UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA AGRONÓMICA, ALIMENTARIA Y DE BIOSISTEMAS

MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA AGRONÓMICA

DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN AGRARIA

Buenas prácticas de cultivo en trigo bajo diferentes sistemas de producción en Castilla y León, Castilla la Mancha y Andalucía

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Autor/a: **Sara Brinquis Fava**

Tutor/a: **María Inés Mínguez Tudela**

Julio de 2022

Este Trabajo Fin de Máster ha sido financiado por el Centro de Estudios e Investigación para la Gestión de Riesgos Agrarios y Medioambientales (CEIGRAM) de la Universidad Politécnica de Madrid a través de su convocatoria de ayudas a jóvenes investigadores de 2021 para la realización de Trabajos Fin de Máster (TFM) y Trabajos Fin de Grado (TFG) sobre gestión de riesgos y seguros agrarios, ganaderos o medioambientales.

ÍNDICE:

RESUMEN 7
ABSTRACT 8
1. INTRODUCCIÓN 9
1.1 Tipos de agricultura: agricultura convencional y ecológica 9
1.2 Brechas de rendimiento en diferentes sistemas de producción de trigo 11
1.3 Buenas prácticas agrícolas 12
1.4 Seguros agrarios en trigo 13
2. OBJETIVOS 17
3. METODOLOGÍA 18
3.1 Análisis de brechas de rendimiento en trigo de los diferentes sistemas de producción. 18
3.2 Establecimiento de las brechas de los diferentes sistemas de producción en Castilla y León, Castilla La Mancha y Andalucía. 24
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 25
4.1 Estadísticas agrarias de rendimientos de explotación (FY). 25
4.2 Rendimientos de explotación de Agroseguro. 29
4.3 Rendimientos potenciales (PY) de los ensayos de GENVE. 38
4.4 Rendimientos potenciales teóricos (Ypot-teórico) de las simulaciones de DSSAT. 43
5. CONCLUSIONES 60
BIBLIOGRAFÍA: 62
ANEXO I 66
ANEXO II: 76
ANEXO III: 80
ANEXO IV: 84
ANEXO V: 86

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Fuente: Agroseguro (Anexo I – Riesgos cubiertos y condiciones de coberturas). 15
Figura 2. Rendimientos FY en Zamora. Fuente: Elaboración propia. 31
Figura 3. Rendimiento FY en Albacete. Fuente: Elaboración propia. 31
Figura 4. Rendimiento FY en Ciudad Real. Fuente: Elaboración propia. 32
Figura 5. Rendimiento FY en Toledo. Fuente: Elaboración propia. 32
Figura 6. Rendimiento FY en Granada. Fuente: Elaboración propia. 32
Figura 7. Rendimientos FY Agroseguro medios (AC). Fuente: Elaboración propia. 33
Figura 8. Rendimientos medios, máximos y mínimos de FY Agroseguro (AC). Fuente: Elaboración propia. 33
Figura 9. Rendimientos FY Agroseguro medios (AE). Fuente: Elaboración propia. 33
Figura 10. Rendimientos medios, máximos y mínimos de FY Agroseguro (AE). Fuente: elaboración propia 33
Figura 11. Rendimientos FY Agroseguro (AC) en Zamora - Campos - Pan. Fuente: Elaboración propia. 34
Figura 12. Rendimientos FY Agroseguro (AE) en Zamora - Campos - Pan. Fuente: Elaboración propia. 34
Figura 13. Rendimientos FY Agroseguro (AC) en Albacete-Sierra Alcaraz. Fuente: Elaboración propia. 35
Figura 14. Rendimientos FY Agroseguro (AE) en Albacete-Sierra Alcaraz. Fuente: Elaboración propia. 35
Figura 15. Rendimientos FY Agroseguro (AC) en Ciudad Real - Campos Montiel. Fuente: Elaboración propia. 36
Figura 16. Rendimientos FY Agroseguro (AE) en Ciudad Real - Campos Montiel. Fuente: Elaboración propia. 36
Figura 17. Rendimientos FY Agroseguro (AC) en Toledo - Torrijos. Fuente: Elaboración propia. 36
Figura 18. Rendimientos FY Agroseguro (AE) en Toledo- Torrijos. Fuente: Elaboración propia. 37
Figura 19. Rendimientos FY Agroseguro (AC) en Granada - Huéscar. Fuente: Elaboración propia. 37
Figura 20. Rendimientos FY Agroseguro (AE) en Granada - Huéscar. Fuente: Elaboración propia. 37
Figura 21. Mapa de las zonas agroclimáticas en España. Fuente: GENVCE. 40
Figura 22. Ejemplo de la selección de la estación metereológica de Granada. Fuente: IGN. 45
Figura 23. Ejemplo de Selección de parámetros en el SIAR de Granada. 46
Figura 24. Ejemplo de introducción del clima en la plataforma de DSSAT. 47
Figura 25. Ejemplo de la introducción de parámetros de la estación de Latitud, Longitud y Altitud en la plataforma del DSSAT. 47
Figura 26. Gráfico de la temperatura máxima de Granada de la plataforma del DSSAT. 48
Figura 27. Gráfico de la temperatura mínima de Granada de la plataforma del DSSAT. 48
Figura 28. Gráfico de la radiación solar de Granada de la plataforma del DSSAT. 49

Figura 29. Gráfico de la precipitación de Granada de la plataforma del DSSAT. 49
Figura 30. Características del suelo elegido para todas las zonas de estudio en la plataforma del DSSAT. 50
Figura 31. Introducción de datos para la simulación de la plataforma del DSSAT. 50
Figura 32. Campos de clima y suelo para la la simulación en la plataforma del DSSAT. 51
Figura 33. Cultivares de introducidos en la plataforma del DSSAT. 51
Figura 34. Fecha de siembra y de emergencia en la plataforma del DSSAT. 52
Figura 35. Tratamientos de las simulaciones de la plataforma del DSSAT. 52
Figura 36. Inicio de las simulaciones de la plataforma del DSSAT. 53
Figura 37. Opciones elegidas de agua y nitrógeno para las simulaciones en la plataforma del DSSAT. 53
Figura 38. Métodos elegidos de las simulaciones de la plataforma del DSSAT. 54
Figura 39. Outputs de las simulaciones de la plataforma del DSSAT. 54
Figura 40. Resultados gráficos de los tipos de rendimientos en (kg/ha) en Zamora. Fuente: Elaboración propia. 56
Figura 41. Resultados gráficos de los tipos de rendimientos en (kg/ha) en Albacete. Fuente: Elaboración propia. 56
Figura 42. Resultados gráficos de los tipos de rendimientos en (kg/ha) en Ciudad Real. Fuente: Elaboración propia. 57
Figura 43. Resultados gráficos de los tipos de rendimientos en (kg/ha) en Toledo. Fuente: Elaboración propia. 57
Figura 44. Resultados gráficos de los tipos de rendimientos en (kg/ha) en Granada. Fuente: Elaboración propia. 57

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Cálculo de los tipos de brechas. Fuente: elaboración propia..... 24
Tabla 2. Datos de rendimientos de explotación (FY) en kg/ha de Castilla y León, Castilla La Mancha y Andalucía de las campañas 2000 al 2006. Fuente: elaboración propia. 26
Tabla 3. Datos de rendimientos de explotación (FY) en kg/ha de Castilla y León, Castilla La Mancha y Andalucía de las campañas 2007 al 2013. Fuente: elaboración propia. 27
Tabla 4. Datos de rendimientos de explotación (FY) en kg/ha de Castilla y León, Castilla La Mancha y Andalucía de las campañas 2014 al 2020. Fuente: elaboración propia. 28
Tabla 5. Superficies y rendimientos de explotación (FY Agroseguro) en AC y AE. Fuente: Agroseguro. 29
Tabla 6. Rendimientos de trigo en Agricultura ecológica aportados por agricultores en secano. Fuente: Elaboración propia. 29
Tabla 7. Rendimientos (FY) secano (kg/ha) de las veinte campañas de la zona de estudio. Fuente: Elaboración propia. 30
Tabla 8. Rendimientos medios, máximos y mínimos. Fuente: Elaboración propia. 30
Tabla 9. Zonas climáticas de los ensayos de GENVCE. Fuente: Elaboración propia. .. 39
Tabla 10. Zonas pluviométricas de los ensayos GENVCE. Fuente: Elaboración propia. 39
Tabla 11. Ensayos de GENVCE en Zamora. Fuente: Elaboración propia. 41
Tabla 12. Ensayos de GENVCE en Albacete. Fuente: Elaboración propia. 41
Tabla 13. Ensayos de GENVCE en Ciudad Real. Fuente: Elaboración propia..... 42
Tabla 14. Ensayos de GENVCE en Toledo. Fuente: Elaboración propia. 42
Tabla 15. Rendimiento medio (PY) de los Ensayos GENVCE. Fuente: Elaboración propia. 43
Tabla 16. Cultivares de trigo estudiados en DSSAT (Fuente: Ruiz-Ramos M, Rodríguez A, 2019). 44
Tabla 17. Resultados de forma resumida de la plataforma del DSSAT 4.7.5 55
Tabla 18. Rendimientos potenciales teóricos medios, máximos y mínimos de los resultados obtenidos de la plataforma del DSSAT. 55
Tabla 19. Tipos de rendimientos en (kg/ha) de cada zona de estudio. Fuente: Elaboración propia. 56
Tabla 20. Cálculo de los tipos de brechas. Fuente: Elaboración propia. 58
Tabla 21. Cálculos de los tipos de brechas de rendimientos. Fuente: Elaboración propia. 58

RESUMEN

Con la finalidad de poder sistematizar en un futuro las correspondientes buenas prácticas agrícolas en los cereales (trigo), se ha realizado un estudio de las deferentes brechas de rendimientos en los sistemas de producción convencional y ecológico.

El análisis de las brechas de rendimientos (Yield Gap) consiste en identificar las diferencias entre cada nivel de producción y ayuda a identificar los factores de clima, suelo y del propio cultivo que condicionan los rendimientos reales en campo, así como las prácticas de manejo más adecuadas para disminuir las brechas.

Los diferentes niveles productivos se han sistematizado mediante análisis de brechas de rendimientos (Y) tanto en secano como en regadío. Las brechas se han establecido teniendo en cuenta los rendimientos en la explotación (FY), los rendimientos potenciales (PY) y los rendimientos teóricos potenciales (Ypot-teórico). Los rendimientos Ypot-teórico se han obtenido con un modelo de simulación de cultivos, CERES, de la plataforma DSSAT.

Las brechas apoyan la identificación de las buenas prácticas agrícolas (BPA) más adecuadas para diferentes niveles de intensidad de cultivo, por ejemplo, secano y regadío. Las brechas consideradas se establecen entonces cruzando tipos de agricultura/manejo y rendimientos (FY, PY y Ypot-teórico).

Este TFM plantea un análisis comparado de la productividad de sistemas de producción de trigo en secano asociados a determinadas denominaciones de manejo de cultivos: agricultura convencional y ecológica en Castilla y León, Castilla La Mancha y Andalucía, con la finalidad de determinar las buenas prácticas más acordes a cada tipo de manejo agrícola y establecer relaciones entre las distintas metodologías para marcar posibles diferenciales productivos.

ABSTRACT

In order to be able to systematize in the future the corresponding good agricultural practices in cereals (wheat), a study of the different yield gaps in conventional and organic production systems has been carried out.

Yield Gap analysis consists of identifying the differences between each production level and helps to identify the climate, soil and crop factors that condition real yields in the field, as well as the most appropriate management practices to reduce the gaps.

The different production levels have been systematized by means of yield gap analysis (Y) in both rainfed and irrigated crops. The gaps were established taking into account farm yields (FY), potential yields (PY) and theoretical potential yields (Ypot-theoretical). Ypot-theoretical yields were obtained through a crop simulation model, CERES, from the DSSAT platform.

Gaps support the identification of the most appropriate good agricultural practices (GAP) for different levels of cropping intensity, e.g. rainfed and irrigated. The considered gaps are then established by crossing farming/management types and yields (FY, PY and Ypot-theoretical).

This project proposes a comparative analysis of the productivity of rainfed wheat production systems associated with certain crop management denominations: conventional and organic agriculture in Castilla y León, Castilla La Mancha and Andalucía, with the aim of determining the best practices most appropriate to each type of agricultural management and establishing relationships between the different methodologies to mark possible productive differentials.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Tipos de agricultura: agricultura convencional y ecológica

La productividad es la propiedad más importante de un sistema de explotación (Loomis y Connor, 2002), definida como rendimiento de producto útil por unidad de superficie, dicho de otro modo, la producción de una explotación agrícola se calcula de la superficie cultivada y el rendimiento por unidad de superficie.

Según el Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación (MAPA), define la agricultura convencional o integrada como: "Los sistemas agrícolas de obtención de vegetales que utilizan al máximo los recursos y los mecanismos de producción naturales y aseguran a largo plazo una agricultura sostenible, introduciendo en ella métodos biológicos y químicos de control, y otras técnicas que compatibilicen las exigencias de la sociedad, la protección del medio ambiente y la productividad agrícola, así como las operaciones realizadas para la manipulación, envasado, transformación y etiquetado de productos vegetales acogidos al sistema."

En el ámbito nacional, la "Producción Integrada de productos agrícolas" está regulada por el Real Decreto 1201/2002, de 20 de noviembre, que tiene por objeto:

- "El establecimiento de las normas de producción y requisitos generales que deben cumplir los operadores que se acojan a los sistemas de producción integrada. En ellas se establecen, dentro de cada fase del ciclo productivo, las prácticas consideradas obligatorias y aquellas que se prohíben expresamente."

- "La regulación del uso de la identificación de garantía que diferencie estos productos ante el consumidor."

- "El reconocimiento de las Agrupaciones de Producción Integrada en Agricultura, para el fomento de dicha producción."

- "La creación de la Comisión Nacional de Producción Integrada encargada del asesoramiento y coordinación en materia de producción integrada."

Información más detallada del REAL DECRETO 1201/2002, de 20 de noviembre en el ANEXO I del presente trabajo.

La agricultura ecológica es un sistema de producción agrícola en el que se emplean prácticas orientadas a la preservación de los recursos naturales, y con la finalidad de obtener una producción conforme a las preferencias de determinados consumidores por los productos obtenidos a partir de sustancias y procesos naturales.

Todas las unidades envasadas derivadas de una producción ecológica deberán llevar impreso el logotipo de la UE y el código numérico de la entidad de control de quien depende el operador responsable del producto ecológico además de su propia marca y los términos específicos de la producción ecológica, de esta forma el consumidor puede distinguir el producto ecológico.

Según el Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación (MAPA): "España ocupa el primer lugar en superficie de agricultura ecológica de la UE y está entre los tres primeros del mundo."

Este Ministerio (MAPA) junto con la Dirección General de la Industria Alimentaria, son los encargados del desarrollo de las líneas directrices en materia de producción ecológica en el marco de la Legislación Nacional y Europea, y a su vez se encargan de coordinar el Programa Nacional de Control Oficial de la Producción Ecológica, mientras que las Comunidades Autónomas son las autoridades competentes en producción ecológica y las responsables de la organización y supervisión del control oficial dentro de su ámbito territorial.

El nuevo reglamento de Agricultura ecológica es: "REGLAMENTO (UE) 2018/848 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 30 de mayo de 2018 sobre producción ecológica y etiquetado de los productos ecológicos y por el que se deroga el Reglamento (CE) n.o 834/2007 del Consejo". Considerando lo siguiente (Solo se considerarán los puntos más importantes relacionados con este trabajo):

- "La producción ecológica es un sistema general de gestión agrícola y producción de alimentos que combina las mejores prácticas en materia de medio ambiente y clima, un elevado nivel de biodiversidad, la conservación de los recursos naturales y la aplicación de normas exigentes sobre bienestar animal y sobre producción que responden a la demanda, expresada por un creciente número de consumidores, de productos obtenidos a partir de sustancias y procesos naturales. Así pues, la producción ecológica desempeña un papel social doble aprovisionando, por un lado, un mercado específico que responde a una demanda de productos ecológicos por parte de los consumidores y, por otro, proporcionando al público bienes que contribuyen a la protección del medio ambiente, al bienestar animal y al desarrollo rural."

- "El cumplimiento de rigurosas normas de sanidad, medio ambiente y bienestar animal en la producción de productos ecológicos es inherente a la elevada calidad de dichos productos. Tal y como se subraya en la Comunicación de la Comisión, de 28 de mayo de 2009, sobre la política de calidad de los productos agrícolas, la producción ecológica forma parte de los regímenes de calidad de los productos agrícolas de la Unión, junto con las indicaciones geográficas y las especialidades tradicionales garantizadas, de conformidad con el Reglamento (UE) n.o 1151/2012 del Parlamento Europeo y del Consejo (4), y los productos de las regiones ultraperiféricas de la Unión, de conformidad con el Reglamento (UE) n.o 228/2013 del Parlamento Europeo y del Consejo (5). En este sentido, la producción ecológica persigue en el marco de la política agrícola común (PAC) los mismos objetivos inherentes a todos los regímenes de calidad de los productos agrícolas de la Unión."

- "En particular, los objetivos de la política de producción ecológica se encuentran incorporados de forma implícita a los objetivos de la PAC, al garantizarse que los productores reciben una retribución justa por cumplir las normas de producción ecológica. Además, la creciente demanda de productos ecológicos por parte de los

consumidores crea condiciones idóneas para un mayor desarrollo y expansión del mercado de esos productos y, por tanto, para el aumento de los ingresos de los productores que se dedican a la producción ecológica."

Información más detallada del REGLAMENTO (UE) 2018/848 en el ANEXO II.

Ningún tipo de agricultura es mejor que la otra, cada una de ellas tienen sus ventajas y sus desventajas; las diferencias más claras entre ellas son que la agricultura ecológica 1) emplea fertilizantes orgánicos que normalmente son de baja solubilidad; pero esto hace que el efecto de los fertilizantes orgánicos tengan un efecto más lento que los fertilizantes químicos, ya que estos últimos son más solubles y por lo tanto tienen un efecto de actuación mayor que los fertilizantes aplicados en agricultura ecológica y 2) que cada vez los sistemas agrícolas sean menos contaminantes.

1.2 Brechas de rendimiento en diferentes sistemas de producción de trigo

El análisis de las brechas de rendimiento son la base actual de los estudios de seguridad alimentaria (Schils et al. 2018) y permite en este TFM la sistematización de los niveles de producción a través de diferentes definiciones de rendimientos. Las brechas de rendimiento fueron planteadas por van Ittersum y Rabbinge (1997), van Ittersum et al. 2013, y han sido adaptadas por Fischer, Byerlee y Edmeades (2014) con un enfoque más ligado a la economía de las explotaciones agrarias.

El análisis de las brechas de rendimientos (Yield Gap) consiste en identificar las diferencias entre cada nivel de producción que ayudaría a identificar los factores de clima, suelo y del propio cultivo que condicionan los rendimientos reales en campo, así como las prácticas de manejo más adecuadas para disminuir las brechas. En el contexto de este trabajo permitirán sistematizar las diferencias en rendimientos de trigo obtenidos en agricultura convencional (AC) y en agricultura ecológica (AE).

El rendimiento integra la eficiencia respecto a insumos de agua, nutrientes, radiación y manejo de cultivos, ya que estos pueden variar con el clima (Loomis y Connor, 2002).

La productividad del trigo (como producción de grano por unidad de superficie) puede incrementarse la mejora genética del trigo, a partir de nuevos cultivares de trigo que tengan una mayor potencial, de esta forma se reduce las brechas entre el rendimiento de explotación (FY) por los productores y el rendimiento potencial (PY) si se llevan a cabo buenas Prácticas agrícolas (Fisher et al., 2014).

Para un área determinada el rendimiento potencial en secano y las brechas de rendimiento se encuentran condicionados por los recursos ambientales que definen el rendimiento durante periodos críticos, asociados al cultivo y al manejo del mismo, dependiendo de la fecha de siembra y de los factores de la producción en función del suelo y de la capacidad de almacenamiento del agua y de los nutrientes disponibles, ya que la fecha de siembra permite estudiar la máxima producción de una zona.

Es un hecho que las buenas prácticas agrícolas y la mejora genética de los cultivos mejoran los sistemas de producción.

Definiciones de las diferentes brechas de rendimiento que se van a considerar en este trabajo:

- Rendimiento Real (FY): es el rendimiento promedio logrado en las explotaciones agrícolas o el rendimiento en una parcela determinada de una explotación.

- Rendimiento potencial (PY): es el rendimiento de un cultivo que crece en un ambiente sin ningún tipo de limitación, ya sea hídrica o nutritiva, libre de enfermedades y plagas. Los factores ambientales que influyen sobre el rendimiento potencial son la radiación, la concentración de CO_2, y la temperatura, y suelen ser independientes del tipo de suelo.

Hay que tener especial cuidado con la terminología del rendimiento potencial, ya que algunos autores lo definen como el máximo rendimiento que podría alcanzar un cultivo en un ambiente determinado.

- Rendimiento potencial en secano (PYw): rendimiento de un cultivo, en el presente trabajo sería el trigo, libre de enfermedades y plagas, si bien con limitación en el suministro de agua.

Como podemos ver, este último rendimiento es muy similar al anterior, solo que en este caso el rendimiento potencial en secano sí que se encuentra limitado al agua disponible para el cultivo, es por tanto que también dependerá de las características del suelo y de las precipitaciones de la zona. Es por tanto que la diferencia del rendimiento potencial y el rendimiento potencial en secano es el grado de limitación hídrica a la que se enfrenta el cultivo.

Por tanto, el rendimiento potencial es el obtenido en condiciones de crecimiento sin restricciones de nutrientes, agua y ausencia de estrés abiótico (Evans y Fischer, 1999). Este rendimiento es mucho mayor que el rendimiento logrado en campo, es decir que el rendimiento en explotación, aún con condiciones de manejo de cultivo buenas. Salvo condiciones de crecimiento con precipitaciones que garantizan un crecimiento del cultivo en total ausencia de estrés hídrico o bajo riego, la brecha entre los rendimientos realmente logrados por los productores, es decir, los rendimientos reales en campo y los potenciales es frecuentemente muy grande en la mayoría de las condiciones de cultivo en secano (Abeledo et al., 2008).

1.3 Buenas prácticas agrícolas

La Buenas Prácticas Agrícolas (BPA), consisten en la implementación de conocimientos para llevar a cabo producciones agrícolas sostenibles en el tiempo mediante recursos naturales, con el fin de obtener una estabilidad económica, social y medioambiental, mediante la producción de alimentos sanos, cuidando la salud de los trabajadores y de la población, manteniendo la preservación de los recursos naturales.

Las BPA mejoran la salud del suelo, aumentan la biodiversidad, aumentan la capacidad de resiliencia a eventos extremos, mejora los medios de vida y la seguridad alimentaria del productor y de la población en general. Reduce costes, aportando mayores beneficios económicos, reduce impactos de recursos naturales y cambio climático. Reduce el uso de fertilizantes y pesticidas. Reduce la contaminación del suelo y las aguas.

La clasificación de los sistemas agrarios es compleja, ya que no hay dos explotaciones agrícolas exactamente iguales, por tanto, el tipo de suelo, los cultivos, los recursos financieros, la extensión del terreno sobre cuáles deberían de ser las prácticas más adecuadas difieren significativamente de explotación a explotación (Loomis y Connor,

2002), es por ello que, las prácticas de cultivo combinadas con una alta productividad con un uso eficaz de los recursos limitantes , definen el óptimo de explotación agrícola para cada parcela de forma individual.

En definitiva, todo agricultor tiene que hacer estudio de su explotación como una actividad integrada en la cual todo está relacionado, y por ello debe tener especial consideración de las necesidades en cada momento de sus explotaciones.

De forma general, las regiones con buenos suelos y buenas condiciones climatológicas son capaces de producir sus cultivos de forma más económica que las que no presentan estas ventajas.

Es importante intentar minimizar las pérdidas de los sistemas agrícolas durante su explotación mediante medidas adoptabas para combatirla de la mejor forma posible causadas por enfermedades o malas hierbas.

Es importante en todo momento que los agricultores tengan en cuenta que las prácticas que no son económicas no son sostenibles a largo plazo.

Los Objetivos de Buenas Prácticas Agrícolas se encuentran detallados en el ANEXO III del presente trabajo.

