3.16. **(Continuación)** Mapas de temperatura media para los años con buena y mala producción de oliva de almazara para los meses de abril, julio, septiembre y noviembre.

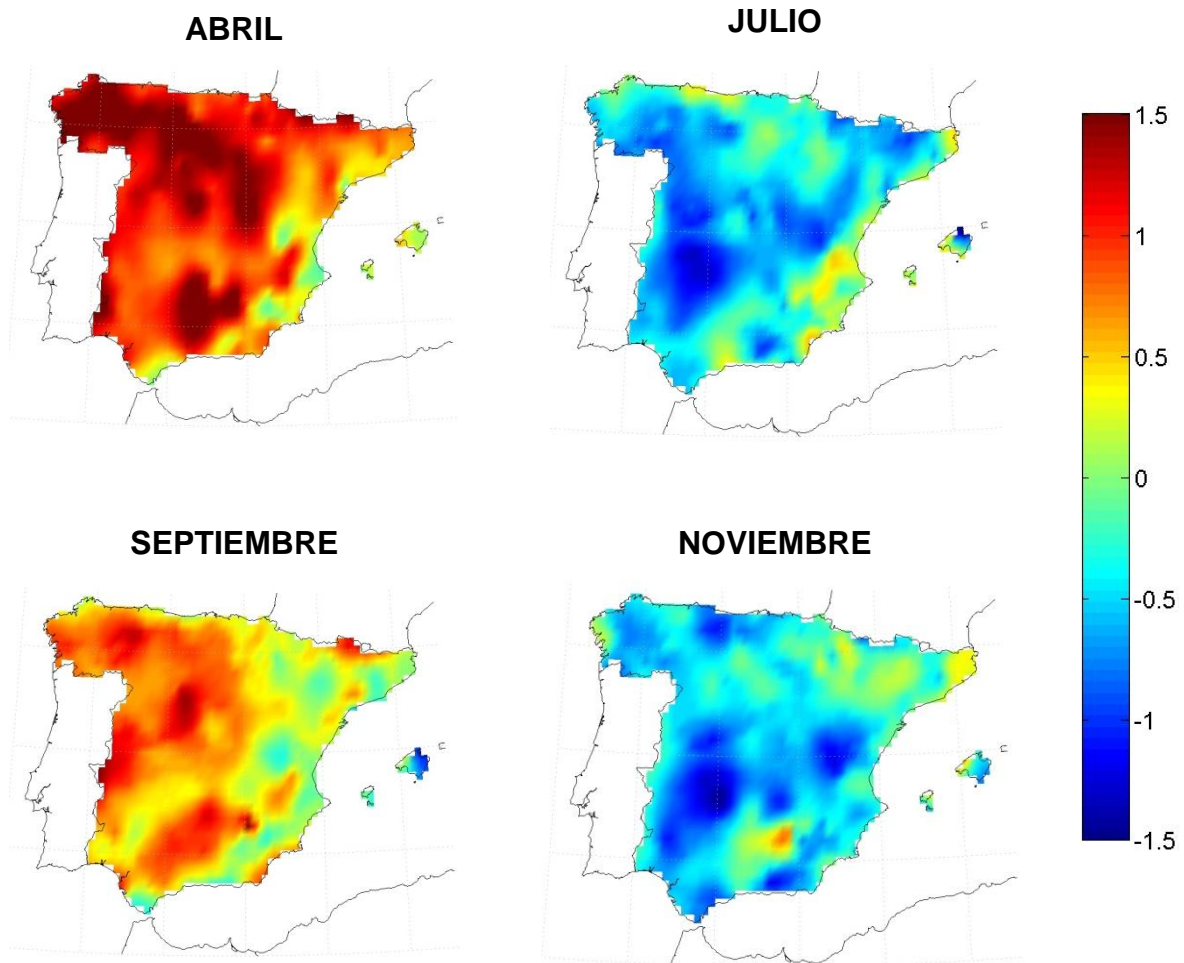


Figura 3.17. Mapas compuestos de temperatura media para los meses de abril, julio, septiembre y noviembre.