1.4 Seguros agrarios en trigo

Los seguros agrarios se rigen por la Ley 87/78 de 28 de diciembre de Seguros Agrarios Combinados, según el Reglamento aprobado por Real Decreto 2329/79, realiza una serie de definiciones que se pueden ver en el ANEXO IV del presente trabajo.

El objetivo del seguro es la cobertura de las producciones agrícolas frente a sus posibles riesgos, es por ello que quedan excluidas las siguientes coberturas de póliza según la ley 87/1978 de Seguros Agrarios Combinados:

- “Los daños producidos cuando el siniestro se origine por mala fe del Asegurado.”
- “Los siniestros que por su extensión o importancia sean calificados por el Gobierno de "catástrofe" o "calamidad nacional".”
- “Cualquiera de los riesgos garantizados, manifestados u ocurridos con anterioridad a la contratación del Seguro o durante el período de carencia.”

El tomador del seguro tiene debe:

- “Declarar que todos los bienes asegurados son de su propiedad o disfrute y, en otro caso, la calidad en que contrata, que se encuentran sin ningún daño previo a la contratación de la póliza y que la situación de los riesgos es la detallada en la Declaración de Seguro.”
- “Asegurar todos los bienes de igual clase a los relacionados en la Declaración de Seguro que posea en el territorio nacional y se encuentren incluidos en el correspondiente Plan Anual de Seguros.”

- “Emplear los medios de lucha preventiva y aplicar las técnicas de cultivo o explotación declarados obligatorios por el Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente.”

- “Permitir a Agroseguro la inspección de los bienes asegurados en todo momento, por persona autorizada por la misma y proporcionarle todos los detalles e información necesaria para la debida apreciación del riesgo.”

Entre otras obligaciones, pero exponemos en este trabajo las más relevantes.

La normativa general para la peritación de daños ocasionados sobre las producciones agrícolas se encuentra amparada por el seguro agrario combinado según la Ley 87/1978 de seguros agrarios combinados, tiene por objeto el establecimiento de líneas de actuación con el fin de valorar daños ocasionados debido a siniestros de producciones agrícolas.

La determinación de los daños ocasionados en las producciones agrícolas se realiza mediante una serie de observaciones y evaluaciones para determinar la posible indemnización. Esta valoración se lleva a cabo a través de un sistema de muestreo aleatorio sobre la producción agrícola que ha sufrido daños, normalmente se considera conveniente un análisis de laboratorio para comprobar la veracidad de la perdida ocasionada.

En caso de que la tasación de los daños no se hubiese realizado antes de la recolección, será necesario realizarlo sobre muestras testigo. Si las muestras testigo hubiesen perdido su representatividad por causas ajenas al asegurado, la determinación del siniestro se haría mediante los documentos de tasación.

En caso de incumplimiento se perdería la indemnización, pero, en cualquier caso, la indemnización se calcularía subsanando cualquier error que pudiese detectarse en los documentos. En último caso de que no haya acuerdo en la valoración de los daños se necesitará un perito, el cual visitará las parcelas para la valoración del caso.

El protocolo de peritación debe de tener en cuenta a ENESA, la Dirección General de Seguro y los Fondos de Pensiones, los cuales darán traslado del protocolo al Consorcio de Compensación de seguros.

En cuanto a los seguros de explotaciones de cultivos herbáceos extensivos se cubren los daños ocasionados por los riesgos cubiertos como se puede observar en la Figura 1.

			Condiciones de cobertura				
Garantía	**Grupos cultivos asegurables**	**Riesgos cubiertos**	**Capital asegurado**	**Cálculo indemnización**	**Mínimo indemnizable**	**Franquicia**	**Garantizado**
Producción	**SECANO**: Cereales invierno Leguminosas Oleaginosas	Pedrisco Incendio Riesgos excepcionales No nascencia (1) No implantación (2) Resto adversidades climáticas	100%	Explotación (Comarca)	--	--	**Elegible**: 70% 60% 50%
	REGADÍO: Cereales invierno Leguminosas Oleaginosas Cereales primavera (3) Arroz	Pedrisco Incendio Riesgos excepcionales (4) No implantación (2) Resto adversidades climáticas	100%	Explotación (Comarca)	30%	Absoluta: 20%	--
Paja	Cereales de invierno	Pedrisco Incendio Riesgos excepcionales	100%	Explotación (comarca)	30%	Absoluta: 30%	--
Instalaciones	Todos	Todos los cubiertos en la garantía a la producción, y cualquier otro riesgo climático.	100%	Parcela	(5)	Sin franquicia	--

(1) Riesgo cubierto para todos los cultivos, excepto en colza.

(2) Riesgo cubierto únicamente en el cultivo de colza.

(3) Se incluyen los cultivos de cereales de primavera en secano.

(4) Para los cultivos de cereales de invierno, oleaginosas y leguminosas en regadío, estará garantizada la fauna silvestre en las declaraciones de seguro que se suscriban antes de la finalización del período de suscripción correspondiente a las parcelas de secano. Para los cultivos de garbanzos, soja, judías secas, fabes, cacahuete y girasol, no será necesario contratar antes de dicha fecha para tener la cobertura de fauna.

(5) Menor entre el 10% del capital asegurado y 1000 € en cabezal de riego y 300 € en red de riego.

Figura 1. Fuente: Agroseguro (Anexo I – Riesgos cubiertos y condiciones de coberturas).

Se garantiza la diferencia que se registre entre el valor de la producción garantizada y el valor de la producción real final juntos con las perdidas indemnizables de los restantes riegos, en el que el que se garantiza todos los riesgos cubiertos en el conjunto de la explotación.

Los riesgos cubiertos son de pedrisco, es decir, de climatología adversa como precipitación atmosférica de agua congelada que pueda ocasionar pérdidas en los cultivos. También riesgos cubiertos a causa de incendios en las explotaciones e inundaciones o lluvias torrenciales. La lluvia persistente también puede ocasionar pérdidas, ya que se puede producir asfixia radicular con resultado de muerte de la planta si el siniestro tuviese lugar antes del estado fenológico del espigado.

También están incluidos daños por plagas y enfermedades que no sean controladas por el agricultor.

Para la elección de las coberturas el asegurado deberá seleccionar las posibilidades para el aseguramiento de sus parcelas que garanticen los riesgos y las condiciones de cobertura, señalando para cada parcela de forma individual las instalaciones presentes.

Son asegurables las producciones de cultivos herbáceos extensivos cultivadas en parcelas de secano y regadío, cuyo destino sea exclusivamente la obtención de grano o de semilla certificada, en cambio, no son producciones asegurables:

- "Los cultivos en parcelas que se encuentren en estado de abandono."

- “Los cultivos en parcelas destinadas a pastos o a la obtención de forraje.”

- “Los cultivos en parcelas situadas en huertos familiares.”

- “Los cultivos de cereal procedentes del enterramiento y posterior germinación de simientes que permanezcan en el terreno desde la campaña anterior.”

- “Los cultivos en parcelas de nueva roturación. A estos efectos se entiende como roturación la transformación en tierra de labor de los terrenos no cultivados. Se incluyen entre éstos, los terrenos forestales, los pastizales y el erial a pastos.”

- “Los cultivos en parcelas con una profundidad efectiva del suelo inferior a los 30 cm. Se entiende por profundidad efectiva la distancia entre la superficie del suelo y el horizonte más allá del cual, las raíces no pueden penetrar.”

- “Los cultivos en parcelas de suelos salinos o salitrosos.”

- “Los cultivos en parcelas destinadas a experimentación o ensayo, tanto de material vegetal como de técnicas o prácticas culturales.”

Para fijar el rendimiento unitario la producción asegurada deberá venir reflejada en kilogramos de grano.

En cultivos de secano el asegurado será el que fijará el rendimiento unitario en cada una de las parcelas que componen la explotación, teniendo en cuenta los rendimientos obtenidos en años anteriores, de tal modo que el rendimiento resultante de considerar la producción y la superficie de las parcelas aseguradas, esté comprendido entre el rendimiento máximo y mínimo asignado por el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación para cada productor.

Es importante tener en cuenta que, si el rendimiento asegurado superase el rendimiento asignado, aquél quedará automáticamente corregido de manera proporcional en todas las parcelas de la explotación, teniéndose en cuenta en la emisión del recibo de la prima.

En los cultivos en regadío quedará de libre fijación por el asegurado el rendimiento a consignar en la declaración de seguro, debiendo tener en cuenta que tal rendimiento deberá ajustarse a las esperanzas reales de producción.

En caso de disconformidad con el rendimiento declarado por parte de Agroseguro, corresponderá al asegurado demostrar los rendimientos declarados, excepto en los casos de rendimientos individualizados establecidos por el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.

El tomador del seguro y el asegurado tienen obligación de:

- “Incluir en la declaración de seguro todos los bienes asegurables de la misma clase que posea en su explotación dentro del ámbito de aplicación.”

- “Indicar para cada una de las parcelas incluidas en la declaración de seguro, la correspondiente referencia de la parcela SIGPAC, incluyendo el recinto.”

- “Reflejar en la declaración de seguro, para cada parcela, la superficie real cultivada.”

- “Reflejar en la declaración de seguro el sistema de cultivo (secano o regadío), la fecha de siembra y variedad sembrada en cada parcela. Cuando en el momento de formalizar la declaración de seguro no se hubiera efectuado la siembra, se indicará la fecha prevista.”

- “Reflejar en la declaración de seguro, para cada tipo de instalación que se asegure, la edad de la estructura desde el momento de construcción o última reforma.”

- “Reflejar en la declaración de siniestro, o en el documento de inspección inmediata, junto a los demás datos de interés, la fecha prevista de recolección de cada parcela.”

- “Permitir a Agroseguro y a los peritos que designe, la inspección de los bienes asegurados en todo momento, facilitando la identificación y la entrada en las parcelas aseguradas, así como el acceso a la documentación que se solicite al asegurado.”

2. OBJETIVOS

La productividad de los diferentes sistemas de producción de cultivos extensivos puede resultar en diferentes rendimientos. Esto puede incidir por ejemplo en el establecimiento rendimientos máximos asegurables en el seguro de rendimientos, es decir, pueden aparecer diferenciales productivos. En este contexto:

1- Este TFM plantea realizar un análisis comparado de la productividad de sistemas de producción de trigo en secano asociados a determinadas denominaciones de manejo de cultivos: agricultura convencional y ecológica.

2- Este análisis comparado se basará fundamentalmente en la utilización de las brechas de rendimiento real y potencial, ya que estos rendimientos ayudan a evaluar los sistemas agrícolas y a identificar problemas u oportunidades en los sistemas con el fin de mejorarlos.

3. METODOLOGÍA

3.1 Análisis de brechas de rendimiento en trigo de los diferentes sistemas de producción.

El trigo (*Triticum aestivum* L.) es un cereal de invierno que responde a días largos para inducirse a floración (Levy and Peterson 1973) y, su metabolismo corresponde a una planta C3.

En condiciones potenciales, la temperatura y la radiación solar interceptada son los principales factores que afectan el número de granos fijados y por ende el rendimiento del cultivo de trigo (Fischer, 1985).

De siempre ha sido uno de los aspectos centrales mejorar la eficiencia en la fijación de carbono de una C3 con el objetivo de incrementar el rendimiento en trigo (Reynolds et al., 2009). De esta manera, se logran aumentos en el índice cosecha (IC) sin aumentar la biomasa total. Asimismo, se incrementa la fertilidad de las espigas y el peso potencial de los granos (Abbate et al., 1995).

La biomasa se define como la materia seca total acumulada y el índice de cosecha como la fracción útil de la parte aérea de la biomasa (Loomis y Connor, 2002).

Posteriormente, se lograron mayores incrementos en la biomasa acumulada manteniendo estables los valores del IC mediante un aumento en la eficiencia en el uso de la radiación (Shearman et al., 2005).

En definitiva, la mejora genética contribuyó al incremento del rendimiento en el cultivo de trigo en más de un 50 % a nivel mundial (Slafer et al., 2021), en tanto que el resto se atribuyó a las tecnologías aplicadas de manejo y a la interacción del genotipo por ambiente (Evans y Fischer 1999).

En consecuencia, para lograr alcanzar los máximos rendimientos, es decir producir una mayor cantidad de granos por unidad de superficie determinada en el periodo crítico, alrededor de la floración, en forma sostenible en el tiempo, es importante hacer un manejo estratégico del cultivo con el objetivo de que éste aproveche al máximo y eficientemente los recursos que ofrece el ambiente (Fischer, 1985).

Por otro lado, el desarrollo de nuevas variedades de alto potencial sumado a los avances en la tecnología aplicadas al manejo (fechas de siembra, densidad, fertilización, etc.) ha generado incrementos en los rendimientos y variaciones en las brechas.

Los diferentes niveles productivos se han sistematizado mediante análisis de brechas de rendimientos (Ygap) en secano, siendo el rendimiento del cultivo (cropyield, Y) el peso de grano con una humedad determinada por unidad de superficie cosechada en un año y en kg/ha generalmente, realmente se trata de una productividad por unidad de superficie cultivada, pero nos referimos a ella como rendimiento (Y).

Las brechas se han establecido teniendo en cuenta los rendimientos en la explotación (FY), siendo este el rendimiento obtenido por los agricultores, denominándose de igual modo como rendimiento real (Yreal). Es de mención especial indicar que estos datos de FY o Yreal tienen determinadas cantidades de humedad, por lo tanto, no se refieren directamente a la materia seca del producto, también es importante señalar que hay que

tener en cuenta el tiempo que requiere generar dicho rendimiento, ya que dependiendo de este tiempo tendremos en consideración si se trata de un sistema de intensidad de cultivo (cropping intensity) o no.

Los rendimientos potenciales obtenidos en fincas experimentales (PY), nos muestran el valor que se puede obtener de la mejor variedad de cultivo adaptada a la zona, sin limitación de recursos como agua y nutrientes y en ausencia de plagas y enfermedades, y con el mejor manejo agronómico posible, es decir, un cultivo que no esté limitado por la tecnología, mediante el uso de los mejores cultivares, la aplicación de los mejores fertilizantes, maquinaria y mano de obra necesaria, suministro de agua, y todo esto como hemos indicado anteriormente de la mejor forma posible.

Los rendimientos teóricos potenciales (Ypot-teórico), estos se estiman con modelos de simulación de cultivo como el programa de DSSAT v4.7.5 que utilizaremos más adelante en este trabajo, en el caso de que no hubiese datos se tendría que usar solamente PY. Las simulaciones se realizan en este trabajo para las condiciones de secano (sin riego). Los rendimientos Ypot-teórico se han obtenido con un modelo de simulación de cultivos, CERES, de la plataforma DSSAT v4.7.5 por los autores G. Hoogenboom, J.W. Jones, C.H. Porter, P.W. Wilkens, K.J. Boote, L.A. Hunt, and G.Y. (2010).

Las brechas apoyan la identificación de las prácticas agrícolas (BPA) más adecuadas para diferentes niveles de intensidad de cultivo, por ejemplo, secano y regadío. Las brechas consideradas se establecen entonces cruzando tipos de agricultura/manejo y rendimientos (FY y Ypots).

Las variaciones en los rendimientos entre una zona y otra se deben en gran parte a la distribución de las lluvias y el régimen térmico, y también a las diferencias existentes en la capacidad productiva de los suelos.

El rendimiento potencial del cultivo creciendo sin limitaciones de nutrientes, agua y con un control de plagas y enfermedades sobre el mismo depende únicamente de factores del desarrollo de cultivo, como el genotipo, la disponibilidad de luz y el fotoperiodo entre otros posibles factores (Evans y Fischer, 1999). Este rendimiento se puede ver limitado a causa de estrés hídrico o por otra causa relacionada con inclemencias del tiempo. Por ello, es esperable que los máximos rendimientos se obtengan cuando los recursos de agua, nutrientes y radiación son óptimos, ya que ello determina en gran parte la producción del cultivo (Anderson, 2010).

Se puede definir el rendimiento potencial como el obtenido por un genotipo sin limitantes de agua y nutriente y el cual crece en condiciones de mínimo estrés y con buenas prácticas agrícola (BPA) (Gerster y Bacigaluppo, 2007).

De forma general, el potencial productivo se ve muy limitado por el clima y el suelo de la zona, ya que son los factores que más determinan los máximos rendimientos y sus brechas de producción (Lobell et al., 2009).

La gran mejora genética del cultivo de trigo de los últimos años ha contribuido al desarrollo de nuevas variedades de trigo con un alto potencial de rendimiento, los cuales pueden modificar las brechas de rendimiento.

Para la determinación del rendimiento potencial, es necesario tener en cuenta el número de granos por m^2 y el peso promedio individual de los mismos, el rendimiento está determinado por el número de granos del cultivo y por su peso. También hay que tener

en cuenta las plantas por unidad de área, espiga por planta, espiguillas por espiga y granos por espiguillas (Slafer, 2003).

La radiación solar es la fuente de energía para el crecimiento de los cultivos, por tanto, la cantidad de crecimiento acumulado depende proporcionalmente a la cantidad de radiación interceptada acumulada, convertida en materia seca, con cierta eficiencia, alrededor de 1,5 g MJ-1 de radiación global interceptada, es por ello que el índice de área foliar es considerado el principal factor del cultivo, ya que este es el responsable de interceptar la radiación solar entrante y, a su vez de proporcionar recursos para el crecimiento de los cultivos y la acumulación de biomasa.

La capacidad del área foliar para interceptar la radiación incidente depende de las propiedades de las hojas, cuanto mayor sea la proporción de la radiación solar absorbida por cada unidad de índice de área foliar mayor será el coeficiente de atenuación, el problema que tiene es que la interceptación de la radiación y acumulación de biomasa se traduciría en el aumento de rendimiento con independencia del momento en que se logra el aumento de la biomasa. De esta forma, se supone que el rendimiento es igualmente sensible a los cambios en la biomasa en cualquier momento durante el crecimiento del cultivo, pero esto realmente no sería así, Fischer, 1985, estableció que el rendimiento de trigo es mucho más sensible a los cambios en el crecimiento durante el corto período unas tres semanas antes y pocos días después de la antesis que a cambios en cualquier momento, ya que el rendimiento del trigo es notablemente sensible a los cambios durante ese período, por ello, se observa que el número de granos por m^2 está relacionado positivamente con la materia seca de espigas por m^2 a antesis (Fischer, 1985).

El rendimiento del trigo se maximiza si el índice de área foliar alcanza su valor crítico en el inicio de elongación del tallo, y tanto la tasa de crecimiento del cultivo y la partición a las espigas es máxima entre el periodo de crecimiento entre el alargamiento del tallo y floración. De esta forma, ambos factores contribuyen a un mayor peso de espiga seca por m^2 en la floración, determinando en gran medida el número de granos por m^2 que a posteriori se llenarán. De este modo cualquier factor que mejore el crecimiento del trigo durante el período de crecimiento de los tallos y las espigas lograría aumentos del peso de espiga seca por unidad de área en la floración, con lo que aumentaría el número de granos, y por ende el rendimiento. Así también, cualquier factor que perjudique el crecimiento del cultivo en esta etapa reducirá el rendimiento por afectar el número de granos (González et al., 2005).

El rendimiento está claramente relacionado al número de granos por m^2 (Sadras, 2007). El peso de los granos finales depende de la capacidad de crecimiento de los mismos, determinado por la duración del período de llenado y la tasa de acumulación de materia seca. Consecuentemente, las variaciones en peso de los granos guardan relación a las condiciones ambientales, principalmente disponibilidad hídrica y temperatura, esta última puede variar significativamente dependiendo del estrés térmico al que esté sometido el cultivo, ya que, de forma general este estrés conlleva un aumento de temperatura normalmente por encima del umbral durante un tiempo prolongado causando efectos sobre el crecimiento y desarrollo de los cultivos, disminuyendo el rendimiento de los mismos (Savin, 2010).

El rendimiento de un sistema agrícola no es buen indicador de su rendimiento potencial, ya que la producción por unidad de suelo solo se maximiza en muy pocas regiones, es por ellos que, el rendimiento en campo puede variar. Esto lleva a definir el rendimiento real como el rendimiento medio de una zona agrícola, condicionado fuertemente por el clima y suelo de la región, (Loomis y Connor, 2002.

El rendimiento potencial se define como lo que se puede obtener de una especie vegetal sin limitaciones y con los mejores cultivares, maquinaria, fertilizantes y mano de obra, estos rendimientos en la práctica tienen que estar validados con modelos utilizando como referencia rendimientos récord, es decir los rendimientos más altos observados registrados a lo largo de una serie temporal (Loomis y Connor, 2002).

La especie y el cultivar son de especial importancia, ya que estos definen el contenido genético, además, gracias a los grandes avances en la mejora vegetal de los cultivares ha provocado que los cultivares modernos sean mucho más eficientes que los primeros cultivares, haciendo que se produzcan grandes cambios en la calidad de los rendimientos de los mismos (Loomis y Connor, 2002).

Las características de los cultivares se definen en los ensayos de campo y en la experiencia de los agricultores con los cultivares, lo ideal sería cultivares que mantenga su pureza genética y capaces de producir semillas de alta calidad.

La producción de biomasa suele ser similar tanto para los nuevos como los antiguos cultivares, lo que cambia es el índice de cosecha debido a la mejor consecución de los mejores patrones de reparto de asimilado, esto es lo que conlleva a la mejoría del componente genético de los cultivares con mejores rendimientos, por tanto, una selección de las variedades adaptadas teniendo en cuenta la fecha de siembra son puntos de vital importancia en el manejo de una explotación agrícola.

También es importante que la floración del cultivo se produzca con el menor riesgo de heladas, ya que esto determina en gran medida la fecha de siembra para un determinado genotipo. Temperaturas altas y baja disponibilidad hídrica son los estreses abióticos más frecuentes en cereales de invierno (Wardlaw y Wrigley, 1994).

La floración es uno de los estados fenológicos más importantes en el desarrollo del cultivo, esto se debe principalmente a que señala el cambio al crecimiento de fruto y de las semillas, las cuales son esenciales para la mayoría de los cultivos (Loomis y Connor, 2002).

En los cultivos de cereales como el trigo, la floración suele ocurrir unos pocos días después del crecimiento vegetativo, esto puede ocasionar cierta vulnerabilidad ante un posible caso estrés por helada o calor durante la floración, esta situación puede llegar a provocar que la mayoría de las flores aborten, independientemente de cual fuera el potencial del cultivo en ese estado o las condiciones ambientales posteriores durante el llenado del grado.

Los cultivares de trigo tienen una ventaja en cuanto al rendimiento en condiciones de recursos limitados si son capaces de evitar tales estreses de clima. La ventaja de los cultivares de cereales, en nuestro caso el trigo, es que el índice de cosecha (IC) aumenta durante el llenado del grano, esto se debe a que no hay más crecimiento vegetativo

posible, consiguiendo de esta forma un balance óptimo entre el rendimiento del trigo y el índice de cosecha, haciéndose ambos máximos. En definitiva, se podría decir que la cantidad de material vegetativo aumenta con el rendimiento (Loomis y Connor, 2002).

Los cultivares de trigo, especialmente los trigos de invierno, necesitan vernalización antes de desarrollarse más allá de la fase vegetativa, es decir, tienen necesidades de vernalización para poder florecer, en cambio, los trigos de primavera, no tienen necesidad de vernalización y se desarrollan reproductivamente en respuesta al aumento del fotoperiodo. Es por ello que, la distinción entre trigo de invierno y trigo de primavera es fenológica y está basada especialmente en necesidades de vernalización y no en la estación en que se siembran los cultivos de trigo.

La vernalización se refiere a que, en algunas especies, la germinación de semillas, la brotación de las yemas o la iniciación de la floración requieren una exposición prolongada a temperaturas bajas.

Temperaturas superiores a 35 °C reducen de manera significativa la actividad de la ribulosa, limitando la fotosíntesis y la conductancia estomática (Banabás et al., 2008).

Las temperaturas altas antes de la antesis del cultivo pueden reducir el número de granos por m^2, reduciendo el rendimiento del cultivo. El mayor efecto como consecuencia de temperaturas elevadas sobre el rendimiento del cultivo es si el estrés se produce durante el período crítico de la determinación del número de granos. En 1985, Fischer, encontró una reducción en el número de granos por unidad de superficie de 4% por cada grado de aumento en la temperatura en los 30 días previos a la floración.

Debido a que de forma usual el rendimiento se encuentra limitado durante el llenado de los granos por la capacidad de crecimiento de los granos antes que por la provisión de asimilados a los mismos aún en condiciones estresantes como las habituales en regiones mediterráneas (Acreche y Slafer, 2006), efectos ambientales sobre el peso potencial de los granos pueden afectar el peso final de los mismos, es por ellos que estreses en momentos inmediatamente previos a la floración puede afectar el crecimiento de los carpelos y reducir de modo irreversible el peso potencial de los granos (Calderini et al., 2006).

Como ya se ha mencionado anteriormente, períodos con altas temperaturas durante el llenado de los granos disminuye el rendimiento a través de la reducción del peso individual de los granos (Sofield et al., 1977), este efecto es normalmente mayor sobre la tasa de desarrollo que sobre la de crecimiento, altas temperaturas determinan una disminución en el peso de los granos de magnitudes variables, entre 3- 30% dependiendo del genotipo, el ambiente y la duración e intensidad de las altas temperaturas.

Por ejemplo, en trigo se ha encontrado una reducción entre el 3% al 5% en el peso de grano por cada grado de aumento en la temperatura por encima de los 15˚C durante el período de llenado de grano en experimentos en condiciones controladas y a campo (Wardlaw y Wrigley, 1994).

Los estreses térmicos son más negativos cuando ocurren en etapas tempranas del período de llenado en comparación con etapas más tardías (Savin y Nicolas, 1999). Estas temperaturas altas durante el llenado de los granos, puede afectar también a la

composición de los mismos, esto se debe a que la cantidad de proteína acumulada y almidón en los granos se reduce con el incremento de la temperatura (Jenner et al., 1991), esto se debe principalmente a la acumulación de carbohidratos en los granos en crecimiento (Borras et al., 2004), que se disminuye con estrés térmico, mientras que la acumulación de proteínas está limitada por la fuente de nitrógeno (Savin et al. 2006).

El rendimiento y la seguridad de cosecha están indisolublemente ligados al crecimiento de los granos, ya que, el tamaño y peso de los granos de trigo son claves en la calidad del mismo (Marshall et al., 1986).

El tamaño de grano en el cultivo del trigo condiciona la concentración de nutrientes que se logran en la cosecha (Calderini y Ortiz Monasterio, 2003), es por ello que debido a la importancia del tamaño del grano en los cultivos de trigo, se han realizado numerosos estudios fisiológicos desde los años 60 de la regulación del peso de los granos por parte de los cultivos y el ambiente en el que estos crecen (Egli, 1998), introduciéndose la biología molecular al estudio de las bases genéticas y funcionales del peso de los granos (Coventry et al., 2003).

El rendimiento de trigo puede ser comprendido como el índice de cosecha (IC) y biomasa total producida, es decir, como el resultado del número de granos producidos y el peso de dichos granos.

Como se ha referido anteriormente en el presente trabajo, el número de granos producidos depende principalmente del peso seco de las espigas en antesis por unidad de área y de la eficiencia reproductiva de las espigas (Fischer, 1984).

El rendimiento obtenido en trigo bajo condiciones productivas es el resultado del efecto de la interacción del genotipo, el clima, el suelo y el manejo del cultivo sobre aspectos ligados al desarrollo y crecimiento del cultivo. Los modelos de simulación constituyen una herramienta válida para explorar el efecto de diferentes condiciones ambientales sobre el rendimiento potencial del cultivo.

Se pueden distinguir dos niveles de producción: rendimiento potencial (PY) y rendimiento de explotación (FY), siendo el potencial aquel determinado por los factores de crecimiento de temperatura y radiación y el de explotación el que se ha logrado bajo condiciones de crecimiento debido a limitaciones hídricas o nutricionales obtenido por los agricultores, reducido por adversidades bióticas como plagas y enfermedades (van Ittersum y Rabbinge, 1997).

La brecha entre el rendimiento potencial (PY) y rendimiento de explotación (FY) depende de las prácticas de manejo y el clima. Sin embargo, se estima que los rendimientos de explotación obtenidos por los sistemas agrícolas de los cultivos de trigo serían como máximo del 80% del rendimiento potencial, debido a restricciones bióticas y abióticas de los sistemas agrícolas, así como el de unas prácticas de manejo deficientes (van Ittersum y Rabbinge, 1997).

Los rendimientos reales de explotación (FY) en los sistemas de secano suelen ser del 50% del rendimiento potencial, lo que sugiere amplio margen de mejora, aunque la estimación de las brechas de rendimiento para las regiones de secano está sujeta a más errores que para las regiones de regadío (Lobellet al., 2003).

Para el análisis de las brechas de rendimiento es necesario conocer los genotipos que van a ser utilizados, para saber su fenología y del ambiente es necesario saber el suelo y el

clima en el que van a crecer con el fin de analizar el funcionamiento del sistema agrícola en su conjunto.

Esto se consigue gracias a los modelos de simulación agronómicos, ya que son capaces de analizar la interacción entre clima, suelo y disponibilidades de agua y nitrógeno sobre la generación del rendimiento del cultivo de trigo.

Los modelos de simulación permiten cuantificar el impacto de la variabilidad climática sobre el rendimiento en sistemas de producción de secano.

3.2 Establecimiento de las brechas de los diferentes sistemas de producción en Castilla y León, Castilla La Mancha y Andalucía.

Para el análisis de brechas de rendimiento en trigo de los diferentes sistemas de producción en Castilla y León, Castilla La Mancha y Andalucía, se han obtenido:

- Datos de rendimientos de explotación (FY) en kg/ha, tanto en secano como en regadío de las Comunidades Autónomas de Castilla y León, Castilla La Mancha y Andalucía de 20 campañas, del año 2000 al año 2021, se han obtenido del Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación (MAPA).
- Datos de rendimientos de explotación (FY), tanto en agricultura convencional (AC) como en agricultura ecológica (AE) de Agroseguro, tratándose de rendimientos en explotación (FY agroseguro) de agricultores específicos de las zonas de estudio.
- Resultados de los ensayos de GENVCE en variedades de trigo de invierno y de primavera en secano que se consideran para este trabajo como PY.
- Rendimientos potenciales teóricos (Ypot-teórico) de las simulaciones realizadas con la plataforma del DSSAT v4.7.5.

Se realizarán cuatro tipos de brechas en este trabajo:

- Brecha 1: PY - FY
- Brecha 2: PY - FY Agroseguro (AC)
- Brecha 3: PY - FY Agroseguro (AE)
- Brecha 4: FY Agroseguro (AC) – FY Agroseguro (AE)

Cálculo de las brechas:

Brecha 1	PY - FY
Brecha 2	PY - FY Agroseguro (AC)
Brecha 3	PY - FY Agroseguro (AE)
Brecha 4	FY Agroseguro (AC)- FY Agroseguro AE

Tabla 1. Cálculo de los tipos de brechas. Fuente: elaboración propia.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Estadísticas agrarias de rendimientos de explotación (FY).

Primero se han obtenido los datos de rendimientos de explotación (FY) en kg/ha, tanto en secano como en regadío de las Comunidades Autónomas de Castilla y León, Castilla La Mancha y Andalucía de 20 campañas, del año 2000 al año 2021, del anuario de estadística del Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación (MAPA), como se puede observar en las Tablas 2, 3 y 4.

Las provincias de Zamora, Albacete, Ciudad Real, Toledo y Granada están marcadas en naranja, esto se debe a que son las provincias elegidas en concreto para el estudio de este trabajo.

CAMPAÑAS	2000/2001		2001/2002		2002/2003		2003/2004		2004/2005		2005/2006		2006/2007	
Provincias y Comunidades Autónomas	Rendimiento (kg/ha)		Rendimiento (kg/ha)		Rendimiento (kg/ha)		Rendimiento (kg/ha)		Rendimiento (kg/ha)		Rendimiento (kg/ha)		Rendimiento (kg/ha)	
	Secano	Regadío	Secano	Regadío	Secano	Regadío	Secano	Regadío	Secano	Regadío	Secano	Regadío	Secano	Regadío
Ávila	4000	5000	1767	2800	2370	2900	2600	4800	2650	4500	950	2700	959	2921
Burgos	4219	5700	2818	4154	4052	5118	3770	4903	4170	5665	2854	4082	3598	4766
León	3500	6521	1000	4100	2400	5600	2300	5600	2680	5600	2300	5600	2100	5500
Palencia	4000	5250	2300	4133	2110	3401	3005	4097	3199	4530	2050	4400	2360	4450
Salamanca	3398	4200	2198	3182	2997	4002	2838	3107	3363	4084	1498	2197	2294	3305
Segovia	3700	5000	1200	4000	2500	5000	2800	5000	3500	5700	1300	3800	2000	4500
Soria	3270	4446	1866	3500	2328	2600	2800	3600	3700	5200	1930	3705	1647	1800
Valladolid	3497	5200	1595	5010	1999	5000	3181	5499	3198	5648	1100	3200	1898	4199
Zamora	3382	4577	1830	3013	2388	5312	2287	4490	2142	4397	1390	3993	2390	5493
CASTILLA Y LEÓN	**3730**	**5381**	**2091**	**4025**	**2860**	**4448**	**3037**	**4707**	**3505**	**5071**	**2045**	**4296**	**2519**	**4586**
Albacete	2015	5500	887	5100	1949	5500	1750	5500	2100	5600	395	4900	1520	5600
Ciudad Real	2950	4150	1040	3350	1650	3950	1500	3700	2600	3700	400	1800	1650	3600
Cuenca	2270	4900	2100	5700	2645	6000	2825	5000	3200	5600	825	5100	2600	5000
Guadalajara	3480	4300	1860	4200	2900	4200	2935	4000	3080	4200	1200	2800	2900	4200
Toledo	2298	4687	1432	3910	1794	3910	1238	3981	1689	2705	653	1121	1605	3064
CASTILLA–LA MANCHA	**2604**	**4820**	**1516**	**4298**	**2216**	**4675**	**1951**	**4625**	**2400**	**4583**	**734**	**3620**	**2045**	**4646**
Almería	900	2127	826	2176	1171	2880	673	3760	1512	3058	321	1810	1195	2472
Cádiz	2300	3500	2600	3950	2600	3700	2600	3900	3525	4000	2225	4030	3050	4040
Córdoba	3308	4794	2700	4500	3000	4500	2520	4421	3490	4500	600	4000	3250	4500
Granada	670	3662	1301	4092	1294	3944	1292	3887	2840	4125	151	2160	2449	4601
Huelva	2513	3600	2440	3430	2750	3800	2400	3500	2800	4000	1185	3150	3222	4300
Jaén	1590	3250	2700	3960	2810	4080	2730	3800	2204	3834	608	4070	2800	4150
Málaga	1900	3100	2000	3600	1850	3500	2820	4500	3100	4500	895	3500	3150	4150
Sevilla	2297	3327	2592	3676	3114	4577	2805	3528	3408	4293	893	3782	3501	6286
ANDALUCÍA	**2393**	**3888**	**2503**	**4021**	**2775**	**4285**	**2578**	**3964**	**3311**	**4303**	**997**	**3809**	**3258**	**5282**

Tabla 2. Datos de rendimientos de explotación (FY) en kg/ha de Castilla y León, Castilla La Mancha y Andalucía de las campañas 2000 al 2006. Fuente: elaboración propia.

CAMPAÑAS	2007/2008		2008/2009		2009/2010		2010/2011		2011/2012		2012/2013		2013/2014	
Provincias y Comunidades Autónomas	Rendimiento (kg/ha)		Rendimiento (kg/ha)		Rendimiento (kg/ha)		Rendimiento (kg/ha)		Rendimiento (kg/ha)		Rendimiento (kg/ha)		Rendimiento (kg/ha)	
	Secano	Regadío	Secano	Regadío	Secano	Regadío	Secano	Regadío	Secano	Regadío	Secano	Regadío	Secano	Regadío
Avila	3500	4000	3800	5000	1070	2987	2490	3795	3383	4800	2000	4399	2906	4852
Burgos	4767	5415	4657	5207	3564	4399	4340	5200	4573	5109	3834	5002	4700	5658
León	3400	5900	3800	5600	1700	5500	2900	5700	2850	5650	2950	5600	3200	6400
Palencia	3805	5039	3749	5538	2342	4544	3262	5333	3887	5551	2471	4124	4318	5419
Salamanca	4038	5006	4110	5100	1970	3095	2755	3580	3558	4549	2562	4037	3395	4198
Segovia	4550	6100	3950	6000	1900	5500	3300	5000	3500	5000	2230	4591	3600	4033
Soria	4300	4500	3400	3600	1900	2180	3800	5200	3895	4979	1311	3718	4000	4740
Valladolid	3700	5300	4200	5520	1580	3510	2900	4730	3510	5000	2227	4306	3952	5129
Zamora	3084	4897	4000	5384	1054	3500	1999	4494	3095	4835	2692	4987	3778	4991
CASTILLA Y LEÓN	**4212**	**5273**	**4091**	**5413**	**2289**	**4449**	**3466**	**5082**	**3876**	**5255**	**2711**	**4685**	**4054**	**5448**
Albacete	2340	5550	1825	5700	1275	5650	1325	5600	2400	5850	1310	5800	2312	6600
Ciudad Real	1750	3600	2350	3600	1443	2000	1020	1788	1800	2300	1700	2114	1790	3200
Cuenca	4100	5300	2450	5100	2100	6000	3100	5500	3400	5500	1500	1800	3100	5300
Guadalajara	3750	4500	3450	4500	2400	3500	2700	3500	3000	4000	2000	3000	3200	4000
Toledo	2352	4379	1804	4314	1389	4874	1728	4598	2441	4973	1497	4959	2795	4969
CASTILLA–LA MANCHA	**2778**	**4906**	**2399**	**4978**	**1682**	**4825**	**1940**	**4703**	**2596**	**5062**	**1616**	**4563**	**2655**	**5462**
Almería	2034	3500	815	2139	1302	2045	1007	1985	2566	3952	585	2836	1311	2633
Cádiz	3050	4100	2750	3700	2760	3850	1673	3000	2900	4000	1675	3010	2340	3230
Córdoba	2465	4450	2650	4500	2875	4500	1500	4500	2350	4500	230	4350	2800	3500
Granada	1509	4400	1171	3301	1035	4170	1774	4096	2622	4263	1516	3323	2279	3808
Huelva	3500	4700	3100	4900	3655	4961	1847	3996	3500	4890	900	1225	4300	4300
Jaén	3100	4408	2353	3902	2200	3829	1495	1968	2342	2800	780	1460	2277	2779
Málaga	3250	4800	3050	5400	3100	5400	2334	4518	2250	4300	1650	4000	2075	4550
Sevilla	3489	4341	2854	4672	3478	4923	2353	3638	2788	4300	485	4092	2967	4721
ANDALUCÍA	**3098**	**4370**	**2742**	**4433**	**3063**	**4623**	**1975**	**3803**	**2679**	**4266**	**785**	**3864**	**2765**	**4103**

Tabla 3. Datos de rendimientos de explotación (FY) en kg/ha de Castilla y León, Castilla La Mancha y Andalucía de las campañas 2007 al 2013. Fuente: elaboración propia.

CAMPAÑAS	2014/2015		2015/2016		2016/2017		2017/2018		2018/2019		2019/2020		2020/2021	
Provincias y Comunidades Autónomas	Rendimiento (kg/ha)		Rendimiento (kg/ha)		Rendimiento (kg/ha)		Rendimiento (kg/ha)		Rendimiento (kg/ha)		Rendimiento (kg/ha)		Rendimiento (kg/ha)	
	Secano	Regadío	Secano	Regadío	Secano	Regadío	Secano	Regadío	Secano	Regadío	Secano	Regadío	Secano	Regadío
Ávila	1687	3286	2489	4361	3146	4317	575	3345	3317	4839	1361	3741	4206	5949
Burgos	4168	4766	3799	5392	4707	5561	2659	3519	4578	5154	3724	5635	5215	6054
León	2100	6089	3000	6400	3860	6809	598	3848	3532	6391	1654	6238	3505	6404
Palencia	3032	4945	3162	5438	4461	5819	1125	3243	3889	5816	2727	5367	3598	4985
Salamanca	2368	2781	2590	3940	3916	5142	1171	2739	3914	5141	1638	3998	4008	5542
Segovia	2207	2823	2483	3500	3263	4000	946	3105	3100	4580	2107	3500	4000	5000
Soria	2774	4221	2755	4085	3839	4800	1698	3729	3625	4738	3012	4912	4273	5998
Valladolid	2620	3990	2770	5370	4762	5957	720	3906	3849	5037	1762	3865	4702	6018
Zamora	2225	3500	2472	4999	4245	4962	798	3841	3484	5484	2210	4737	4079	5994
CASTILLA Y LEÓN	**2981**	**4572**	**3029**	**5312**	**4231**	**5746**	**1494**	**3588**	**3906**	**5620**	**2655**	**5020**	**4369**	**5774**
Albacete	800	6700	1100	6700	1830	6886	1240	6901	1900	7593	2200	7500	2550	7500
Ciudad Real	1060	3000	1420	3154	1500	3526	1600	3736	2100	4544	1618	3375	3149	5198
Cuenca	2800	4800	2800	4800	2800	4800	2240	4800	2489	5046	2200	5000	3048	4899
Guadalajara	2000	4000	1798	3452	2467	3220	1781	2887	2968	5928	2794	5000	3992	5988
Toledo	1297	3592	943	3593	1703	4624	902	4142	3080	6320	1230	4887	3239	5186
CASTILLA–LA MANCHA	**1524**	**5147**	**1537**	**5222**	**2076**	**5490**	**1529**	**5548**	**2560**	**6542**	**2063**	**5954**	**3235**	**6362**
Almería	196	2604	1083	2449	160	2454	1096	2724	1340	2917	1310	3116	2376	2922
Cádiz	3130	4994	3197	4400	1847	2401	1985	2745	3172	4160	3110	3830	2487	3470
Córdoba	3250	4500	2000	4500	2000	4500	3286	5000	5200	5200	2200	4595	3500	4635
Granada	892	2308	914	3117	930	2957	1090	2962	1693	2903	1687	3158	2207	3733
Huelva	3006	5000	3707	5000	2830	3531	4415	6021	3822	5053	2058	3100	3106	3982
Jaén	1875	2550	2544	3675	1437	2380	2275	4244	4000	5390	2800	3475	3385	4033
Málaga	1526	3850	2250	3900	1580	3500	2258	3800	3750	4084	2480	4077	2456	4089
Sevilla	3406	4647	2881	4072	1631	2408	2558	4321	3850	4310	3317	4712	3500	4015
ANDALUCÍA	**3043**	**4479**	**2662**	**4191**	**1754**	**3042**	**2571**	**4226**	**3857**	**4517**	**2842**	**4381**	**3145**	**4065**

Tabla 4. Datos de rendimientos de explotación (FY) en kg/ha de Castilla y León, Castilla La Mancha y Andalucía de las campañas 2014 al 2020. Fuente: elaboración propia.

4.2 Rendimientos de explotación de Agroseguro.

Superficies y rendimientos de explotación (FY Agroseguro), tanto en agricultura convencional (AC) como en agricultura ecológica (AE) de las zonas de estudio (ámbitos) en específico aportados por Agroseguro.

			Superficie Asegurada (ha)				Rendimientos FY Agroseguro (kg/ha)			
			SECANO		REGADIO		SECANO		REGADIO	
AMBITO	**Cultivo**	**Cosecha**	**AC**	**AE**	**AC**	**AE**	**AC**	**AE**	**AC**	**AE**
Zamora-Campos-Pan	**Trigo blando**	2017	8847		852	-	2402	-	4294	-
		2018	26.837	41	1274	-	3706	3613	5168	-
		2019	9931		650	-	3,221	-	6025	-
		2020	31.944	103	1197	-	4409	3594	5839	-
		2021	32.409	99	1305	-	4109	2653	5539	-
Albacete-Sierra Alcaraz	**Trigo blando**	2017	1127	14	356	1.39	1731	1380	4001	3000
		2018	3498	91	346	0.47	2042	1426	3573	2128
		2019	2144	70	158	-	1793	1160	3500	-
		2020	3553	105	418	-	2069	1408	3647	-
		2021	2652	110	277	6.08	1877	1389	4365	1590
Ciudad Real-Campo DeMontiel	**Trigo blando**	2017	2562	91	157	-	1594	1338	3038	-
		2018	2940	148	149	-	1800	1333	2991	-
		2019	3224	149	160	-	1692	1679	2919	-
		2020	3497	277	162	-	1932	1279	3788	-
		2021	2804	204	206	-	1908	1801	4600	-
Toledo-Torrijos	**Trigo blando**	2017	4383	168	347	-	2091	1849	3882	-
		2018	3422	211	349	4.51	2479	2483	4603	266
		2019	3829	116	344	1.29	2240	1716	4906	3023
		2020	4780	112	520	5.19	2756	2446	3991	2800
		2021	4619	52	590	12.24	2435	2220	4283	3000
Granada-Huéscar	**Trigo blando**	2017	727	357	15	1.1	1789	1467	3294	4000
		2018	714	992	47	32.12	2061	1926	3766	3267
		2019	1029	531	42	14.08	1892	1798	3727	2444
		2020	1580	1,125	152	10.61	2164	1876	3746	2500
		2021	675	546	60	2.47	1760	1633	4332	3229

Tabla 5. Superficies y rendimientos de explotación (FY Agroseguro) en AC y AE. Fuente: Agroseguro.

CASTILLA Y LEÓN (datos estimados)	**2017**	**2018**	**2019**	**2020**	**2021**
Superficie (ha)	1.505	1.880	1.711	2.040	2.769
Rendimiento (kg/ha)	1150	1161	1130	1540	1670
CASTILLA Y LEÓN, ZAMORA-CAMPOS-PAN	**2011-2012**	**2012-2013**	**2013-2014**	**2014-2015**	**2015-2016**
Rendimiento (kg/ha)	1963	2017	2444	1798	2261

Tabla 6. Rendimientos de trigo en Agricultura ecológica aportados por agricultores en secano. Fuente: Elaboración propia.

Rendimientos medios (FY) en secano, desviación estándar (SD) y rendimientos reales máximos y mínimos de las veinte campañas de (2000 al 2021) en Zamora, Albacete, Ciudad Real, Toledo y Granada.

	CAMPAÑAS	PROVINCIAS				
		Zamora	Albacete	Ciudad Real	Toledo	Granada
Rendimiento FY secano (kg/ha)	2000/2001	3382	2015	2950	2298	670
	2001/2002	1830	887	1040	1432	1301
	2002/2003	2388	1949	1650	1794	1294
	2003/2004	2287	1750	1500	1238	1292
	2004/2005	2142	2100	2600	1689	2840
	2005/2006	1390	395	400	653	151
	2006/2007	2390	1520	1650	1605	2449
	2007/2008	3084	2340	1750	2352	1509
	2008/2009	4000	1825	2350	1804	1171
	2009/2010	1054	1275	1443	1389	1035
	2010/2011	1999	1325	1020	1728	1774
	2011/2012	3095	2400	1800	2441	2622
	2012/2013	2692	1310	1700	1497	1516
	2013/2014	3778	2312	1790	2795	2279
	2014/2015	2225	800	1060	1297	892
	2015/2016	2472	1100	1420	943	914
	2016/2017	4245	1830	1500	1703	930
	2017/2018	798	1240	1600	902	1090
	2018/2019	3484	1900	2100	3080	1693
	2019/2020	2210	2200	1618	1230	1687
	2020/2021	4079	2550	3149	3239	2207

Tabla 7. Rendimientos (FY) secano (kg/ha) de las veinte campañas de la zona de estudio. Fuente: Elaboración propia.

	Rendimientos (kg/ha)				
	ZAMORA	ALBACETE	CIUDAD REAL	TOLEDO	GRANADA
Yreal medio	2620	1668	1719	1767	1491
SD	948.0	572.1	629.1	684.9	668.1
Yreal max	4245	2550	3149	3239	2840
Yreal min	798	395	400	653	151
Límite máximo	3568	2240	2348	2452	2159
Límite mínimo	1672	1096	1089	1082	823

Tabla 8. Rendimientos medios, máximos y mínimos. Fuente: Elaboración propia.

Los gráficos de los rendimientos FY en secano en agricultura convencional de Zamora, Albacete, Ciudad Real, Toledo y Granada de las veinte campañas (2000 al 2021) son los siguientes, dentro de los valores de límite máximo y límite mínimo están los valores estándar que son los rendimientos usuales y los que se salen de esos valores son rendimientos inusuales.