3.3. Relación entre la producción anual del olivo y los principales modos de teleconexión

Dada la importancia de la influencia de los principales patrones de variabilidad climática con las condiciones meteorológicas y consecuentemente con la producción agrícola también se ha estudiado la relación entre la producción de la oliva de mesa y de almazara con los principales modos de variabilidad climática de la zona del Atlántico Norte que afectan a la península Ibérica (NAO, EA, EA/WR y SCA) y la dependencia de la producción con los modos de oscilación del Pacífico ecuatorial SOI y NIÑO.

El desarrollo experimentado por la predicción estacional en los últimos años para la predicción de fenómenos como el NIÑO o la NAO propician que el conocimiento de las influencias de dichos fenómenos sobre temas tan importantes para la sociedad como la agricultura o el potencial energético desarrollado por determinadas energías renovables sea de gran utilidad para la adaptación de dichos sectores a las condiciones meteorológicas.

El estudio se llevó a cabo tanto mensual como estacionalmente, además las correlaciones se han llevado a cabo correlativamente e incluyendo un desfase de un año entre las condiciones climáticas y la producción del cultivo ya que en muchas ocasiones la influencia de los patrones atmosféricos de gran escala tienen lugar con cierto desfase temporal.

Tabla 3.2. Correlaciones ente los cuatro modos principales de Atlántico Norte (NAO, EA, EA/WR y SCA) y la producción del olivar de mesa sin desfase y con desfase de un año. (* Correlaciones significativas al 90%. ** Correlaciones significativas al 95%).

MESA								
MES	NAO	NAOL1	EA	EAL1	EAWR	EAWRL1	SCA	SCAL1
1	-0.09	0.03	0.16	-0.06	-0.20	0.14	-0.13	-0.12
2	0.09	-0.10	-0.04	-0.01	-0.10	-0.13	0.28*	-0.05
3	-0.12	-0.15	0.18	0.27*	0.23	0.05	0.17	-0.20
4	0.03	-0.15	-0.01	0.33**	0.08	-0.16	0.10	0.14
5	0.37**	0.13	0.06	0.12	0.07	0.04	-0.42**	0.43**
6	-0.16	0.12	0.25	0.33**	0.11	-0.16	-0.10	-0.23
7	0.03	0.08	0.03	0.33**	-0.15	-0.49**	0.07	0.18
8	-0.21	-0.10	-0.03	0.05	-0.12	-0.08	-0.18	-0.08
9	0.39**	-0.32*	-0.03	0.14	-0.33**	0.24	-0.14	0.04
10	-0.01	0.11	0.12	0.21	-0.14	-0.19	0.11	-0.17
11	0.40**	-0.34**	-0.07	0.09	0.00	-0.19	0.09	-0.10
12	0.15	-0.14	-0.22	0.11	0.12	-0.21	0.21	-0.24
Estaciones	NAO	NAOL1	EA	EAL1	EAWR	EAWRL1	SCA	SCAL1
djf	-0.08	-0.08	0.10	-0.09	-0.25	0.0	-0.05	-0.06
mam	0.14	-0.10	0.14	0.42**	0.24	-0.04	-0.08	0.21
jja	-0.20	0.04	0.14	0.38**	-0.08	-0.39**	-0.13	-0.08
son	0.43**	-0.32*	0.02	0.27*	-0.26	-0.07	0.04	-0.13
Anual	0.19	-0.20	0.11	0.50**	-0.10	-0.26	0.02	-0.12

En la tabla 3.2 y 3.3 se muestran los resultados de las correlaciones entre los principales modos atmosféricos del Atlántico Norte y la producción del olivar de mesa y almazara, respectivamente.

Tabla 3.3. Correlaciones ente los cuatro modos principales de Atlántico Norte (NAO, EA, EAWR y SCA) y la producción del olivar de almazara sin desfase y con desfase de un año. (* Correlaciones significativas al 90%. ** Correlaciones significativas al 95%).