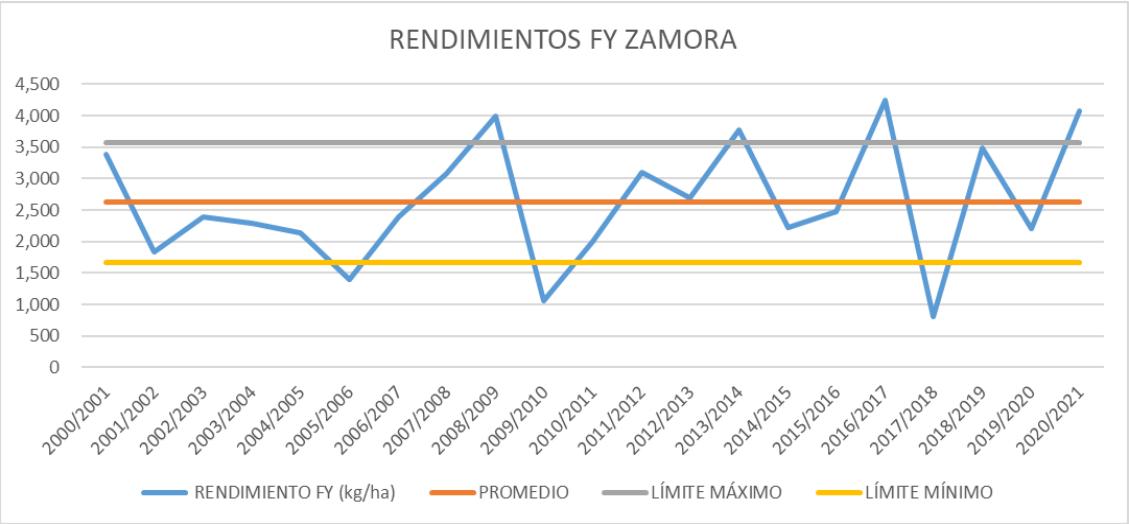

Figura 2. Rendimientos FY en Zamora. Fuente: Elaboración propia.

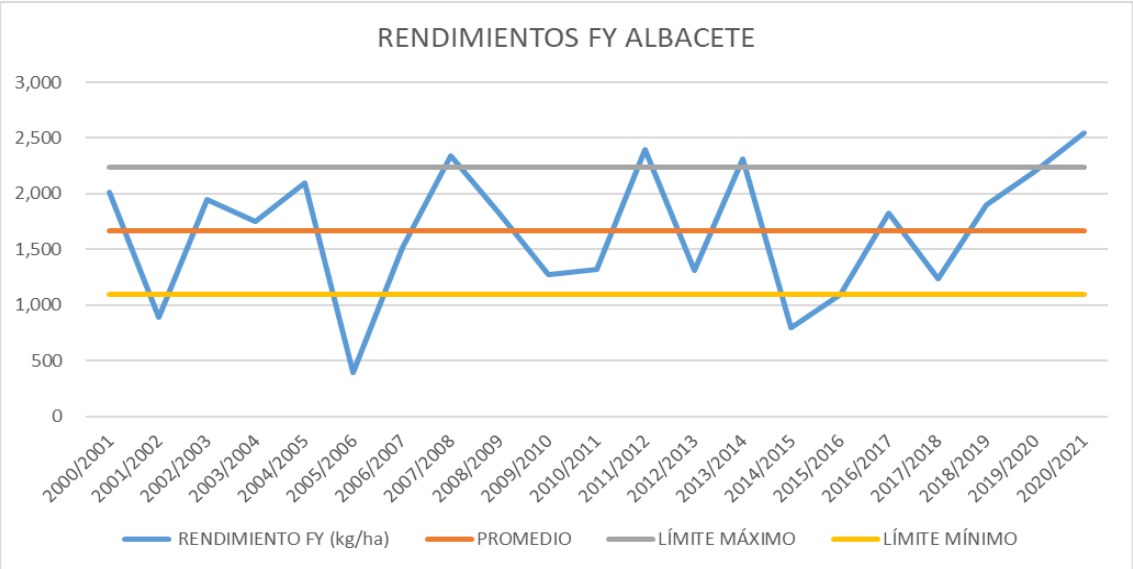

Figura 3. Rendimiento FY en Albacete. Fuente: Elaboración propia.

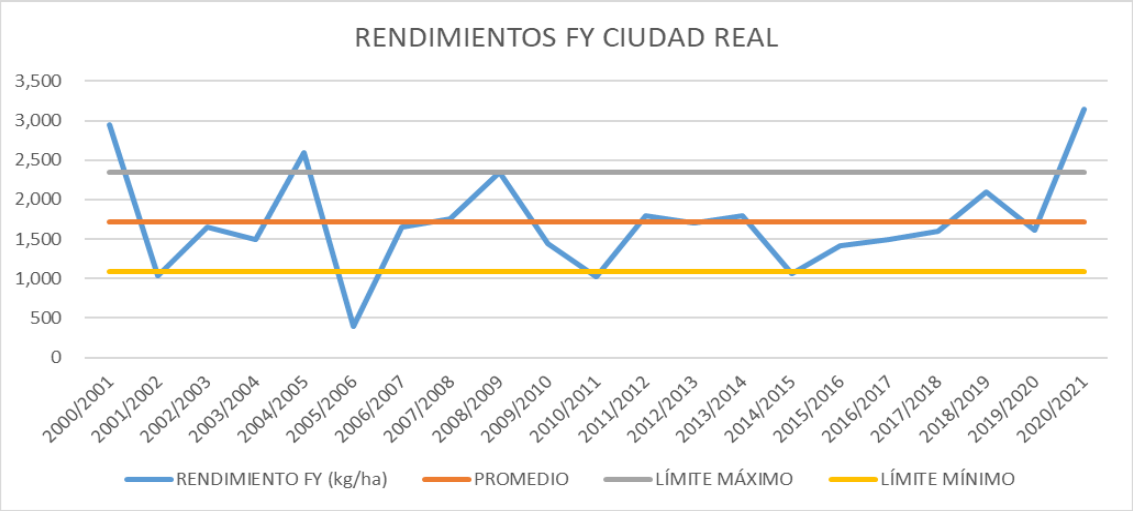

Figura 4. Rendimiento FY en Ciudad Real. Fuente: Elaboración propia.

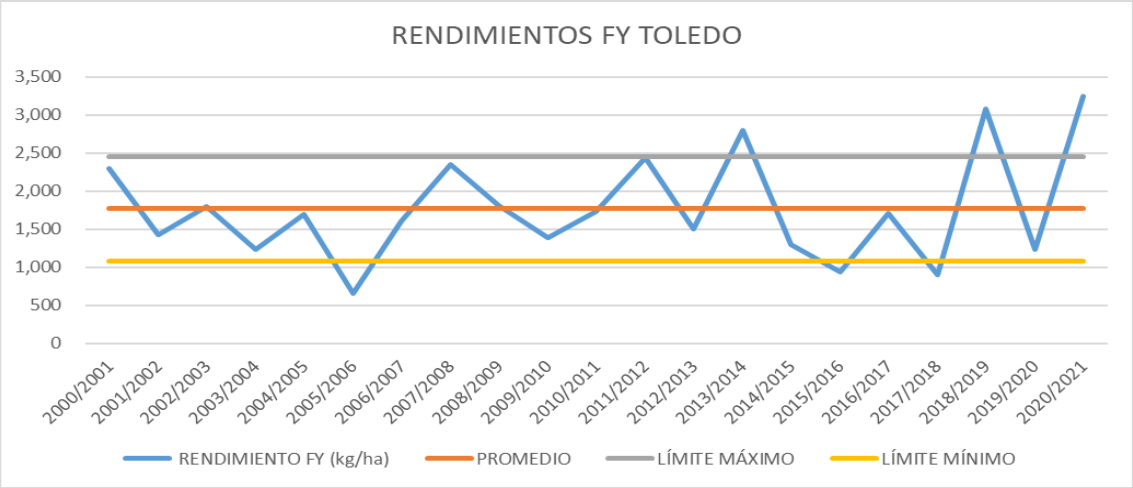

Figura 5. Rendimiento FY en Toledo. Fuente: Elaboración propia.

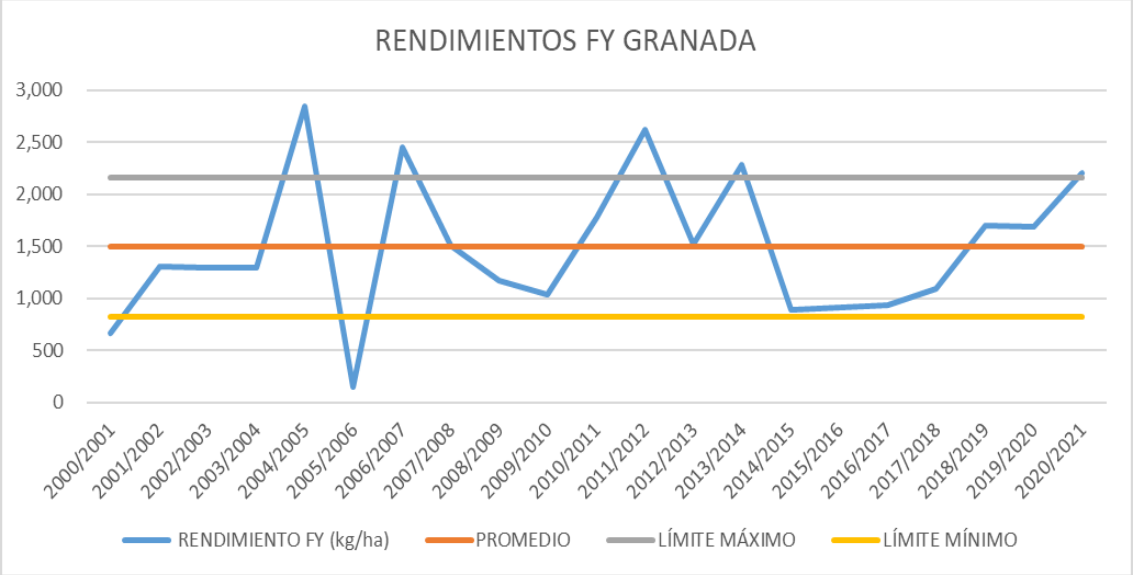

Figura 6. Rendimiento FY en Granada. Fuente: Elaboración propia.

Rendimientos (FY Agroseguro) medios, desviación estándar y rendimientos (FY Agroseguro) reales y mínimos de las cinco campañas de Agroseguro (2016 al 2021) en Zamora, Albacete, Ciudad Real, Toledo y Granada tanto en agricultura convencional (AC) (tablas naranjas) como en agricultura ecológica (AE) (tablas verdes).

CAMPAÑAS	Rendimientos (kg/ha)				
	Zamora	Albacete	Ciudad Real	Toledo	Granada
2016/2017	2,402	1,731	1,594	2,091	1,789
2017/2018	3,706	2,042	1,800	2,479	2,061
2018/2019	3,221	1,793	1,692	2,240	1,892
2019/2020	4,409	2,069	1,932	2,756	2,164
2020/2021	4,109	1,877	1,908	2,435	1,760

Figura 7. Rendimientos FY Agroseguro medios (AC). Fuente: Elaboración propia.

	Rendimientos (kg/ha)				
	Zamora	Albacete	Ciudad Real	Toledo	Granada
Yreal medio	3570	1902	1785	2400	1933
SD	706.9	133.6	128.1	225.9	156.4
Yreal max	4409	2069	1932	2756	2164
Yreal min	2402	1731	1594	2091	1760
Límite máximo	4277	2036	1913	2626	2089
Límite mínimo	2863	1769	1657	2174	1777

Figura 8. Rendimientos medios, máximos y mínimos de FY Agroseguro (AC).
Fuente: Elaboración propia.

CAMPAÑAS	Rendimientos (kg/ha)				
	Zamora	Albacete	Ciudad Real	Toledo	Granda
2016/2017	-	1,380	1,338	1,849	1,467
2017/2018	3,613	1,426	1,333	2,483	1,926
2018/2019	-	1,160	1,679	1,716	1,798
2019/2020	3,594	1,408	1,279	2,446	1,876
2020/2021	2,653	1,389	1,801	2,220	1,633

Figura 9. Rendimientos FY Agroseguro medios (AE). Fuente: Elaboración propia.

	Rendimientos (kg/ha)				
	Zamora	Albacete	Ciudad Real	Toledo	Granada
Yreal medio	3287	1353	1486	2143	1740
SD	447.9	97.7	211.9	310.4	168.7
Yreal max	3613	1426	1801	2483	1926
Yreal min	2653	1160	1279	1716	1467
Límite máximo	3734	1450	1698	2453	1909
Límite mínimo	2839	1255	1274	1832	1571

Figura 10. Rendimientos medios, máximos y mínimos de FY Agroseguro (AE).
Fuente: elaboración propia

Los gráficos de los rendimientos (FY Agroseguro) en secano en agricultura convencional (AC) y en agricultura ecológica (AE) de Zamora, Albacete, Ciudad Real, Toledo y Granada de cinco campañas (2016 al 2021), salvo Zamora en agricultura ecológica que únicamente presenta datos de tres campañas; dentro de los valores de límite máximo y límite mínimo están los valores estándar que son los rendimientos usuales y los que se salen de esos valores son rendimientos inusuales.

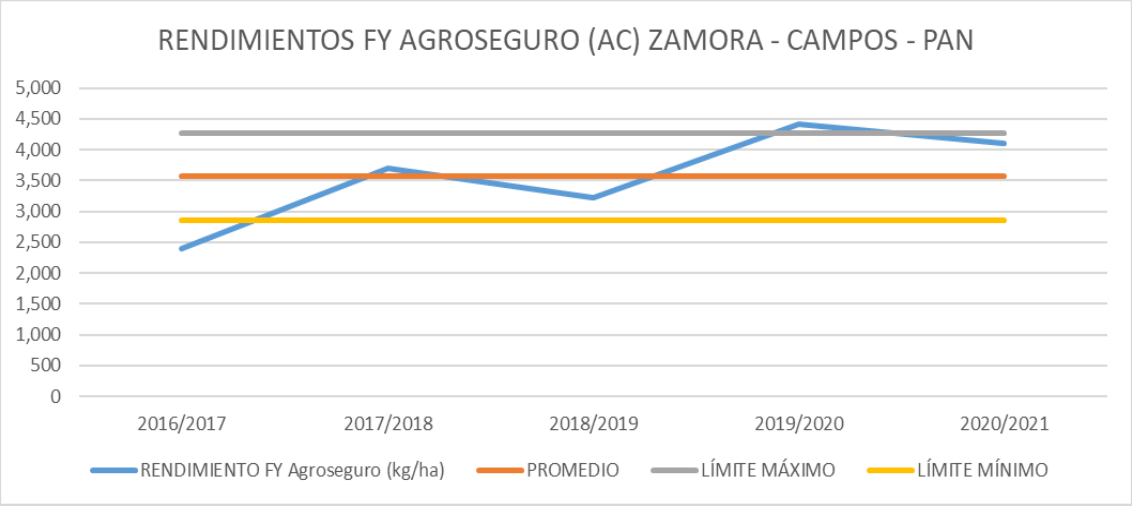

Figura 11. Rendimientos FY Agroseguro (AC) en Zamora - Campos - Pan. Fuente: Elaboración propia.

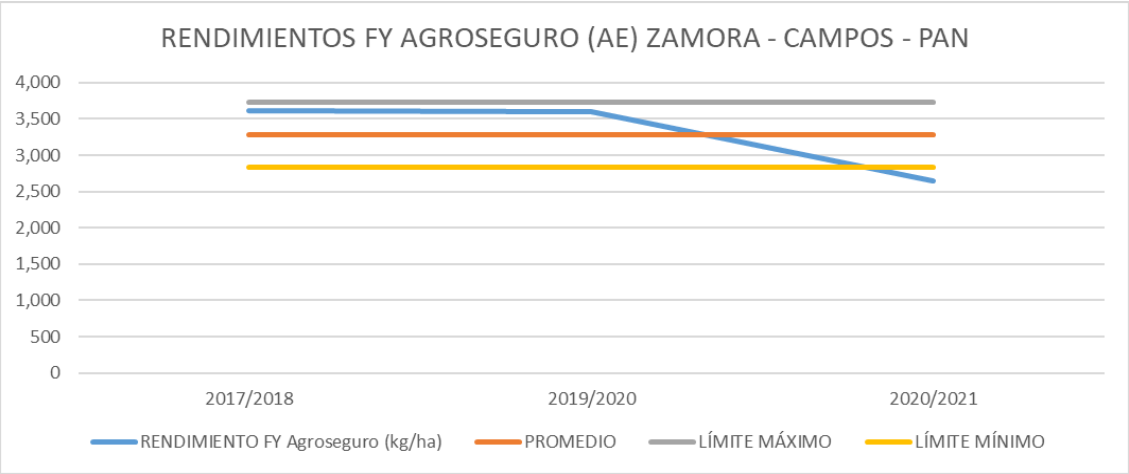

Figura 12. Rendimientos FY Agroseguro (AE) en Zamora - Campos - Pan. Fuente: Elaboración propia.

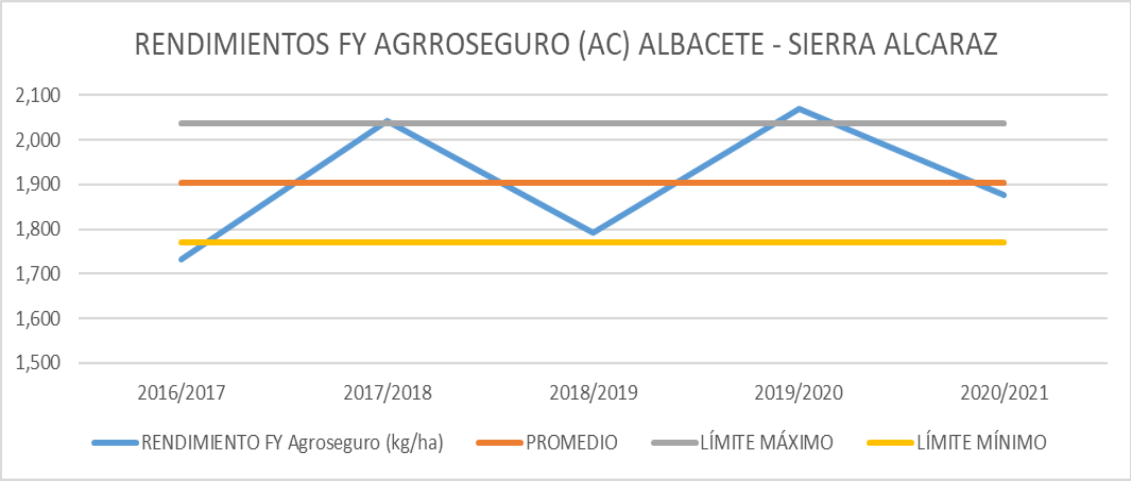

Figura 13. Rendimientos FY Agroseguro (AC) en Albacete-Sierra Alcaraz. Fuente: Elaboración propia.

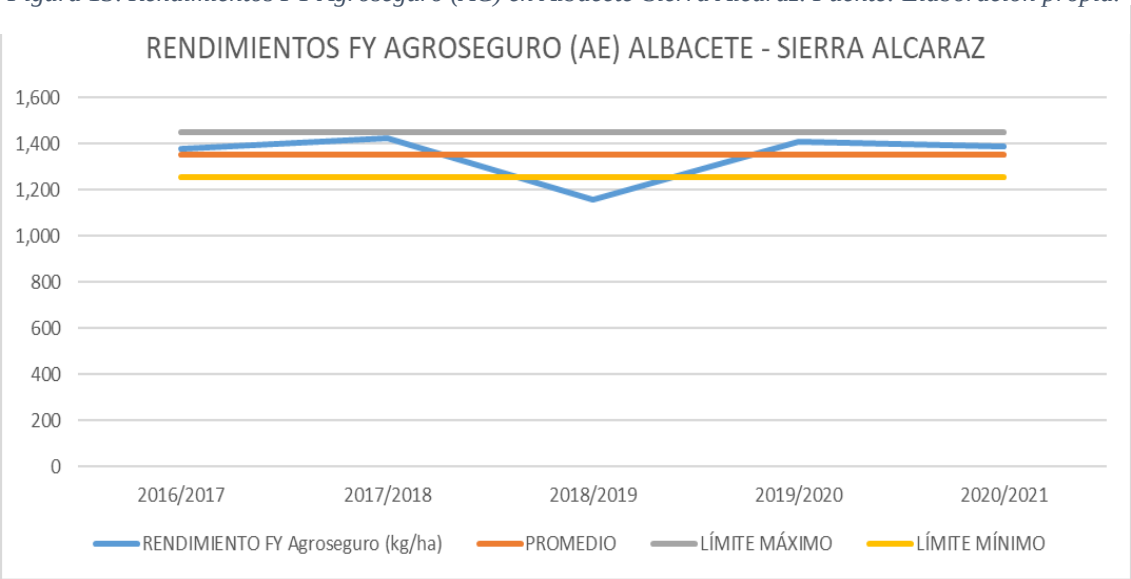

Figura 14. Rendimientos FY Agroseguro (AE) en Albacete-Sierra Alcaraz. Fuente: Elaboración propia.

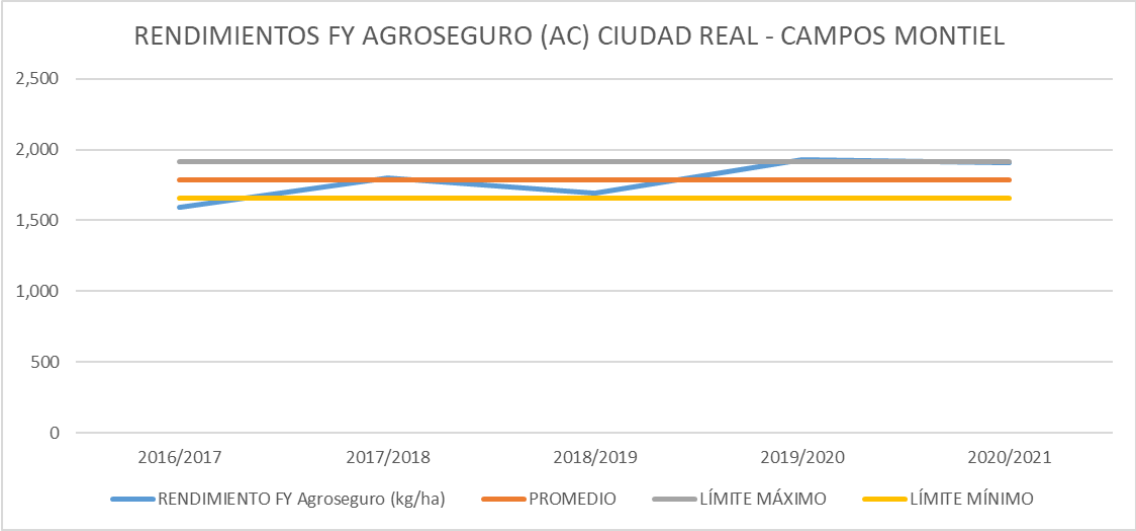

Figura 15. Rendimientos FY Agroseguro (AC) en Ciudad Real - Campos Montiel. Fuente: Elaboración propia.