ALMAZARA								
MES	NAO	NAOL1	EA	EAL1	EAWR	EAWRL1	SCA	SCAL1
1	-0.43**	0.13	0.17	-0.20	0.05	0.08	0.15	0.0
2	0.06	0.08	0.19	-0.14	0.12	-0.51**	0.26	-0.31*
3	-0.06	-0.10	0.23	-0.19	-0.09	0.18	0.02	-0.04
4	0.07	-0.28*	-0.17	-0.05	0.31*	-0.23	-0.04	0.07
5	0.12	0.11	0.07	0.25	0.12	0.05	-0.14	0.31*
6	-0.38**	0.34**	0.35**	0.09	0.24	-0.07	-0.12	0.10
7	0.15	0.0	-0.02	0.06	-0.19	-0.33**	0.18	0.08
8	-0.17	0.08	0.14	-0.36**	-0.15	0.09	-0.07	0.42**
9	0.11	-0.10	-0.09	-0.09	0.00	0.28*	-0.15	0.11
10	-0.10	0.17	0.06	0.35**	-0.07	-0.04	0.01	-0.10
11	0.14	-0.37**	0.33**	0.20	-0.01	-0.40**	0.19	0.17
12	-0.04	-0.55**	-0.13	0.22	0.04	-0.15	0.12	-0.02
Estaciones	NAO	NAOL1	EA	EAL1	EAWR	EAWRL1	SCA	SCAL1
djf	-0.49**	0.10	0.26	-0.27*	0.02	-0.23	0.23	-0.19
mam	0.07	-0.15	0.07	0	0.20	0	-0.09	0.19
jja	-0.23	0.23	0.27*	-0.11	-0.05	-0.17	-0.01	0.36**
son	0.08	-0.17	0.17	0.27*	-0.04	-0.08	0.04	0.10
Anual	-0.14	-0.11	0.29*	0.04	0.09	-0.24	0.13	0.25

En un primer análisis se puede ver que destaca la influencia positiva del patrón EA considerando un desfase de un año entre el índice EA y la producción del olivar de mesa. En cuanto al olivar de almazara la relación con EA disminuye aunque se mantiene una correlación significativa al 90% entre el índice EA de otoño y la producción del año siguiente. También el índice NAO presenta periodos de correlación significativa al 95% tanto considerado un desfase anual como en el caso sin desfase. En este caso los resultados cambian según se trate del olivar de mesa o del de almazara. Esto puede ser debido a que la influencia de la oscilación NAO varía a lo largo de la geografía peninsular dada la posición de los centros de acción

de dicho dipolo. Los otros índices también muestran algunas correlaciones significativas al 95% aunque más esporádicas y diferentes según se trate de olivar de mesa o de almazara. Así por ejemplo el índice SCA de verano correlaciona positivamente con una significancia del 95% con la producción del año siguiente del olivar de almazara pero no con el de mesa. Lo mismo le ocurre al índice EA/WR de verano que correlaciona negativamente con una significancia del 95% con la producción del año siguiente del olivar de mesa pero no muestra correlación con el de almazara. Esto requiere de un trabajo futuro más en profundidad que nos permita entender dichas relaciones.

Tabla 3.4. Correlaciones ente los dos índices que caracterizan el fenómeno ENSO (SOI y NIÑO) y la producción del olivar de mesa sin desfase y con desfase de un año. (* Correlaciones significativas al 90%. ** Correlaciones significativas al 95%).

MESA						
MES	NIÑO4	NIÑO4L1	NIÑO3.4	NIÑO3.4L1	SOI	SOIL1
1	-0.35**	-0.08	-0.27*	-0.01	0.36**	-0.12
2	-0.30*	-0.11	-0.25	-0.07	0.31*	-0.14
3	-0.30*	-0.20	-0.27*	-0.09	0.21	-0.09
4	-0.27*	-0.30*	-0.35**	-0.23	0.26	0.34**
5	-0.20	-0.34**	-0.29*	-0.29*	0.01	0.34**
6	-0.05	-0.35**	-0.11	-0.32*	-0.15	0.34**
7	0	-0.37**	0.09	-0.38**	-0.04	0.34**
8	0.03	-0.37**	0.17	-0.35**	-0.17	0.47**
9	0.17	-0.40**	0.21	-0.33**	-0.19	0.52**
10	0.21	-0.36**	0.21	-0.33**	-0.03	0.49**
11	0.13	-0.31*	0.13	-0.30*	-0.16	0.44**
12	0.11	-0.32*	0.14	-0.28*	-0.19	0.43**
Estaciones	NIÑO4	NIÑO4L1	NIÑO3.4	NIÑO3.4L1	SOI	SOIL1
djf	-0.32*	-0.10	-0.27*	-0.02	0.42**	-0.13
mam	-0.27*	-0.29*	-0.32*	-0.20	0.22	0.26
jja	-0.01	-0.37**	0.06	-0.36**	-0.14	0.42**
son	0.17	-0.35**	0.18	-0.32*	-0.14	0.54**
Anual	-0.08	-0.34**	-0.04	-0.32*	0.06	0.42**

En la tabla 3.4 y 3.5 se presentan las correlaciones encontradas entre los dos índices que caracterizan el fenómeno ENSO (SOI y NIÑO) y la producción de los dos tipos de olivar. Al igual que se hizo con los modos del Atlántico Norte se consideraron tanto las correlaciones teniendo en cuenta un desfase de un año entre

los índices analizados y la producción del olivar como sin considerar desfase alguno. De los 4 zonas del Pacífico ecuatorial que se consideran para calcular el índice NIÑO nosotros hemos considerado las zona NIÑO3.4 y NIÑO4 (ver figura 2.1) por ser las que presentaron mayores valores de correlación.

Tabla 3.5. Correlaciones ente los dos índices que caracterizan el fenómeno ENSO (SOI y NIÑO) y la producción del olivar de almazara sin desfase y con desfase de un año. (* Correlaciones significativas al 90%. ** Correlaciones significativas al 95%).

ALMAZARA						
MES	NIÑO4	NIÑO4L1	NIÑO3.4	NIÑO3.4L1	SOI	SOIL1
1	-0.18	-0.26	-0.12	-0.33*	0.17	0.28*
2	-0.15	-0.28*	-0.10	-0.38**	0.28*	0.06
3	-0.10	-0.30*	-0.10	-0.34**	0.02	0.27*
4	-0.06	-0.30*	-0.14	-0.35**	0.08	0.53**
5	-0.04	-0.26	-0.04	-0.30*	-0.19	0.11
6	0.12	-0.21	0.12	-0.17	-0.30*	0.43**
7	0.21	-0.28*	0.31*	-0.20	-0.19	0.28*
8	0.20	-0.27*	0.40**	-0.20	-0.20	0.26
9	0.27*	-0.24	0.40**	-0.16	-0.23	0.36**
10	0.30*	-0.18	0.39**	-0.14	-0.22	0.35**
11	0.25	-0.16	0.34**	-0.15	-0.16	0.22
12	0.22	-0.18	0.30*	-0.14	-0.08	0.19
Estaciones	NIÑO4	NIÑO4L1	NIÑO3.4	NIÑO3.4L1	SOI	SOIL1
djf	-0.17	-0.27*	-0.12	-0.34**	0.24	0.10
mam	-0.08	-0.30*	-0.10	-0.35**	-0.02	0.40**
jja	0.18	-0.26	0.29*	-0.20	-0.27*	0.37**
son	0.27*	-0.18	0.38**	-0.15	-0.23	0.34**
Anual	0.10	-0.29*	0.21	-0.31*	-0.12	0.46**

Las correlaciones encontradas con el NIÑO difieren según el tipo de olivar analizado. El olivar de mesa presenta correlaciones negativas tanto con el NIÑO4 como con el NIÑO 3.4 aunque un poco más altas con el NIÑO4. En ambos casos las correlaciones se dan entre los índices de invierno y primavera con la producción del mismo año y entre los índices de verano, otoño y anual con la producción del año siguiente. En el caso del olivar de almazara las correlaciones presentan valores más altos con la zona del NIÑO3.4 y cambian de signo según se considere o no un desfase entre el índice y la producción. Sin desfase las correlaciones son positivas y

significativas al 90% con el índice de otoño NIÑO4 y el índice de verano NIÑO3.4 y positivas y significativas al 95% con el índice de otoño NIÑO3.4. Al considerar un desfase de un año las correlaciones son negativas y significativas al 90% entre los índices de invierno y primavera del NIÑO4 y la producción del año siguiente y negativas y significativas al 95% entre los índices de invierno y primavera del NIÑO3.4 y la producción del año siguiente.