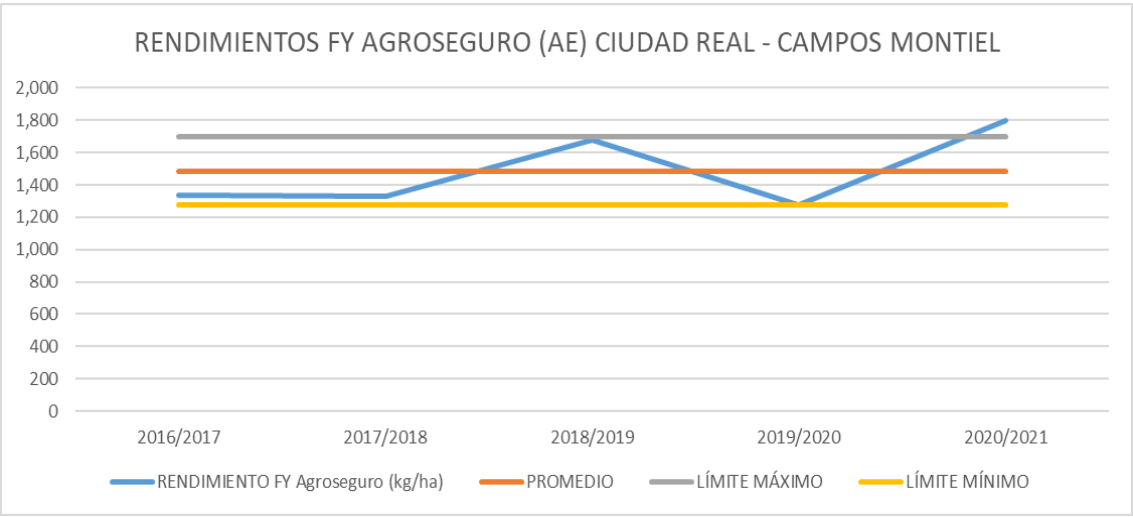

Figura 16. Rendimientos FY Agroseguro (AE) en Ciudad Real - Campos Montiel. Fuente: Elaboración propia.

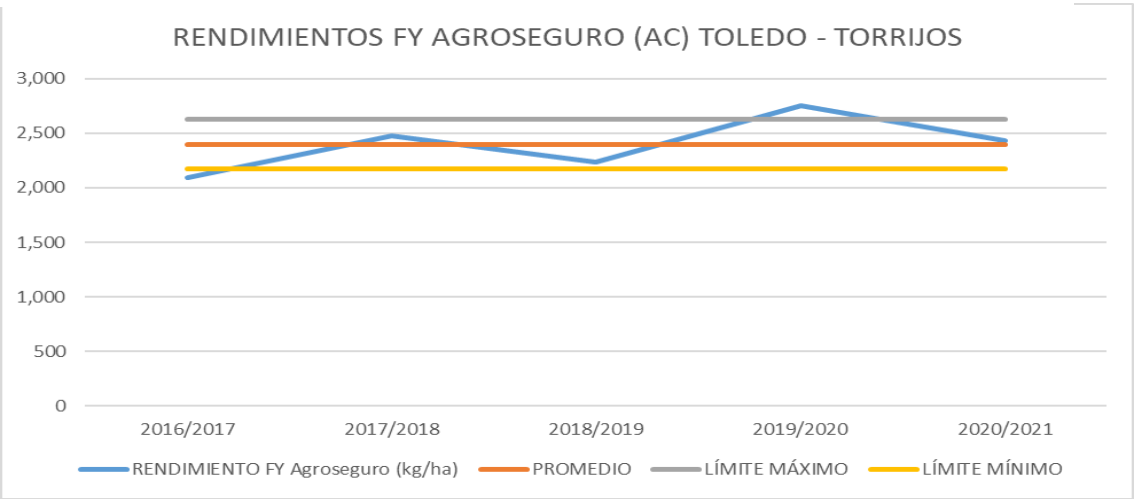

Figura 17. Rendimientos FY Agroseguro (AC) en Toledo - Torrijos. Fuente: Elaboración propia.

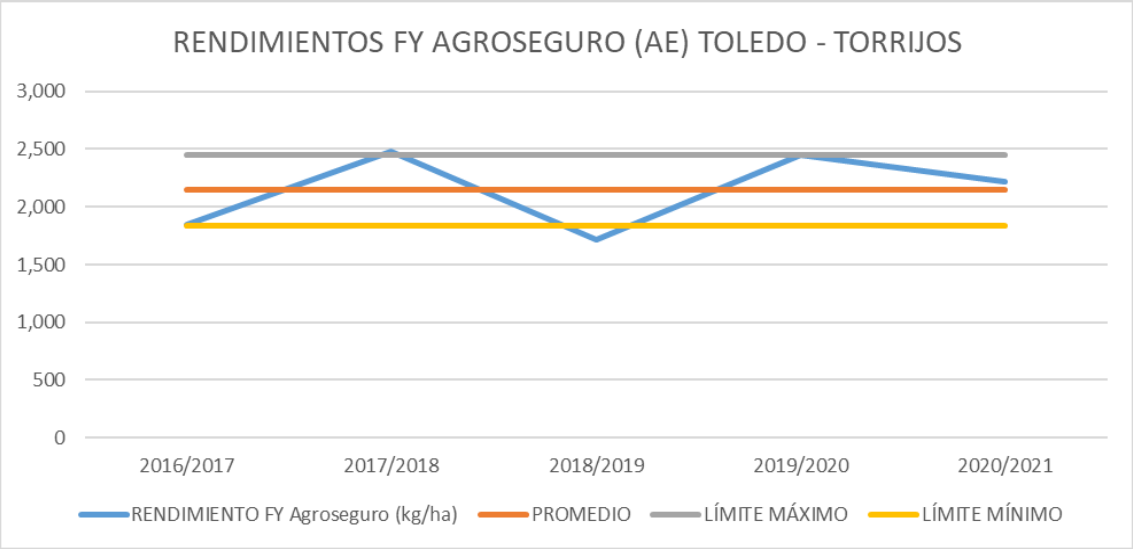

Figura 18. Rendimientos FY Agroseguro (AE) en Toledo- Torrijos. Fuente: Elaboración propia.

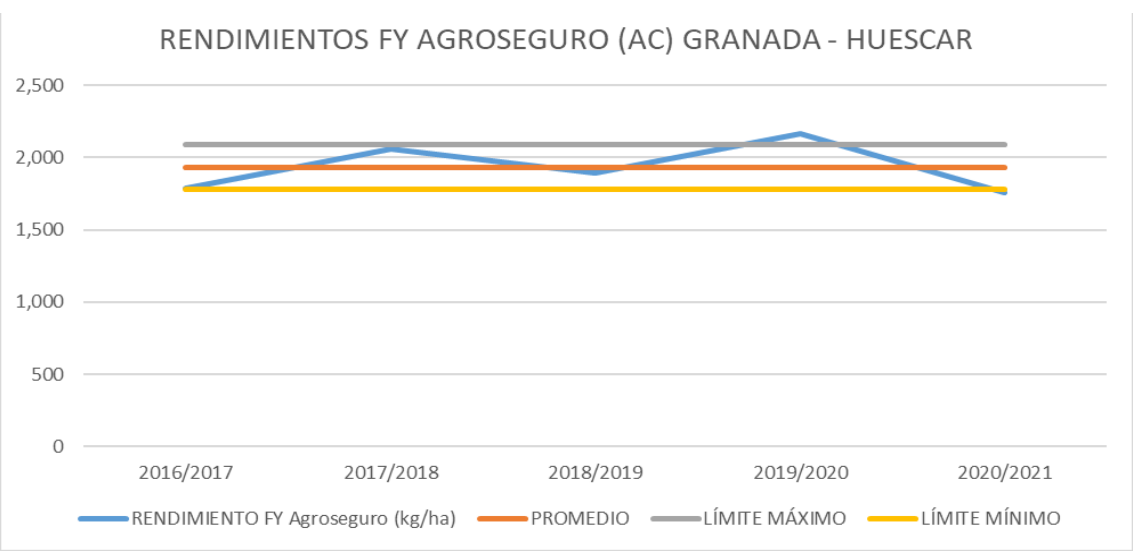

Figura 19. Rendimientos FY Agroseguro (AC) en Granada - Huéscar. Fuente: Elaboración propia.

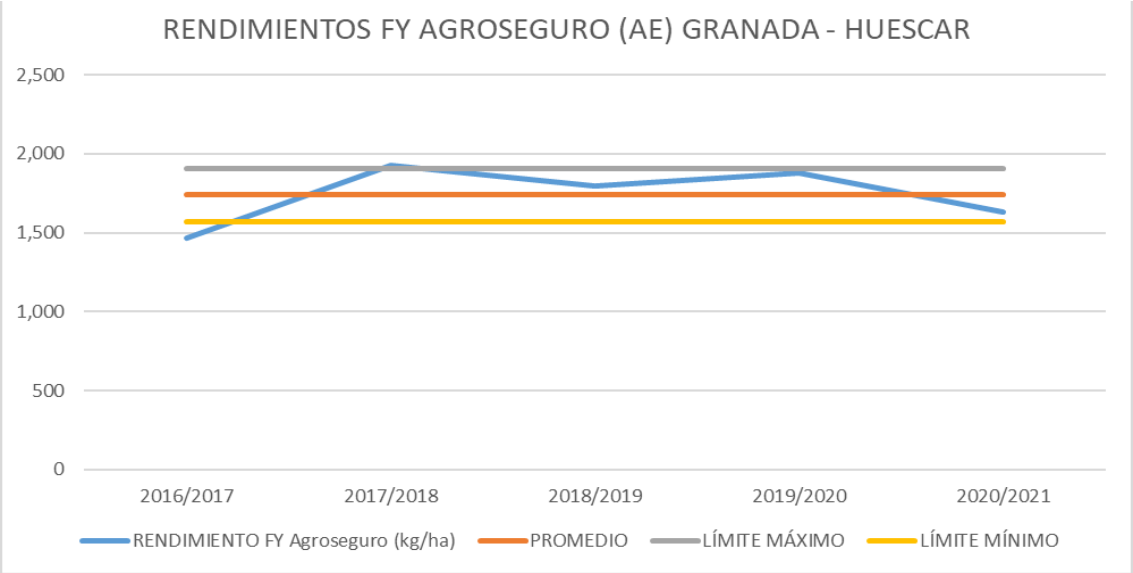

Figura 20. Rendimientos FY Agroseguro (AE) en Granada - Huéscar. Fuente: Elaboración propia.

4.3 Rendimientos potenciales (PY) de los ensayos de GENVE.

Para la obtención de datos de rendimientos potenciales (PY) de trigo, estos se consiguen gracias a 3 ensayos realizados en las campañas 2018-2019, 2019-20 y 2020/2021 de trigo blando ecológico, estos experimentos se han realizado en secano, siendo Nogal una de las tres variedades testigo incluidas en los ciclos de invierno y de primavera. Las otras variedades testigo han sido Rebelde y Bologna (invierno).

Los ensayos han sido realizados por entidades públicas de carácter autonómico de Aragón (Diputación General de Aragón), Castilla la Mancha (Instituto Regional de Investigación y Desarrollo Agroalimentario y Forestal), Castilla y León (Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León y Centro Tecnológico Agrario y Agroalimentario), Catalunya (Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries), Euskadi (Instituto Vasco de Investigación y Desarrollo Agrario), Madrid (Instituto Madrileño de Investigación y Desarrollo Rural, Agrario y Alimentario) y Navarra (Instituto Navarro de Tecnologías e Infraestructuras Agroalimentarias).

En nuestro caso nos centraremos en las entidades públicas de carácter autonómico de Castilla la Mancha (Instituto Regional de Investigación y Desarrollo Agroalimentario y Forestal) y Castilla y León (Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León y Centro Tecnológico Agrario y Agroalimentario), ya que son las zonas específicas de estudio de este trabajo. Estos ensayos no han sido realizados en Andalucía, por tanto, no se realiza el estudio en este caso de Granada, pero sí de Zamora, Albacete, Ciudad Real y Toledo.

Los ensayos han sido agrupados en varias zonas agroclimáticas, con la finalidad de facilitar la interpretación de los datos teniendo en cuenta los valores de pluviometría y temperatura de cada localidad. En cuanto a la temperatura, se han establecido las siguientes categorías:

- Zonas frías. Zonas con una temperatura media del mes de abril inferior a 11 ºC.

- Zonas templadas. Zonas con una temperatura media del mes de abril entre 11 ºC y 13ºC.

- Zonas cálidas. Zonas con una temperatura media del mes de abril superior a 13 ºC.

En cuanto a la pluviometría, las categorías creadas son:

- Zonas semiáridas. Zonas con una pluviometría anual igual o inferior a 500 mm.

- Zonas subhúmedas. Zonas con una pluviometría anual superior a 500 mm e inferior a 700 mm.

- Zonas húmedas. Zonas con una pluviometría anual superior a 700 mm.

Siendo las zonas de estudio de este trabajo en cuanto a la temperatura y a la pluviometría en Zamora, Albacete, Ciudad Real y Toledo las presentadas en las Tablas 9 y 10 repectivamente.

Provincia	Año	Mes	Temp Media (ºC)	Temp Max (ºC)	Temp Mínima (ºC)	Precipitación (mm)	Zona ensayo GENVCE
Zamora	2019	Abril	9,69	24,81	-4,07	38,96	Fría
	2020	Abril	11,52	21,07	-1,17	86,85	Templada
	2021	Abril	10,72	22,32	-2,87	44,9	Fría
Albacete	2019	Abril	10,4	24,74	-1,07	152,65	Fría
	2020	Abril	12,12	20,96	1,44	34,11	Templada
	2021	Abril	11,08	22,31	-1,52	46,21	Fría
Ciudad Real	2019	Abril	10,62	27,24	-0,59	82,59	Fría
	2020	Abril	12,53	23,33	0,89	54,81	Templada
	2021	Abril	12,22	23,89	-1,53	53,7	Templada
Toledo	2019	Abril	12,28	28,56	-0,26	47,2	Templada
	2020	Abril	13,6	24,33	1,81	59,4	Cálida
	2021	Abril	13,48	25,05	-1,13	36,07	Cálida

Tabla 9. Zonas climáticas de los ensayos de GENVCE. Fuente: Elaboración propia.

Provincia	Año	Precipitación (mm)	Zona ensayo GENVCE
Zamora	2019	358	Semiárida
	2020	478	Semiárida
	2021	408	Semiárida
Albacete	2019	408	Semiárida
	2020	414	Semiárida
	2021	410	Semiárida
Ciudad Real	2019	352	Semiárida
	2020	343	Semiárida
	2021	503	Subhúmeda
Toledo	2019	220	Semiárida
	2020	360	Semiárida
	2021	375	Semiárida

Tabla 10. Zonas pluviométricas de los ensayos GENVCE. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 21 se presenta la distribución de las zonas agroclimáticas a partir de las categorías anteriores.

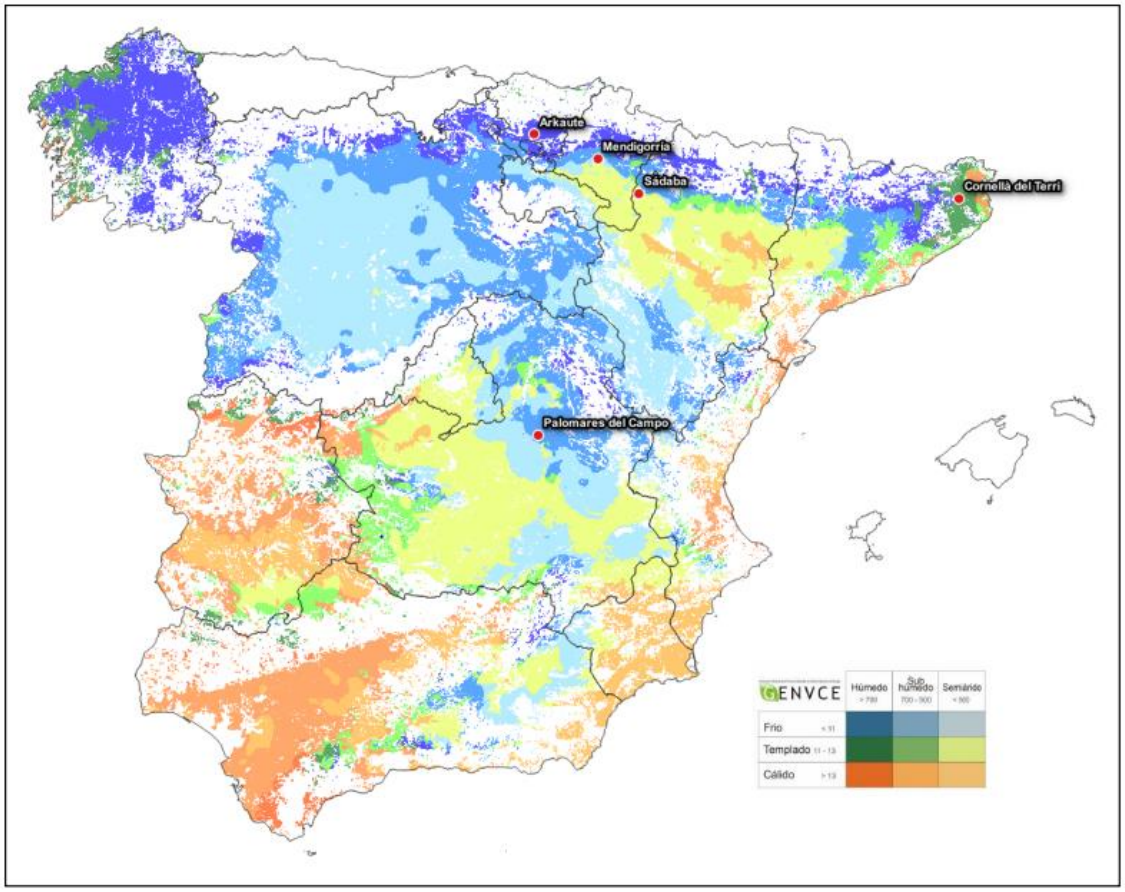

Figura 21. Mapa de las zonas agroclimáticas en España. Fuente: GENVCE.

Las zonas cálidas no presentan datos de rendimientos, por tanto, no hay datos de rendimientos de los ensayos de las campañas 2019/2020 y 2020/2020 en Toledo, ya que en esas campañas presenta un clima cálido. Si hay datos de todos los demás ensayos y zonas de estudio del trabajo. En las tablas 11, 12, 13 y 14; podemos ver los datos de rendimientos (PY) en secano de testigos de trigo blando ecológico de invierno de Nogal, Bologna y Rebelde, presentados en Zamora, Albacete, Ciudad Real y Toledo.

	ENSAYOS DE GENVCE DE TESTIGOS DE TRIGO BLANDO ECOLÓGICO DE INVIERNO		
Provincia	**CAMPAÑAS**		
Zamora	**CAMPAÑA 2018/2019**	**Zona ensayo GENVCE**	**RENDIMIENTOS (kg/ha)**
	Nogal (Invierno)	Fría	4333
	Bologna (Invierno)		4006
	Rebelde (Invierno)		3938
	CAMPAÑA 2019/2020	**Zona ensayo GENVCE**	**RENDIMIENTOS (kg/ha)**
	Nogal (Invierno)	Templada	3393
	Bologna (Invierno)		3092
	Rebelde (Invierno)		2783
	CAMPAÑA 2020/2021	**Zona ensayo GENVCE**	**RENDIMIENTOS (kg/ha)**
	Nogal (Invierno)	Fría	3156
	Bologna (Invierno)		3153
	Rebelde (Invierno)		2957

Tabla 11. Ensayos de GENVCE en Zamora. Fuente: Elaboración propia.

	ENSAYOS DE GENVCE DE TESTIGOS DE TRIGO BLANDO ECOLÓGICO DE INVIERNO		
Provincia	**CAMPAÑAS**		
Albacete	**CAMPAÑA 2018/2019**	**Zona ensayo GENVCE**	**RENDIMIENTOS (kg/ha)**
	Nogal (Invierno)	Fría	4333
	Bologna (Invierno)		4006
	Rebelde (Invierno)		3938
	CAMPAÑA 2019/2020	**Zona ensayo GENVCE**	**RENDIMIENTOS (kg/ha)**
	Nogal (Invierno)	Templada	3393
	Bologna (Invierno)		3092
	Rebelde (Invierno)		2783
	CAMPAÑA 2020/2021	**Zona ensayo GENVCE**	**RENDIMIENTOS (kg/ha)**
	Nogal (Invierno)	Fría	3156
	Bologna (Invierno)		3153
	Rebelde (Invierno)		2957

Tabla 12. Ensayos de GENVCE en Albacete. Fuente: Elaboración propia.

	ENSAYOS DE GENVCE DE TESTIGOS DE TRIGO BLANDO ECOLÓGICO DE INVIERNO		
Provincia	**CAMPAÑAS**		
Ciudad Real	**CAMPAÑA 2018/2019**	**Zona ensayo GENVCE**	**RENDIMIENTOS (kg/ha)**
	Nogal (Invierno)	Fría	4333
	Bologna (Invierno)		4006
	Rebelde (Invierno)		3938
	CAMPAÑA 2019/2020	**Zona ensayo GENVCE**	**RENDIMIENTOS (kg/ha)**
	Nogal (Invierno)	Templada	3393
	Bologna (Invierno)		3092
	Rebelde (Invierno)		2783
	CAMPAÑA 2020/2021	**Zona ensayo GENVCE**	**RENDIMIENTOS (kg/ha)**
	Nogal (Invierno)	Templada	3171
	Bologna (Invierno)		3151
	Rebelde (Invierno)		2932

Tabla 13. Ensayos de GENVCE en Ciudad Real. Fuente: Elaboración propia.

	ENSAYOS DE GENVCE DE TESTIGOS DE TRIGO BLANDO ECOLÓGICO DE INVIERNO		
Provincia	**CAMPAÑAS**		
Toledo	**CAMPAÑA 2018/2019**	**Zona ensayo GENVCE**	**RENDIMIENTOS (kg/ha)**
	Nogal (Invierno)	Templada	2879
	Bologna (Invierno)		2689
	Rebelde (Invierno)		2604
	CAMPAÑA 2019/2020	**Zona ensayo GENVCE**	**RENDIMIENTOS (kg/ha)**
	Nogal (Invierno)	Cálida	-
	Bologna (Invierno)		-
	Rebelde (Invierno)		-
	CAMPAÑA 2020/2021	**Zona ensayo GENVCE**	**RENDIMIENTOS (kg/ha)**
	Nogal (Invierno)	Cálida	-
	Bologna (Invierno)		-
	Rebelde (Invierno)		-

Tabla 14. Ensayos de GENVCE en Toledo. Fuente: Elaboración propia.

Las medias de los 3 años de campañas, 2018-2021 y la desviación estándar de los testigos de trigo blando ecológico de los ensayos de GENVCE son los presentado en la Tabla 15.

Provincia	Testigos	PY Medios (kg/ha)	SD
Zamora	**Nogal**	3627	508.3
	Bologna	3417	417.2
	Rebelde	3226	508.4
Albacete	**Nogal**	3627	508.3
	Bologna	3417	417.2
	Rebelde	3226	508.4
Ciudad Real	**Nogal**	3632	503.7
	Bologna	3416	417.7
	Rebelde	3218	513.0
Toledo	**Nogal**	-	-
	Bologna	-	-
	Rebelde	-	-

Tabla 15. Rendimiento medio (PY) de los Ensayos GENVCE. Fuente: Elaboración propia.

Como se ha explicado anteriormente en el presenta trabajo, Toledo no presenta datos de sus últimas dos campañas, 2019/2020 y 2020/2021, debido a que esos años presenta un clima cálido en sus temperaturas y no hay ensayos realizados en esas campañas para climas de zonas cálidas, por tanto, en Toledo no podemos tener media de las campañas de los ensayos de GENVCE ni desviación estándar (SD).

Como resumen de todos los datos de rendimientos expuestos anteriormente:

Los datos de agricultura convencional del anuario de estadística son rendimiento de explotación (FY).

Los datos aportados de Agroseguro, son datos de agricultores, es decir son pólizas, es por ello que son datos individuales, también son rendimientos de explotación FY, pero individuales (FY Agroseguro).

Los datos de GENVCE son datos de rendimientos de ensayos, tratándose de datos de rendimientos potenciales (PY).

4.4 Rendimientos potenciales teóricos (Ypot-teórico) de las simulaciones de DSSAT.

Los datos de rendimiento obtenidos de simulaciones en el DSSAT v4.7.5 serán rendimientos potenciales teóricos (Ypot-teórico).

El modelo CERES-Trigo está integrado dentro del Sistema de Apoyo a la Decisión de Transferencia de Agrotecnología (DSSAT v4.7.5) y es un modelo de cultivo bien conocido desarrollado para la simulación del crecimiento del trigo de invierno (Jones et al., 2003), basado en procesos que utiliza principios de balance de carbono, nitrógeno (N) y agua para simular las etapas de crecimiento del cultivo, el rendimiento y los balances de agua y nitrógeno (Thorp et al., 2010). Las etapas de crecimiento del trigo pasan por nueve etapas de crecimiento basadas en la función de respuesta a la temperatura y la información genética contenida en el modelo CERES-Wheat (Wang y Engel, 1998).