La influencia del índice SOI, la contrapartida atmosférica del fenómeno ENSO, tiene una influencia similar con los dos tipos del olivar, mostrando correlaciones positivas y significativas al 95% al considerar un desfase anual entre el índice y la producción de oliva.

Estos resultados son muy interesantes ya que la predicción del fenómeno ENSO es de las predicciones estacionales más desarrolladas durante los últimos años. Lo que hace que estos resultados puedan aplicarse para la elaboración de una herramienta predictiva de la producción de oliva. Para ello se hace necesario, un análisis más en profundidad para comprender las claves de dichas correlaciones.

4. CONCLUSIONES

La influencia de la precipitación y la temperatura media sobre la producción de la oliva de mesa y de almazara ha sido analizada para el período comprendido entre 1980-2007, con la finalidad de obtener cuales son las condiciones climáticas ideales para obtener la máxima producción. También se estudió la influencia de los patrones del Atlántico Norte y del Pacífico ecuatorial sobre la producción del olivar en la península Ibérica. La influencia de dichas variables y patrones se estudió a través del cálculo de las correlaciones de Pearson, entre los patrones y variables con la producción de cada tipo de oliva y el análisis de los mapas compuestos. El análisis fue llevado a cabo mensualmente para la influencia de la precipitación y temperatura, y para los diferentes patrones de teleconexión fue llevado de forma anual, estacional y mensual.

Con el test no paramétrico de Mann-Kendall se calculó como es la tendencia de la producción de ambos tipos de oliva. El resultado obtenido fue que para ambos casos la tendencia es creciente y significativa al 0.001.

En cuanto a la influencia de la temperatura media y la precipitación los resultados obtenidos para la oliva de mesa son que las temperaturas medias altas favorecen la producción en los meses de junio y septiembre y las temperaturas medias bajas en los meses de marzo y noviembre también propician mejores producciones. Las precipitaciones presentan influencia positivas con la producción en los meses de marzo, mayo y octubre, mientras que las precipitaciones su influencia es negativa en diciembre. Para el caso de la oliva de almazara los meses en los que la precipitación favorece la producción son enero, marzo, mayo y noviembre. Las temperaturas medias altas favorecen la producción en los meses de abril y septiembre y las temperaturas medias bajas son propicias en julio y noviembre. En la tabla 4.1 se resumen las relaciones encontradas entre los dos tipos de olivar y las variables de precipitación y temperatura media. Ambos tipos de olivar presentan relaciones similares como cabía esperar en un principio.

Tabla 4.1. Condiciones de correlación positiva (rojo) o negativa (azul) significativa entre precipitación y temperatura media con la producción de la oliva de mesa y almazara.

		Rep. invernal		Crec. vegetativo primaveral				Par. estival		Crec. post-estival		Rep. invernal	
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Almazara	PP	■		■		■						■	
	TM				■			■		■		■	
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Mesa	PP			■		■					■		■
	TM			■			■			■		■	

En cuanto al estudio tanto mensual como estacional de los patrones de teleconexión del Atlántico Norte y del Pacífico ecuatorial con la producción del olivo. Se analizaron estos patrones correlativamente e incluyendo un desfase de un año entre las condiciones climáticas y la producción del cultivo ya que en muchas ocasiones la influencia de los patrones atmosféricos de gran escala tienen lugar con cierto desfase temporal. Para el caso de los patrones del Atlántico Norte los patrones EA, y NAO son los que presentan más valores de correlación significativa. El patrón EA influye sobre todo en la producción del año siguiente de la oliva de mesa, aunque el índice de otoño también muestra una correlación positiva significativa al 90% con la producción del olivar de almazara del año siguiente. El índice NAO de invierno

correlaciona sin embargo negativamente con la producción del propio año del olivar de almazara mientras que el índice NAO de otoño lo hace positivamente con la producción del propio año del olivar de mesa. Estos resultados son interesantes y requieren de un trabajo futuro que nos permita entender dichas relaciones

Los resultados de la correlación con los índices del Pacífico muestran una correlación positiva significativa al 95% de la producción anual de ambos tipos de olivar con el índice SOI del año anterior. En cuanto a la relación con los índices NIÑO. La oliva de mesa presenta correlaciones negativas con los índices de invierno y primavera del mismo año y con los índices de verano y otoño del año anterior siendo más altas dichas correlaciones con el área del NIÑO4. La oliva de almazara por el contrario se ve más influida por el área del NIÑO3.4 y en este caso las correlaciones son positivas con el índice de otoño del propio año y negativas con los índices de invierno y primavera del año anterior. Como se comentó en la sección de resultados son muy interesantes para la elaboración de herramientas predictivas pero se hace necesario llevar a cabo un análisis más en profundidad que permita comprender las razones de dichas correlaciones.

BIBLIOGRAFIA

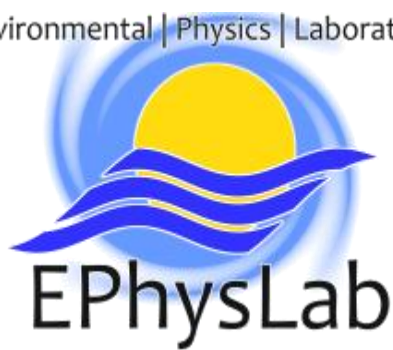
1. AMS (2000) American Meteorological Society Glossary, 2nd edition, Allen Press, Lawrence KS (<http://amsglossary.allenpress.com/glossary>)
2. Agencia Estatal de Meteorología (2011) Atlas climático ibérico: Temperatura del aire y precipitación (1971-2000). Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.
3. Barnston AG and Livezey RE (1987) Classification, seasonality and persistence of low-frequency atmospheric circulation patterns. *Monthly Weather Review*, 115, 1083-1126.
4. Barranco D, Fernández-Escobar R, Rallo L (2008). *El Cultivo del olivo*. Ed. MUNDI-PRENSA LIBROS, S.A. 846 pp. ISBN: 9788484763291
5. Changnon SA, Kunkel KE (1999) Rapidly expanding uses of climate data and information in agriculture and water resources: causes and characteristics of new applications. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 80, 821-830.
6. Changnon SA, Winstanley D (2000) Long-term variations in seasonal weather conditions important to corn production in Illinois. *Climate Change*, 47, 353-372.
7. Esteves MA, Manso Orgaz MD (2001) The influence of climatic variability on the quality of wine. *Int. J. Biometeor*, 45, 13-21.
8. Fraisse CW, Cabrera VE, Breuer NE, Baez J, Quispee J, Matos E (2008) El NIÑO – Southern Oscillation influences on soybean yields in eastern Paraguay. *International Journal of Climatology*, 28, 1399–1407.
9. Gilbert RO (1987) *Statistical methods for environmental pollution monitoring*. Van Nostrand Reinhold Company Inc. Library of Congress Catalog Card Number: 86-26758. ISBN 0-442-23050-8
10. Gimeno L, Ribera P, Iglesias R, de la Torre L, García R, Hernández E (2002) Identification of empirical relationships between indices of ENSO and NAO and agricultural yields in Spain. *Climate Research*, 21, 165–172
11. Guerena A, Ruiz-Ramos M, Díaz-Ambrona Ch, Conde JR, Mínguez MI (2001) Assessment of climate change and agriculture in Spain using climate models. *Agronomy Journal*, 93, 237-249.