Desde los primeros días de CERES, el desarrollo del modelo continuó y se desarrollaron diferentes subtipos. N-Wheat es uno de estos subtipos que evolucionó a partir de CERES según las condiciones de crecimiento de Australia (Asseng et al., 1998). Un cambio importante en el desarrollo de N-Wheat fue la modificación de la rutina de consumo de agua del cultivo (Kassie et al., 2016). El CERES original utiliza una función de evapotranspiración potencial y LAI. Esto fue reemplazado por una fracción crítica de agua disponible y un vínculo con la demanda de agua de la biomasa mediante el uso de la eficiencia de transpiración en el modelo NWheat. También incluyeron efectos de estrés por alta temperatura para una aceleración de la senescencia de la hoja. El componente de cultivo de N-Wheat fue integrado por Kassie et al. (2016) en el marco DSSAT v4.7.5.

Para ejecutar el modelo CERES-Wheat y evaluar una simulación, se requieren datos meteorológicos de la zona de estudio, características del suelo, información de manejo de cultivos e información genética de plantas (Hoogenboom et al., 2012).

Los coeficientes de cultivo del trigo de invierno se introdujeron en el modelo CERES-Wheat mediante las etapas de crecimiento de cultivo, siendo los parámetros a calibrar, P1V, P1D, P5 y los parámetros del crecimiento del grano G1, G2 y G3, siendo:

- P1V: Días a la temperatura óptima de vernalización necesarios para completar la vernalización.
- P1D: Reducción porcentual en la tasa de desarrollo de un fotoperíodo diez horas más corto en relación con el del umbral.
- P5: Duración de la fase de llenado de grano.
- G1: Número de granos por unidad de peso de copa en antesis.
- G2: Tamaño de grano estándar en condiciones óptimas.
- G3: Peso seco estándar, no estresado, de un solo macollo en la madurez.
- PHINT: Filocrono.

Los cultivares de trigo que se han estudiado en este trabajo son Nogal y Yecora, Nogal como trigo de invierno y Yecora como variedad de trigo de primavera, siendo sus coeficientes de cultivo en CERES-Wheat los siguientes:

Cultivar	P1V	P1D	P5	G1	G2	G3	PHINT
Nogal	60	122	710	17	33	2.29	95
Yecora	9	73	800	24	32	2.5	90

Tabla 16. Cultivares de trigo estudiados en DSSAT (Fuente: Ruiz-Ramos M, Rodríguez A, 2019).

Para el análisis de datos meteorológicos se han obtenido datos de precipitación, temperatura máxima (TMAX), temperatura mínima (TMIN) y de radiación solar (SRAD) en el SIAR.

Las estaciones meteorológicas seleccionadas en cuanto a proximidad de la zona de estudio son las siguientes:

Castilla y León:

- Zamora-Campos-Pan: Estación meteorológica de Villaralbo de Zamora.

Castilla y La Mancha:

- Albacete-Sierra de Alcaraz: Estación meteorológica de Albacete.
- Ciudad Real-Campo Montiel: Estación meteorológica de Montiel.
- Toledo-Torrijos y Toledo-La Mancha: Estación meteorológica de La Rinconada.

Andalucía:

- Granada- Huéscar: Estación meteorológica de Puebla de Don Fabrique.

Se va a realizar un ejemplo de la toma de datos en el SIAR hasta la entrada de esos datos de clima en el programa de simulación de cultivos de DSSAT v4.7.5 con los datos de clima de Granada de la estación meteorológica de la Puebla de Don Fabrique, los demás se han realizado de la misma forma, pero para cada zona de estudio.

En el caso de Granada se elige la estación meteorológica de Puebla de Don Fabrique por ser la estación más cercana a la zona de estudio, Huéscar en Granada, como podemos observar en la siguiente Figura 22 del Instituto Geográfico Nacional (IGN).

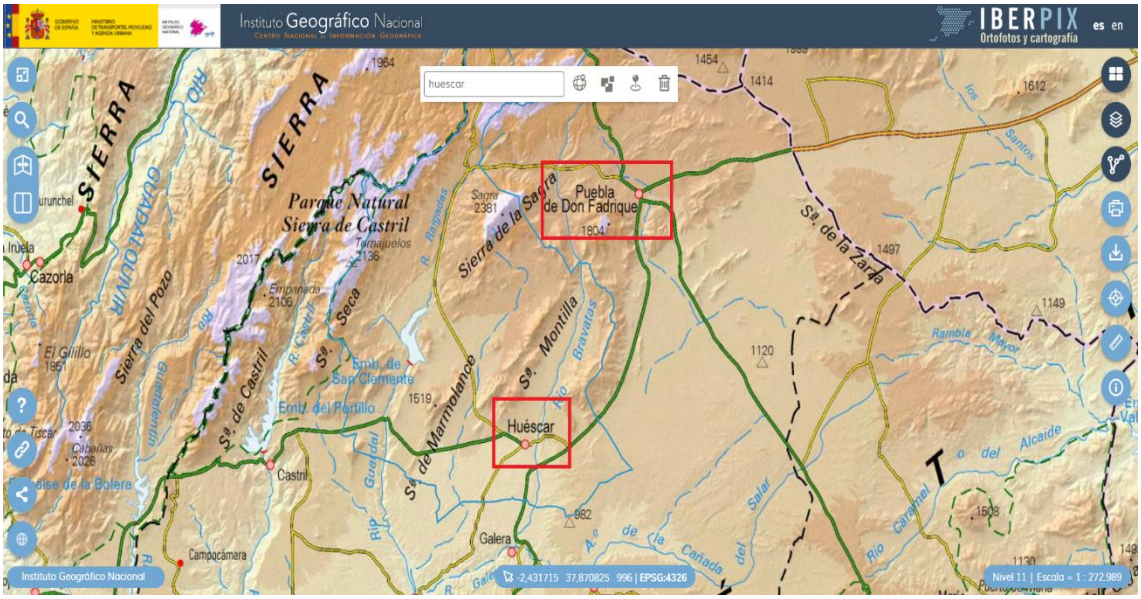

Figura 22. Ejemplo de la selección de la estación metereológica de Granada. Fuente: IGN.

En el SIAR se obtienen los datos meteorológicos diarios en un periodo de 20 años (01/01/2000 al 31/12/2020) de precipitación, temperatura máxima (TMAX), temperatura mínima (TMIN) y de radiación solar (SRAD) conseguidos en el SIAR con la estación de Puebla de Don Fabrique, siendo esta la estación más cercana a Huéscar en la provincia de Granada, como ya hemos indicado anteriormente, seleccionando los datos de la siguiente manera:

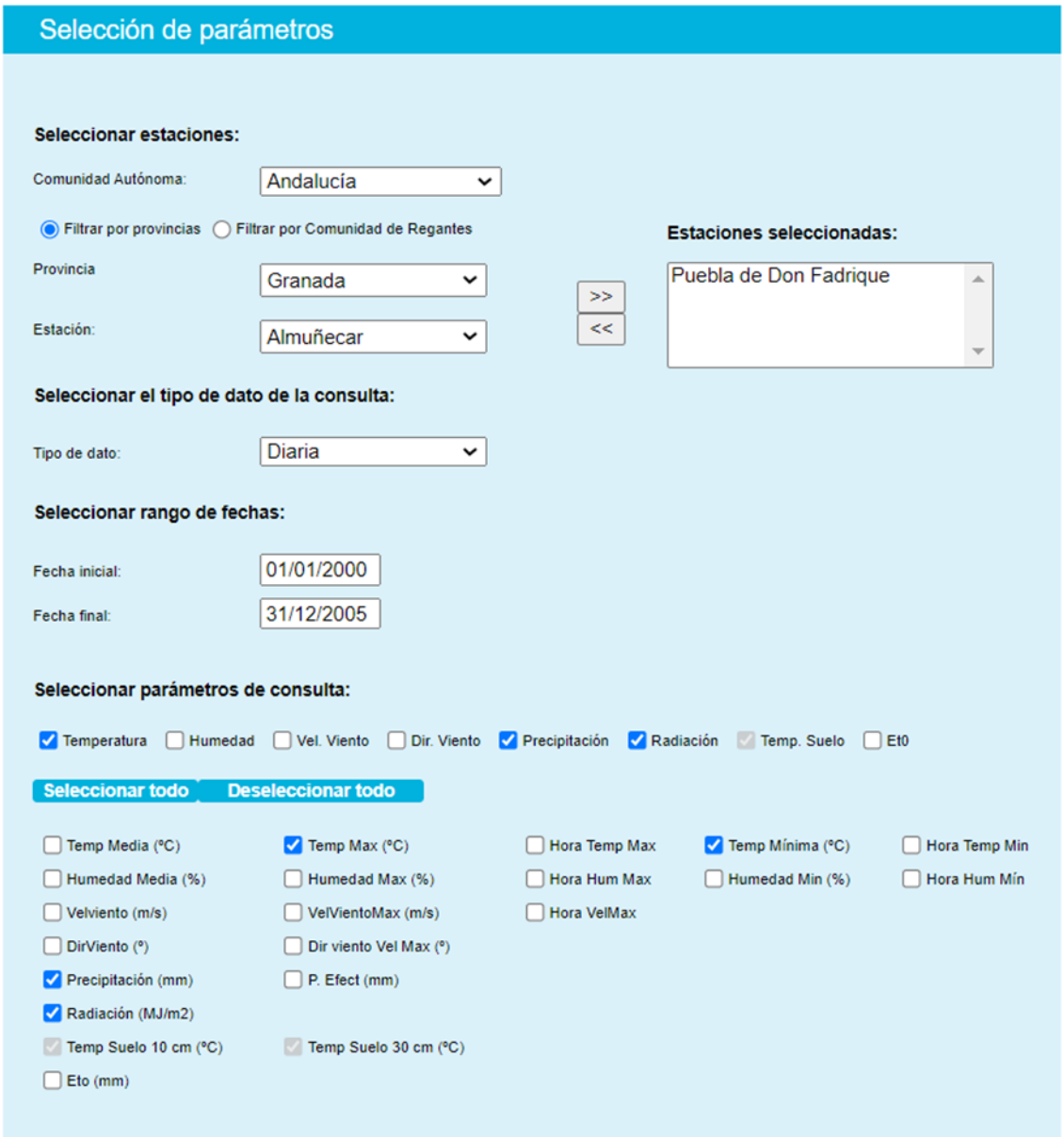

Figura 23. Ejemplo de Selección de parámetros en el SIAR de Granada.

Como SIAR no proporcionaba datos de los 20 años directamente, saque cuatro periodos de datos de 5 años (01/01/2000 - 31/12/2005), (01/01/2006 – 31/12/2010), (01/01/2011 – 31/12/2015) y (01/01/2016 – 31/12/2020) para posteriormente pasarlos a una base de datos en Excel con el fin de poder subir los datos de clima a DSSAT v4.7.5.

Se introducen los datos de clima en el DSSAT v4.7.5, siendo los datos de clima:

Datos de temperatura máxima (TMAX), temperatura mínima (TMIN), radiación solar (SRAD) y la precipitación pasados al programa DSSAT v4.7.5.

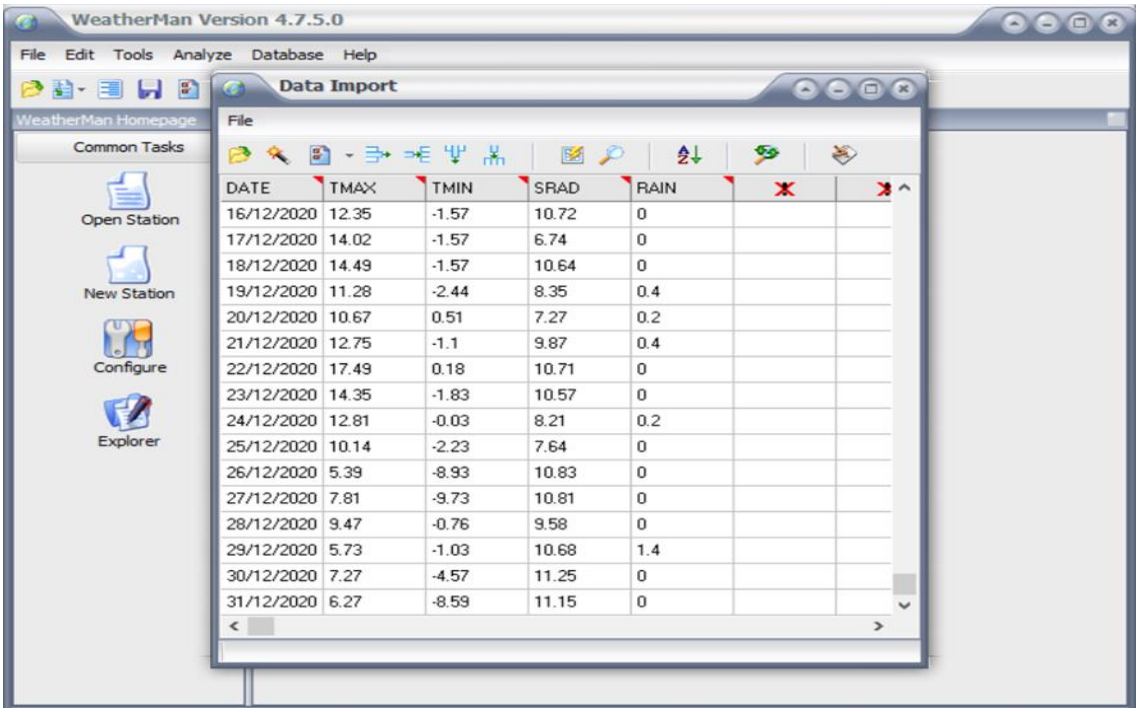

Figura 24. Ejemplo de introducción del clima en la plataforma de DSSAT.

Una vez que están metidos los datos de clima en el DSSAT v4.7.5 se guarda la estación, como son datos de clima de Granada, guardo la estación por ejemplo como "GRAN", con una latitud de 37.809º y una longitud de -2.530º y una altitud de 962 m.

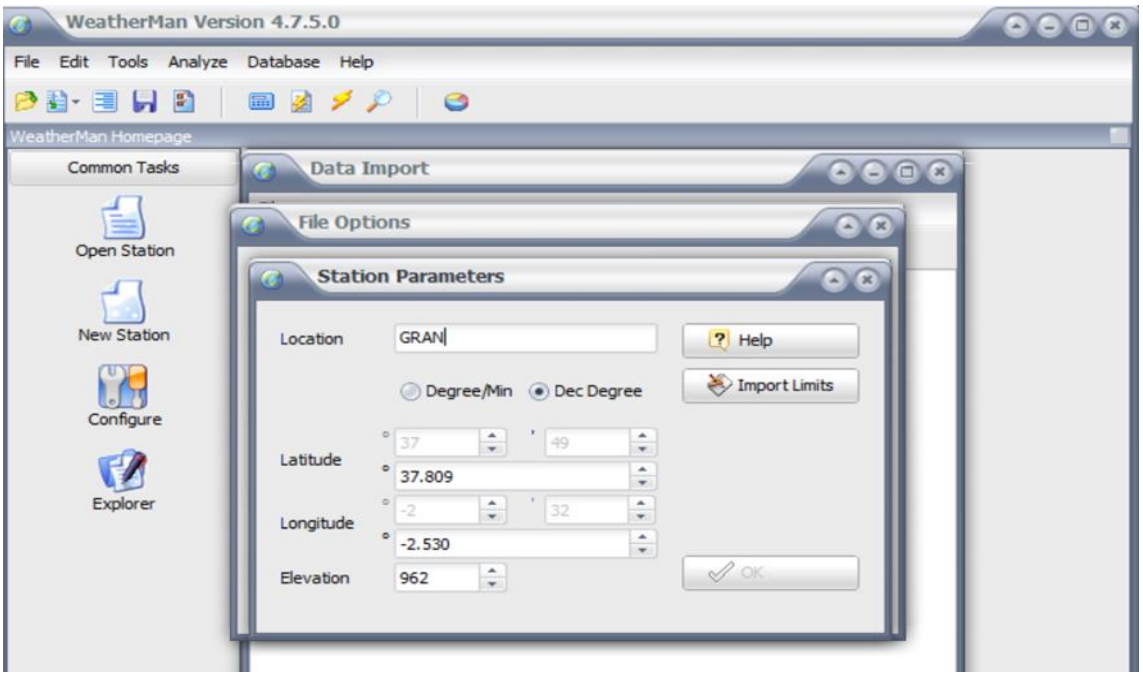

Figura 25. Ejemplo de la introducción de parámetros de la estación de Latitud, Longitud y Altitud en la plataforma del DSSAT.

Los gráficos obtenido temperatura máxima (TMAX), temperatura mínima (TMIN), radiación solar (SRAD) y la precipitación de Granada son los siguientes:

Gráfico de la Temperatura máxima:

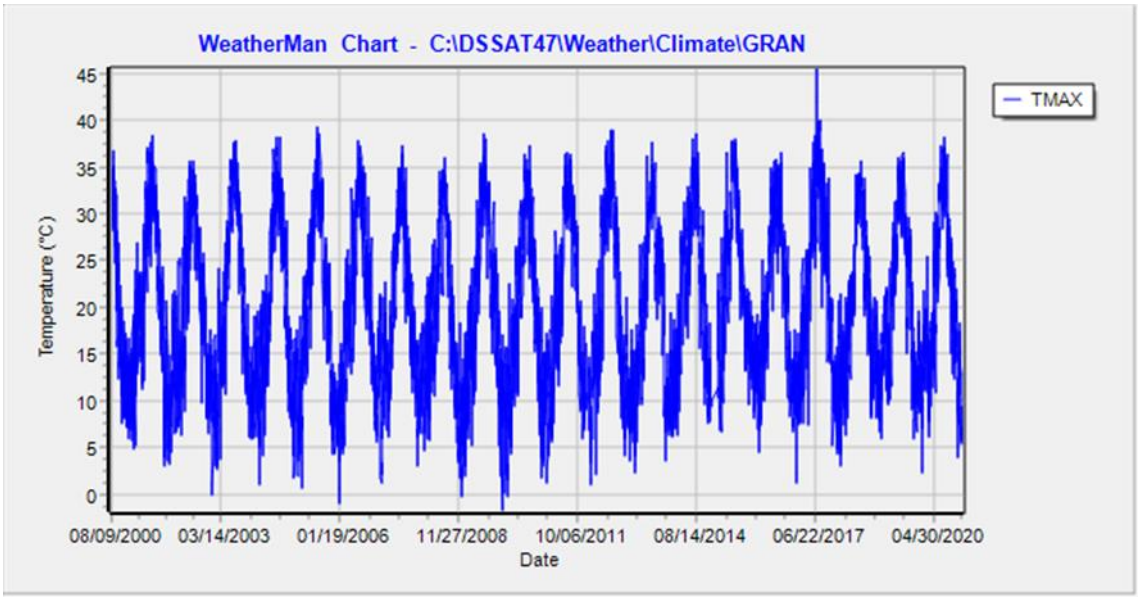

Figura 26. Gráfico de la temperatura máxima de Granada de la plataforma del DSSAT.

Gráfico de la temperatura mínima:

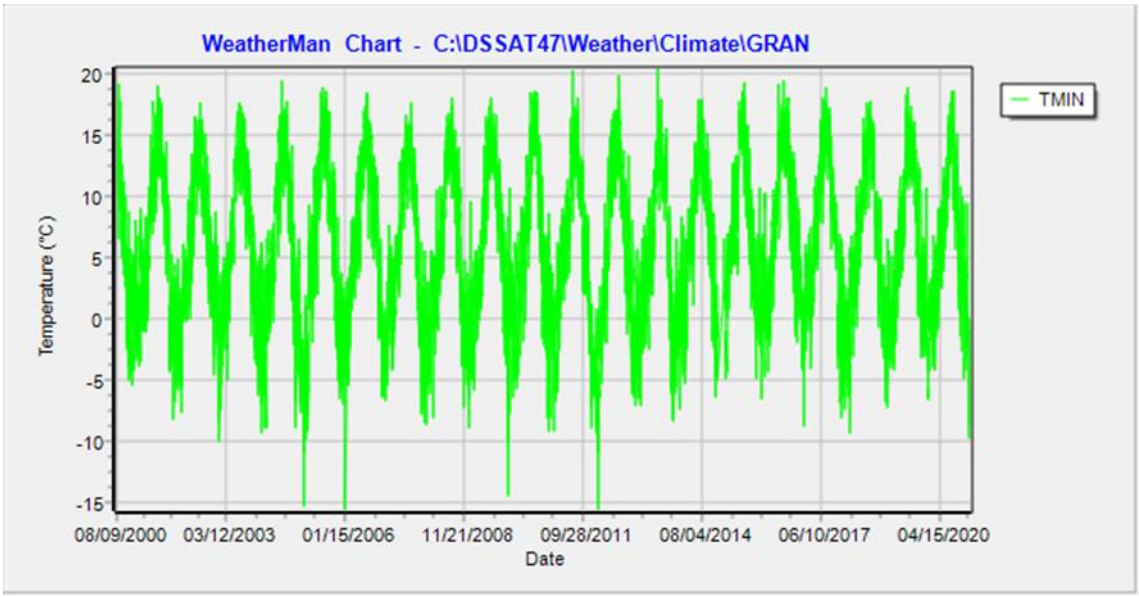

Figura 27. Gráfico de la temperatura mínima de Granada de la plataforma del DSSAT.

En las gráficas de temperaturas máximas y temperaturas mínimas se puede comprobar como los cambios de temperaturas son más altas en verano y en invierno son más bajas.

Gráfico de la radiación solar:

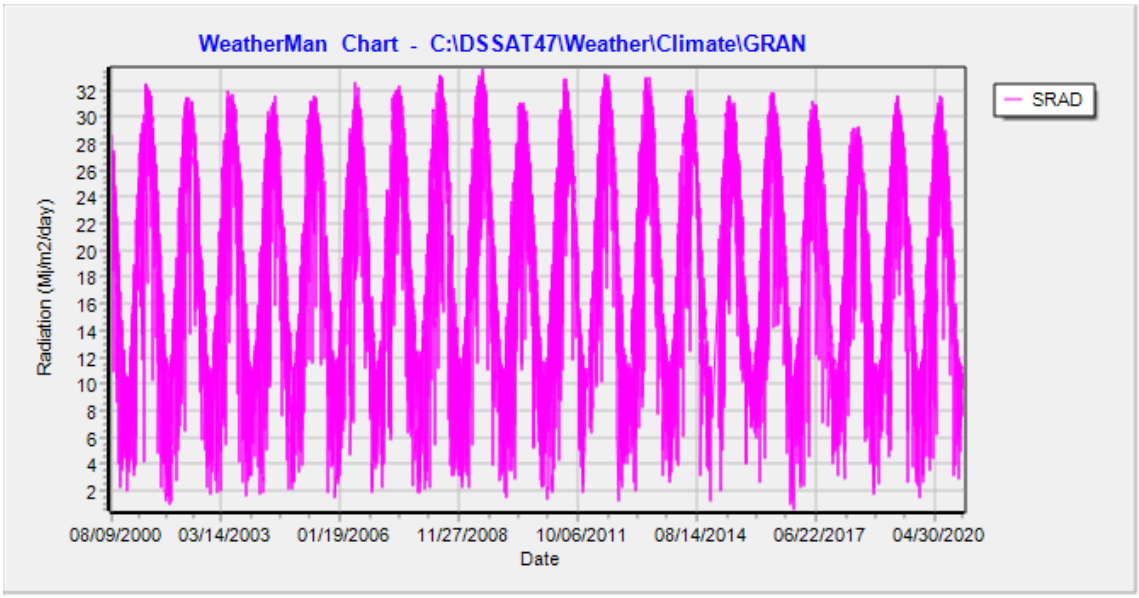

Figura 28. Gráfico de la radiación solar de Granada de la plataforma del DSSAT.

En la radiación solar se puede ver como aumenta la radiación durante los meses de todos los años, llegando a valores más altos de 30-33 MJ/m^2/día.