12. Hurrell JW (1996) Influence of Variations in Extratropical Wintertime Teleconnections on Northern Hemisphere Temperatures. *Geophysical Research Letters*, 23, (6) 665-668.
13. Iglesias I (2010) Interacción océano-atmósfera: Influencia de la SST y de la circulación termohalina. Tesis doctoral. Universidad de Vigo.
14. Jones GV, Davis RE (2000) Using a synoptic climatological approach to understand climate-viticulture relationships. *Int. J. Climatol.*, 20, 813-837.
15. Quiroga S, Iglesias A (2004) Influencia del clima sobre la productividad agrícola en España. XVIII Reunión de Anales de Economía Aplicada (León)
16. Landau S, Mitchell RAC, Barnett V, Colls JJ, Craigon J, Moore KL, Payne RW (1998) Testing winter wheat simulation models' predictions against observed UK grain yields. *Agricultural and Forest Meteorology*, 89, 85-99.
17. Lorenzo MN, Taboada JJ, Lorenzo JF, Ramos AM (2013) Influence of climate on grape production and wine quality in the Rías Baixas, north-western Spain. *Regional Environmental Change*, 13, 887-896.
18. Marcos D (2012) El ciclo anual del olivo la fenología Viveros Provedo S.A. reportaje Nº 21.
19. Martín-Vide J, Olcina J (2001) Climas y tiempos de España, Madrid, Alianza Editorial, 258 pp. Geografía física de España. Tomás Franco Aliaga. UNED.
20. Menzel A (2003) Plant phenological anomalies in Germany and their relation to air temperature and NAO. *Climate Change*, 57, 243-263.
21. Moreno J. M, Aguiló E, Alonso S., Álvarez Cobelas M, Anadón R, Ballester F, Benito G, Catalán J, de Castro M, Cendrero A, Corominas J, Díaz J, Díaz-Fierros F, Duarte C. M, Esteban Talaya A, Estrada Peña A, Estrela T, Fariña AC, Fernández González F, Galante E, Gallart F, García de Jalón LD, Gil L, Gracia C, Iglesias A, Lapieza R, Loidi J, López Palomeque F, López-Vélez R, López Zafra JM, de Luis Calabuig E, Martín-Vide J, Meneu V, Mínguez Tudela MI, Montero G, Moreno J, Moreno Saiz JC, Nájera A, Peñuelas J, Piserra MT, Ramos MA, de la Rosa D, Ruiz Mantecón A, Sánchez-Arcilla A, Sánchez de Tembleque LJ, Valladares F, Vallejo VR, Zazo C. (2005) Evaluación Preliminar de los Impactos en España por Efecto del Cambio Climático Proyecto ECCE. Edita: Centro de Publicaciones. Secretaría General Técnica.

Ministerio de Medio Ambiente. ISBN: 84-8320-303-0 NIPO: 310-05-024-2
Depósito Legal: M-18.756-2005

22. Ogallo, L. A.; M. S. Boulahya & T. Keane (2000). Applications of seasonal to interannual climate prediction in agricultural planning and operations. *Agr. For. Meteorol.*, 103, 159-166.
23. Reilly J, Tubiello F, Mccarl B, Abler D, Darwin R, Fuglie K, Hollinger S, Izaurrealde C, Jagtap S, Jones J, Mearns L, Ojima D, Paul E, Paustian K, Riha S, Rosenberg N, Rosenzweig C (2003) U.S. Agriculture and climate change: new results. *Climate Change*, 57, 43-69.
24. Rodríguez-Puebla, S. M. Ayuso, M.D. Frías, L.A. García-Casado (2007): Effects of climate variation on winter cereal production in Spain. *Climate Research*, 34, 223 -232.
25. Salmi T, Määttä A, Anttila P, Ruoho-Airola T, Amnell T (2002) Detecting trends of annual values of atmospheric pollutants by the mann-kendall test and sen's slope estimates -the excel template application makesens. *Publications on Air Quality No. 31 Report code FMI-AQ-31. 36 pp. ISBN 951-697-563-1 ISSN 1456-789X Edita Finnish Meteorological Institute*
26. Santos JA, Malheiro AC, Pinto JG, Jones GV (2012) Macroclimate and viticultural zoning in Europe: observed trends and atmospheric forcing. *Clim Res.*, 51, 89-103.
27. Sarmiento M. (2006) Influencia de los patrones de teleconexión sobre la precipitación y sobre el caudal en la cuenca del Río Miño. Proyecto fin de carrera. Universidad de Vigo.
28. Scian BV (2004) Environmental variables for modeling wheat yields in the southwest pampa region of Argentina. *Int. J. Biometeorol.*, 48, 206-212.
29. Sepúlveda G, Kliwer WM, Ryugo K (1986) Effect of high temperature on grapevines (*Vitis vinifera* L.). I. Translocation of 14590 C-photosynthates. *Am J Enol Vitic.*, 37, 13-19.
30. Zubair L (2002) El NIÑO Southern Oscillation influences on rice production in Sri Lanka. *Int. J. Climatol.*, 22, 249-60.

Environmental | Physics | Laboratory



EPhysLab