Gráfico de la Precipitación:

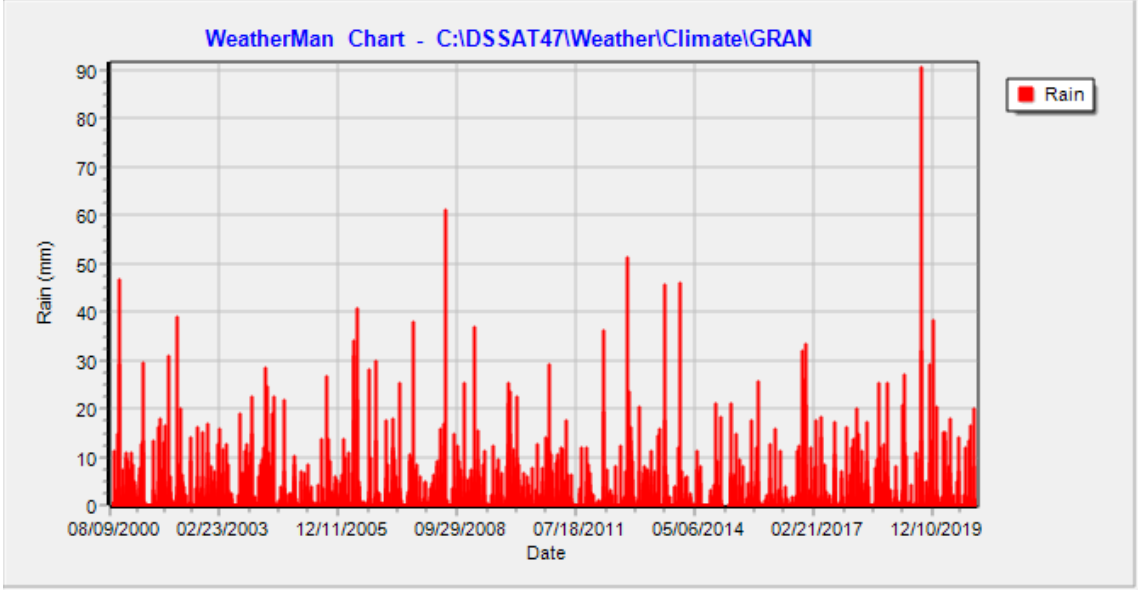

Figura 29. Gráfico de la precipitación de Granada de la plataforma del DSSAT.

Se puede observar en el Gráfico de la precipitación como varía la precipitación a lo largo de 20 años.

El suelo elegido como referencia de estudio para todas las zonas ha sido un suelo franco arenoso del programa DSSAT v4.7.5, estudiado en España.

Las características del suelo son las siguientes:

SUELO FRANCO ARENOSO.txt: Bloc de notas

Archivo Edición Formato Ver Ayuda

```
*IBSU910045                -99      300  Granja Sandy Loam
@SITE        COUNTRY          LAT     LONG SCS FAMILY
 Cordoba     Spain             -99     -99 Granja sandy loam. Cordoba, Spain
@ SCOM  SALB  SLU1  SLDR  SLRO  SLNF  SLPF  SMHB  SMPX  SMKE
   -99   .18     6    .5    77     1     1 SA001 SA001 SA001
@  SLB  SLMH  SLLL  SDUL  SSAT  SRGF  SSKS  SBDM  SLOC  SLCL  SLSI  SLCF  SLNI  SLHW  SLHB  SCEC  SADC
    10   -99   .08   .24   .34     1   -99   1.6     0   -99   -99   -99   -99   -99   -99   -99   -99
    30   -99   .08   .24   .34     1   -99   1.6     0   -99   -99   -99   -99   -99   -99   -99   -99
    60   -99   .08   .24   .36  .411   -99   1.6     0   -99   -99   -99   -99   -99   -99   -99   -99
    90   -99   .08   .24   .38  .223   -99   1.6     0   -99   -99   -99   -99   -99   -99   -99   -99
   120   -99   .08   .24   .37    .1   -99   1.6     0   -99   -99   -99   -99   -99   -99   -99   -99
   150   -99   .08   .24   .38    .1   -99   1.6     0   -99   -99   -99   -99   -99   -99   -99   -99
   180   -99   .08   .24   .35    .1   -99   1.6     0   -99   -99   -99   -99   -99   -99   -99   -99
   210   -99   .08   .24   .36    .1   -99   1.6     0   -99   -99   -99   -99   -99   -99   -99   -99
   240   -99   .08   .24   .35   .01   -99   1.6     0   -99   -99   -99   -99   -99   -99   -99   -99
   270   -99   .08   .24   .34  .001   -99   1.6     0   -99   -99   -99   -99   -99   -99   -99   -99
   300   -99   .08   .24   .34  .001   -99   1.6     0   -99   -99   -99   -99   -99   -99   -99   -99
```

Figura 30. Características del suelo elegido para todas las zonas de estudio en la plataforma del DSSAT.

Se ha tomado la decisión de elegir un tipo de suelo común a todas las zonas, debido a que las simulaciones estaban teniendo problemas con los datos provenientes de los análisis de suelos de las zonas de estudio. El dato sobre porcentaje de materia orgánica que presentaba uno de los análisis era de 3,9 %, esto resultaba en errores en las simulaciones del balance de agua en el suelo, dado que los contenidos de agua a saturación en las capas de suelo superficiales eran excesivamente altas, haciendo que no drenará el agua en las capas inferiores, a causa de eso, los rendimientos generados estaban por debajo de 1000 kg/ha.

Una vez que se han introducido en el DSSAT v4.7.5 el clima y el suelo, se comienza a la introducción de los datos y parámetros de los cultivares elegidos del trigo y sus tratamientos con el fin de realizar las simulaciones de cada zona de estudio.

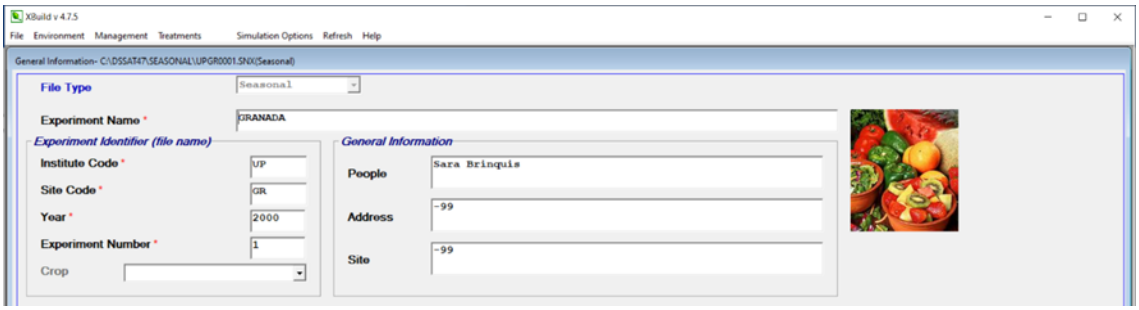

Figura 31. Introducción de datos para la simulación de la plataforma del DSSAT.

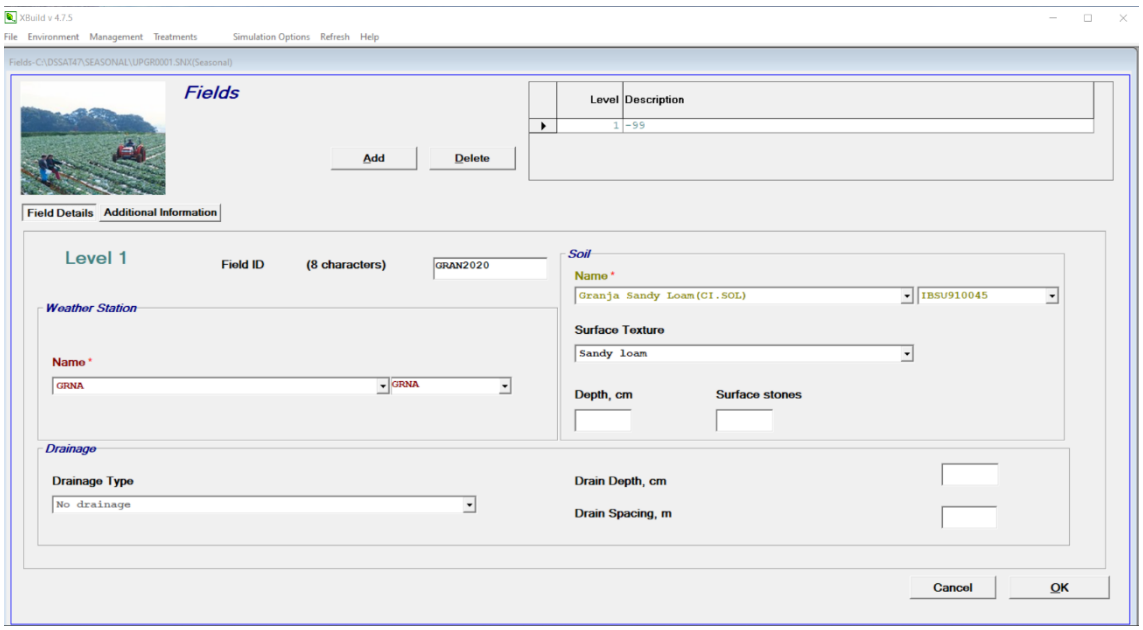

Figura 32. Campos de clima y suelo para la la simulación en la plataforma del DSSAT.

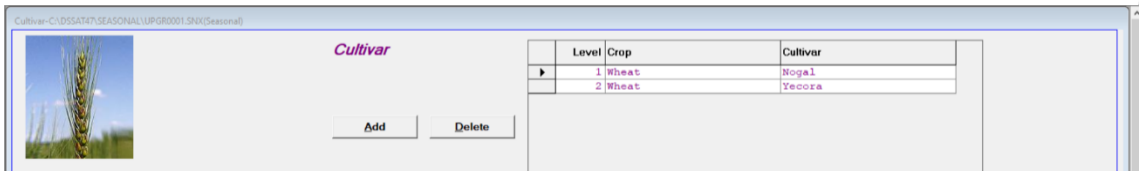

Figura 33. Cultivares de introducidos en la plataforma del DSSAT.

Los cultivares de trigo simulados han sido Nogal de invierno y Yecora de primavera.

Para las simulaciones de los cultivares de trigo, tanto el cultivar de invierno Nogal, como el cultivar de primavera Yecora, se ha decidido la misma fecha de siembra, el 15 de noviembre, siendo la fecha de emergencia 5 días después de la fecha de siembra, el 20 de noviembre. Para ambos casos se decidió sembrar en filas mediante el método de semilla seca, dejando 15 cm entre filas, con una población de 250 plantas/m^2.

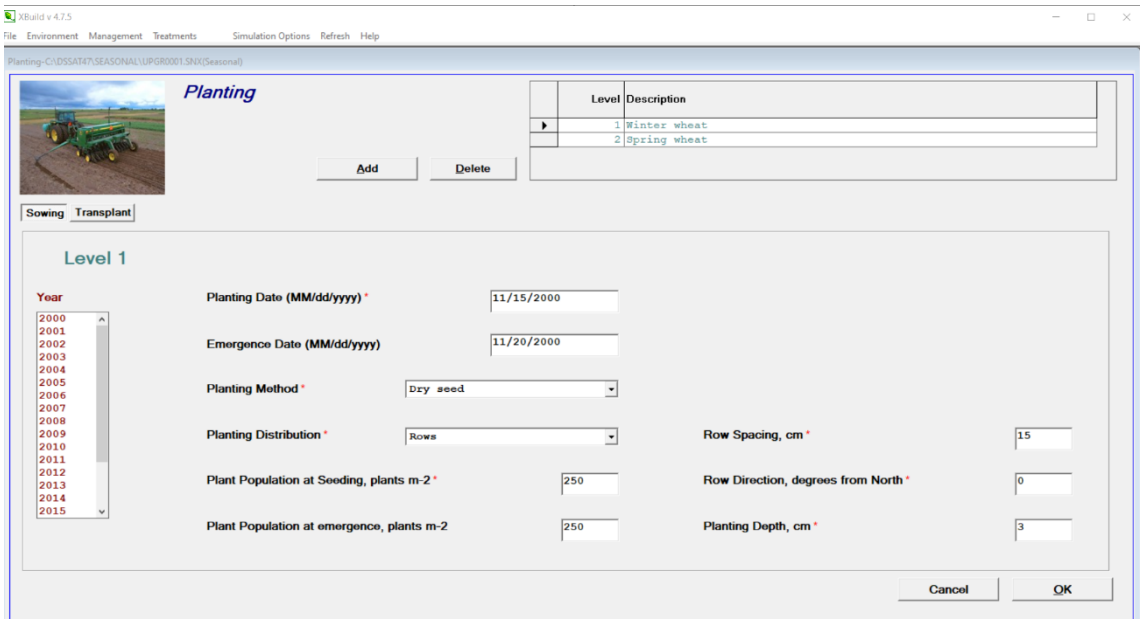

Figura 34. Fecha de siembra y de emergencia en la plataforma del DSSAT.

Se han realizado dos tratamientos, el primer tratamiento de la variedad de invierno, Nogal, y el segundo tratamiento de la variedad de primavera, siendo este último, Yecora.

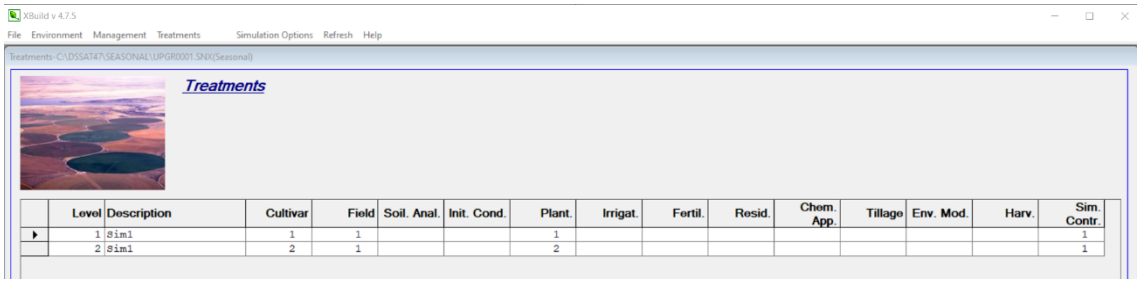

Figura 35. Tratamientos de las simulaciones de la plataforma del DSSAT.

El inicio de la simulación comienza el 1 de octubre del año 2000 con una duración de un total de 20 años.

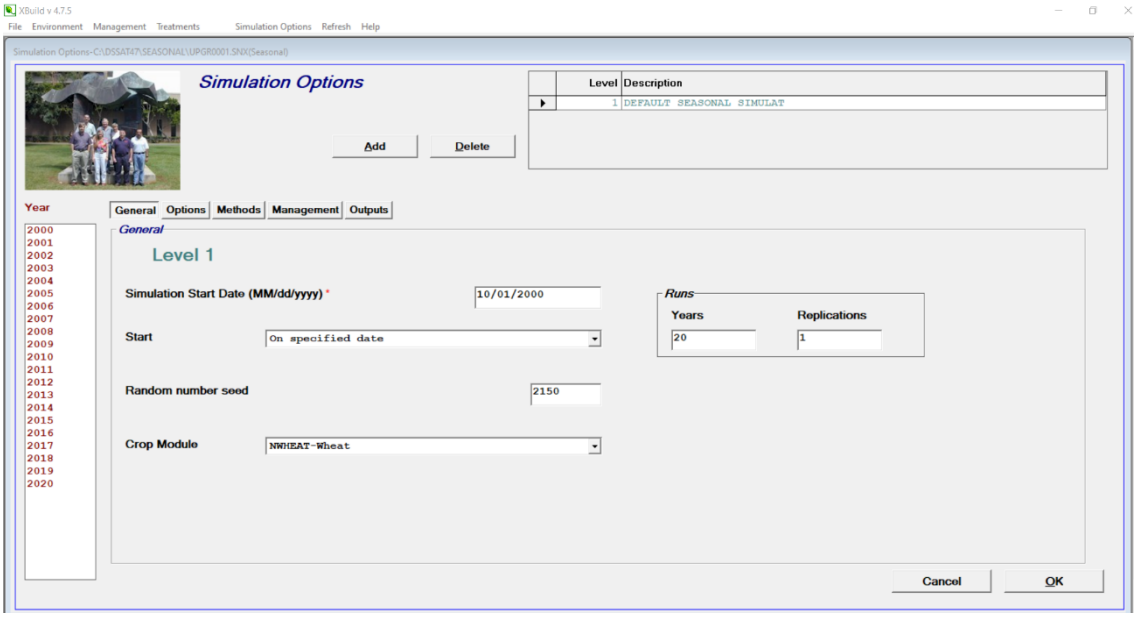

Figura 36. Inicio de las simulaciones de la plataforma del DSSAT.

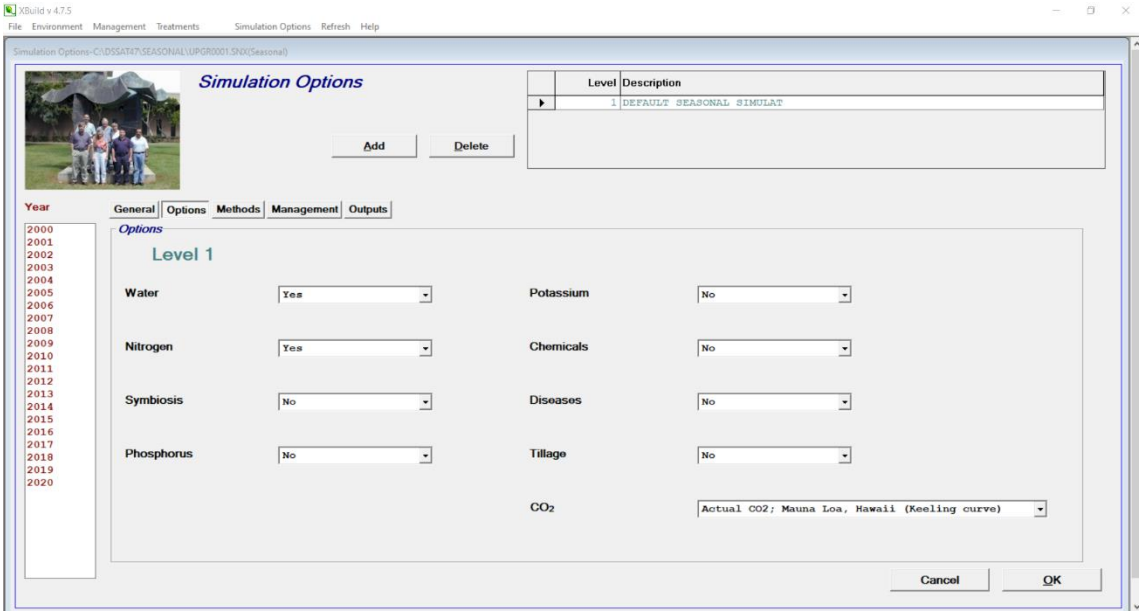

Figura 37. Opciones elegidas de agua y nitrógeno para las simulaciones en la plataforma del DSSAT.

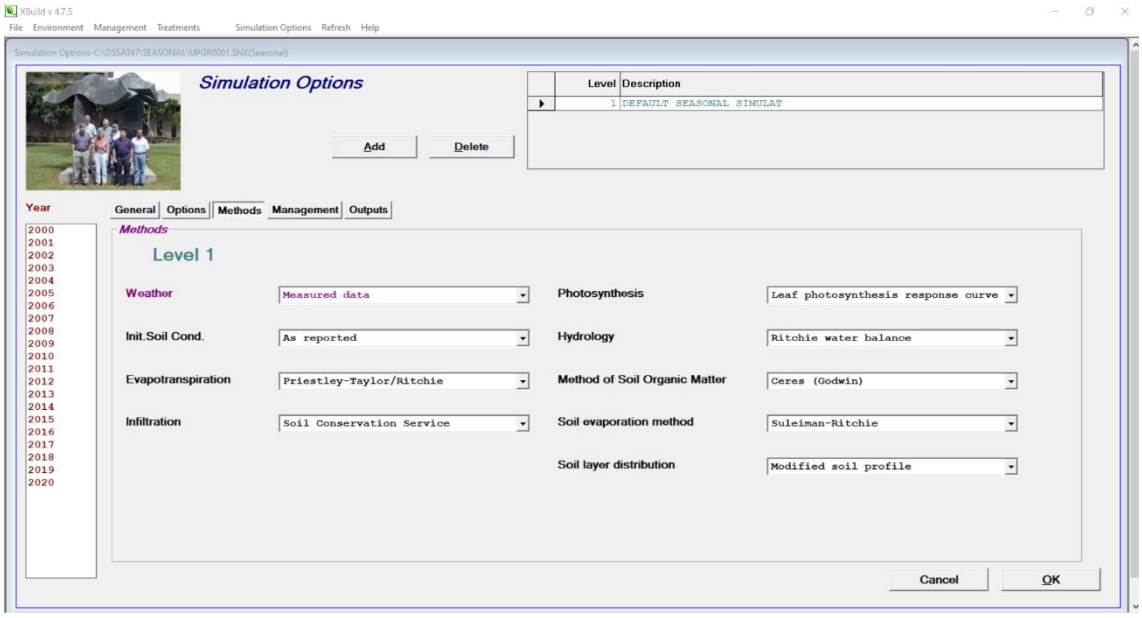

Figura 38. Métodos elegidos de las simulaciones de la plataforma del DSSAT.

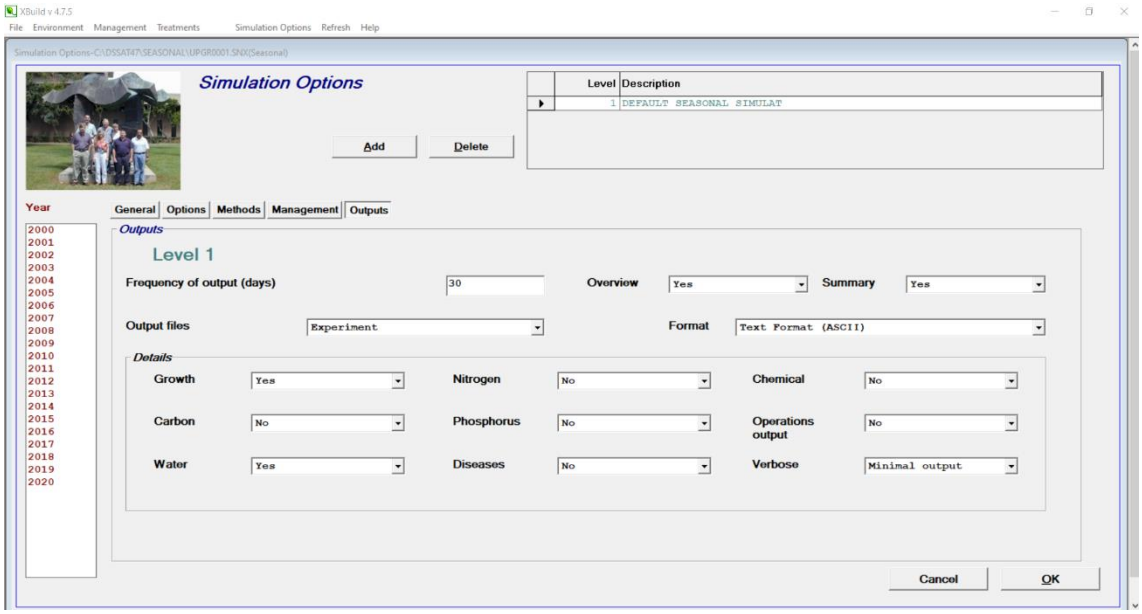

Figura 39. Outputs de las simulaciones de la plataforma del DSSAT.

Una vez que hemos metido todos los datos necesarios de clima, suelo, cultivares, tratamientos, fechas de siembra, comenzamos a simular dando a run en el programa de DSSAT v4.7.5, con el fin de obtener el análisis de la antesis, la evapotranspiración total (mm), el nitrógeno contenido en grano del trigo (kg/ha), el índice de cosecha, el rendimiento de la cosecha Ypot-teórico (kg/ha), el Indice de Área Foliar (IAF ó LAI) y la madurez, de los dos tratamientos realizados.

Todos resultados de todos los análisis del DSSAT v4.7.5 de las 5 zonas de estudio, Zamora, Albacete, Ciudad Real, Toledo y Granada se encuentran en el ANEXO V del presente trabajo.

Resultados de forma resumida de la plataforma del DSSAT v4.7.5:

Provincia	Cultivar	Antesis (días)	ET total (mm)	N grano (kg/ha)	Índice de cosecha	Ypot-teórico (kg/ha)	IAF	Madurez (días)
Zamora	Nogal (Invierno)	147.4	399.6	52	0.35	2772.2	1.9	200
	Yecora (primavera)	143	400.4	54	0.45	3019.8	1.7	201
Albacete	Nogal (Invierno)	137	391.6	53.6	0.3	2933.8	2.4	182.6
	Yecora (primavera)	132.6	390.2	55.4	0.4	3168	2.2	183.4
Ciudad Real	Nogal (Invierno)	135.4	401.4	51.6	0.3	2761	2.3	180.8
	Yecora (primavera)	131.4	402.6	53.2	0.4	2976.6	2.1	181.6
Toledo	Nogal (Invierno)	130.4	393.2	53.7	0.3	2787.7	2.3	175.4
	Yecora (primavera)	125.9	393.3	55.9	0.4	3037.5	2.1	176.1
Granada	Nogal (Invierno)	126.6	391.2	58.8	0.4	3244.6	2.5	173.8
	Yecora (primavera)	127	387.8	60.2	0.4	3494.4	2.3	174.4

Tabla 17. Resultados de forma resumida de la plataforma del DSSAT 4.7.5

Provincia	Cultivar	Ypot-teórico (kg/ha)	SD	Ypot-teórico max (kg/ha)	Ypot-teórico min (kg/ha)
Zamora	Nogal (Invierno)	2772.2	601.5	3502	2163
	Yecora (primavera)	3019.8	616.8	3842	2441
Albacete	Nogal (Invierno)	2933.8	521.8	3454	2164
	Yecora (primavera)	3168	547.8	3636	2337
Ciudad Real	Nogal (Invierno)	2761	215.4	3077	2568
	Yecora (primavera)	2976.6	273.7	3385	2712
Toledo	Nogal (Invierno)	2787.7	591.1	4127	2067
	Yecora (primavera)	3037.5	648.3	4468	2223
Granada	Nogal (Invierno)	3244.6	708.7	4460	2651
	Yecora (primavera)	3494.4	720.6	4714	2809

Tabla 18. Rendimientos potenciales teóricos medios, máximos y mínimos de los resultados obtenidos de la plataforma del DSSAT.

Tipos de rendimientos en (kg/ha) de cada zona de estudio:

	Tipos de rendimientos (kg/ha)					
Provincia	**FY**	**FY Agroseguro (AC)**	**FY Agroseguro (AE)**	**Yrecord (Ymax)**	**Ypot-teórico**	**PY**
Zamora	2620	3570	3287	4245	2772	3627
Albacete	1668	1902	1353	2550	2933	3627
Ciudad Real	1719	1785	1486	3140	2761	3632
Toledo	1767	2400	2143	3239	2787	2879
Granada	1491	1933	1740	2840	3244	-

Tabla 19. Tipos de rendimientos en (kg/ha) de cada zona de estudio. Fuente: Elaboración propia.

Resultados gráficos de los tipos de rendimientos en (kg/ha) de cada zona de estudio.

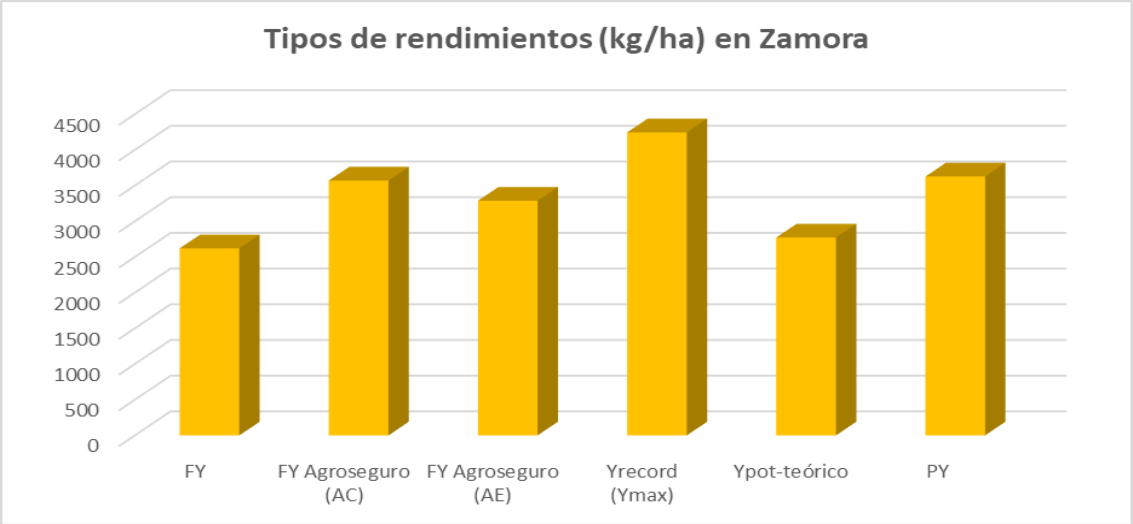

Figura 40. Resultados gráficos de los tipos de rendimientos en (kg/ha) en Zamora. Fuente: Elaboración propia.

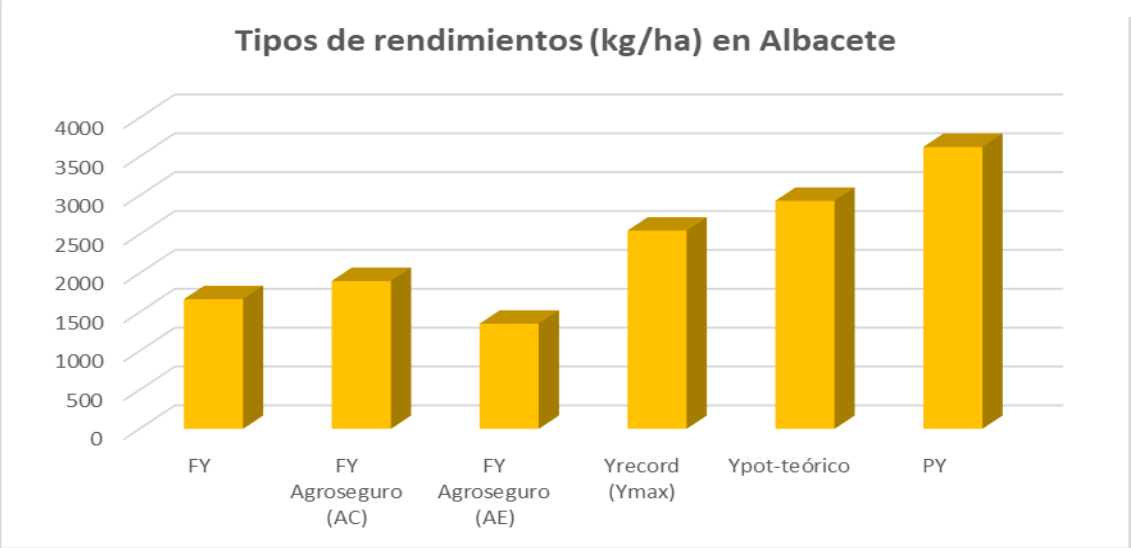

Figura 41. Resultados gráficos de los tipos de rendimientos en (kg/ha) en Albacete. Fuente: Elaboración propia.

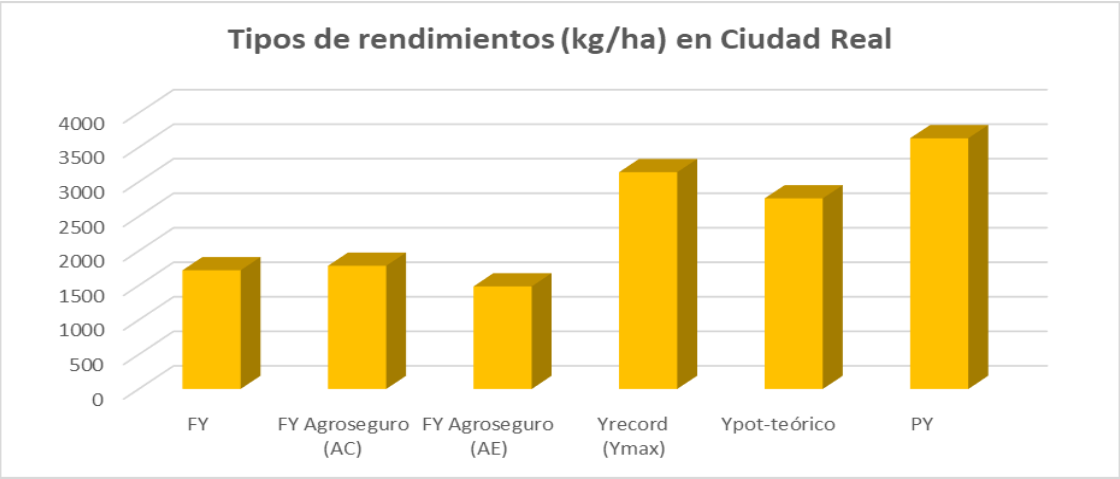

Figura 42. Resultados gráficos de los tipos de rendimientos en (kg/ha) en Ciudad Real. Fuente: Elaboración propia.

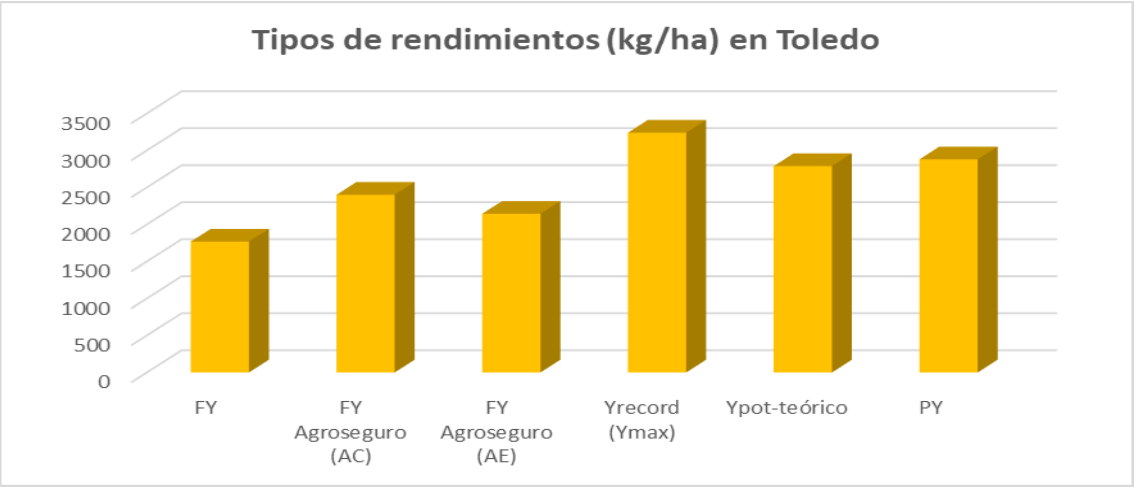

Figura 43. Resultados gráficos de los tipos de rendimientos en (kg/ha) en Toledo. Fuente: Elaboración propia.

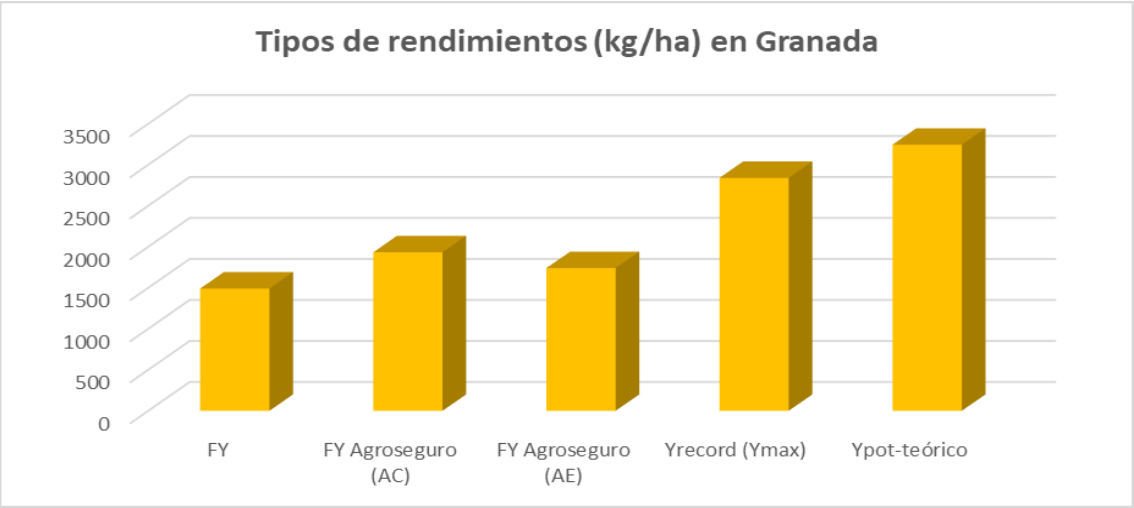

Figura 44. Resultados gráficos de los tipos de rendimientos en (kg/ha) en Granada. Fuente: Elaboración propia.

En Granada no hay datos de rendimientos PY debido a que no se realizaron ensayos de GENVCE en Andalucía.

Hay cuatro tipos de brechas de estudio en este trabajo:

- Brecha 1: PY - FY
- Brecha 2: PY - FY Agroseguro (AC)
- Brecha 3: PY – FY Agroseguro (AE)
- Brecha 4: FY Agroseguro (AC) – FY Agroseguro (AE)

Cálculo de las brechas:

Brecha 1	PY - FY
Brecha 2	PY - FY Agroseguro (AC)
Brecha 3	PY - FY Agroseguro (AE)
Brecha 4	FY Agroseguro (AC) - FY Agroseguro (AE)

Tabla 20. Cálculo de los tipos de brechas. Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de las simulaciones del programa de DSSAT v4.7.5 muestran que al no estar calibrado ni validado el modelo de simulación CERES Wheat, ya que calibra las simulaciones con N-Wheat, en el que se obtiene de esta forma una fracción crítica de agua disponible, es por ello que está dando rendimientos más bajos que los que se esperaban, a causa de esto se ha decidido no estimarlo en las brechas correspondientes.

Los cálculos de las brechas son:

Provincia	Brecha 1	Brecha 2	Brecha 3	Brecha 4
Zamora	1007	57	340	283
Albacete	1959	1725	2274	549
Ciudad Real	1913	1847	2146	299
Toledo	1112	479	736	257
Granada	-	-	-	193

Tabla 21. Cálculos de los tipos de brechas de rendimientos. Fuente: Elaboración propia.

Granada no tiene brechas, ya que no hay datos de rendimientos PY debido a que no se realizaron ensayos de GENVCE en Andalucía.

PY-FY es la diferencia explotable entre el rendimiento potencial y el rendimiento real, cuantos más se acerquen las brechas al PY, más difícil será obtener incrementos en los rendimientos, ya que, se trata de agricultura intensiva, que es cuando los rendimientos de explotación FY están muy cerca de los rendimientos potenciales.

La brecha 1 entre el rendimiento potencial (PY) y rendimiento de explotación (FY) se estima que los rendimientos de explotación obtenidos por los sistemas agrícolas de los cultivos de trigo serían como máximo del 80% del rendimiento potencial, debido a restricciones bióticas y abióticas de los sistemas agrícolas, así como el de unas prácticas de manejo deficientes, pero en rendimientos reales de explotación (FY) en los sistemas

de secano suelen ser del 50% del rendimiento potencial, lo que sugiere amplio margen de mejora mediante buenas prácticas agrícola (BPA).

Como se puede observar en la tabla 21 de los cálculos de los tipos de brechas de rendimientos, la brecha que nos puede llamar más la atención es la brecha 2 en la provincia de Zamora, esto se debe principalmente en que tiene un rendimiento en explotación de Agroseguro en agricultura convencional muy alto, siendo este de 3570 kg/ha, acercándose considerablemente al rendimiento potencial de Zamora con un rendimiento de 3627 kg/ha.

La zona de estudio que tiene mayores rendimiento de FY, FY Agroseguro (AC), FY Agroseguro (AE), Yrecord y PY es la provincia de Zamora, esto posiblemente se deba a que es un zona con unas temperaturas medias más bajas del resto de las zonas de estudio y con las temperatura máximas inferiores respecto de las otras zonas de estudio, Albacete, Ciudad Real, Toledo y Granada, por lo que el periodo de llenado del grano de trigo se realiza en mejores condiciones, ya que cuanto menores sean las temperaturas menor será el estrés térmico del llenado del grano del trigo. Los rendimientos altos esta correlacionado con días de llenado de grano.

Ypot-teórico es el resultado de los rendimientos obtenidos en las simulaciones con CERES-Wheat de DSSAT v4.7.5, y los resultados de estas simulaciones muestran la necesidad de realizar las calibraciones porque los rendimientos que aparecen son menores que los PY de los ensayos de campo.

También hay que tener en cuenta que las simulaciones de DSSAT v4.7.5 dan los rendimientos en grano sin humedad y que los rendimientos de las estadísticas suelen tener un 12 % de humedad para cultivos de trigo. Lo que si se podría decir que el agua almacenada en el perfil del suelo es de gran importancia en la generación y posterior definición de los rendimientos de los cultivos de trigo.

Los rendimientos en explotación FY Agroseguro son considerablemente mayores en agricultura convencional (AC) que en agricultura ecológica (AE), esto posiblemente se deba a las prácticas de manejo llevadas a cabo en campo, ya que, la agricultura convencional intensifica todo lo posible su producción en campo con el fin de obtener los mayores rendimientos posibles, en cambio la producción de agricultura ecológica suele ser por término general menos intensiva, es por ello que presentan menores rendimientos en sus explotaciones agrícolas.

El cultivar de primavera, Yecora, obtiene mayores rendimientos en las 5 zonas de estudio (Zamora, Albacete, Ciudad Real, Toledo y Granada), que el cultivar de invierno Nogal, esto puede ser debido principalmente a que el cultivar de primavera de Yecora realiza la antesis de casi todas las zonas de estudio, Zamora, Albacete, Ciudad Real y Toledo 4 días antes que el cultivar de Córdoba, salvo en Granada que realiza la antesis un día después.

El índice de cosecha es mayor en el cultivar de primavera Yecora que en el cultivar de invierno Nogal en todas las zonas de estudio, salvo en Granada que es igual, por tanto, se podría decir que un índice de cosecha mayor está relacionado con mayores rendimientos potenciales, aunque en este caso sean rendimientos potenciales teóricos, ya que se han obtenido de simulaciones en el DSSAT v4.7.5.

El nitrógeno en grano es mayor en todos los análisis en el cultivar de primavera de Yecora respecto al cultivar de invierno Nogal, de esto se puede deducir que un cultivar que no necesita de vernalización concentra mejor su nitrógeno en grano, en este caso en el grano del trigo.

5. CONCLUSIONES

- Las zonas de estudio de este trabajo que tienen mayores rendimientos de forma general son zonas que tienen menor temperatura y mejores condiciones de pluviometría, como era de esperar. Esto se asocia generalmente con mejores condiciones ambientales (térmicas e hídricas) durante el llenado del grano, menor estrés térmico durante el llenado de grano y una menor tasa de desarrollo que hace que se alargue esa fase de desarrollo.

- La brecha entre los rendimientos potenciales en secano (PY) logrados en los ensayos de GENVCE y los rendimientos de explotación (FY) es frecuentemente muy elevado en la mayoría de las condiciones.

- Los rendimientos potenciales en secano PY obtenidos en este trabajo están alrededor de 3600 kg/ha.

- Los rendimientos de explotación FY están entre valores de 1500-2600 kg/ha aproximadamente.

- Los rendimientos FY Agroseguro en agricultura convencional (FY Agroseguro AC) tienen valores entre 1900-3500 kg/ha aproximadamente.

- Los rendimientos FY Agroseguro en agricultura ecológica (FY Agroseguro AE) tienen valores entre 1700 y 3200 kg/ha, siendo esta brecha importante para Agroseguro porque orienta sobre los rendimientos alcanzables por sistema de producción.

- La brecha 1 (PY - FY): diferencia entre los rendimientos potenciales en secano (PY) con unos valores de alrededor de 1000-2000 kg/ha. Esta elevada brecha se podría disminuir mejorando el manejo del cultivo y /o cambiando la variedad.

- La brecha 3 (PY - FY Agroseguro AE): diferencia entre los rendimientos potenciales en secano (PY) y los rendimientos de explotación de Agroseguro en Agricultura ecológica (FY Agroseguro AE), es la segunda brecha con mayores diferencias de rendimientos con unos valores de 300 a 2000 kg/ha.

- La brecha 2 (PY - FY Agroseguro AC): diferencia entre los rendimientos potenciales en secano (PY) de los rendimientos de explotación de Agroseguro en agricultura convencional (FY Agroseguro AC), es la tercera brecha con mayores diferencias de rendimientos con unos valores alrededor de 50-1850 kg/ha.

- La brecha 4 (FY Agroseguro AC - FY Agroseguro AE) tiene los rendimientos de Agroseguro en Agricultura convencional mayores en todas las zonas de estudio de este trabajo respecto a los rendimientos de Agroseguro en agricultura ecológica.

- Las provincias que se han podido realizar comparativas de los tipos de brechas son las de Zamora, Albacete y Ciudad Real. Siendo la provincia de Zamora la zona que tiene mayores rendimientos en secano de PY, FY, FY Agroseguro en AC y AE ya que, es la provincia con menores diferencias de explotación en sus 4 tipos de brechas. Seguida de la provincia de Ciudad Real donde las diferencias de brechas son menores en la Brecha 1, Brecha 3 y Brecha 4, salvo la brecha 2 que es un poco mayor en Albacete.

- Los rendimientos Ypot –teórico obtenidos de las simulaciones del DSSAT v4.7.5, han resultado ser más bajos que los rendimientos potenciales en secano (PY), por lo que se concluye que se requiere una calibración específica más allá de la realizada para obtener los coeficientes de cultivo.

- En este trabajo se determina como las zonas con temperaturas más bajas tienen las brechas de rendimientos menores, siendo el cultivar de trigo también importante en la obtención de mayores rendimientos, ya que, cuando antes sea la antesis, mayor nitrógeno contenido en el grano y mayor índice de cosecha, mayores serán los rendimientos de cultivos de trigo.

BIBLIOGRAFÍA:

Abbate, P. E., Andrade, F. H., &Culot, J. P. (1995). Theeffects of radiation and nitrogenonnumber of grains in wheat. *TheJournal of AgriculturalScience*, *124*(3), 351-360.

Abeledo L.G., Savin, R., Slafer, G.A., (2008). Wheat productivity in the Mediterranean Ebro Valley: Analyzing the gap between attainable and potential yield with a simulation model. EuropeanJournal of Agronomy 28, 541-550.

Acreche, M, Slafer, GA (2006). Grain weight response to increases in number of grains in wheat in a Mediterranean area. Field CropsResearch 98, 52–59.

Agroseguro:

- SEGUROS AGRÍCOLAS - CONDICIONES GENERALES

https://agroseguro.es/fileadmin/propietario/Productos/AGRICOLAS/309%20CULTIVO%20HERBACEOS%20EXTENSIVOS/PLAN_2021/CGA-000-00-3.0.pdf

- SEGURO DE EXPLOTACIONES DE CULTIVOS HERBÁCEOS EXTENSIVOS - CONDICIONES ESPECIALES

https://agroseguro.es/fileadmin/propietario/Productos/AGRICOLAS/309%20CULTIVO%20HERBACEOS%20EXTENSIVOS/PLAN_2021/CES-309-21-1.0.pdf

- ANEXO I – RIESGOS CUBIERTOS Y CONDICIONES DE COBERTURAS

https://agroseguro.es/fileadmin/propietario/Productos/AGRICOLAS/309%20CULTIVO%20HERBACEOS%20EXTENSIVOS/PLAN_2021/MODULO_1.pdf

Anderson, W. K. (2010). Closing the gap between actual and potential yield of rainfed wheat. The impacts of environment, management and cultivar. *Field Crops Research*, *116*(1-2), 14-22.

Asseng, S., Keating, BA, Fillery, IRP, Gregory, PJ, Bowden, J.W., Turner, NC, Abrecht, DG (1998). Desempeño de laModelo APSIM-trigo en Australia Occidental.Investigación de cultivos extensivos,57(2), 163–179.

Barnabás B, Jagër K, Fehér, A (2008). The effect of drought and heat stress on reproductive processes in cereals. Plant, Cell and Environment 31, 11–38.

BOE. (2001). Real Decreto 4/2001, de 12 de enero, por el que se establece un régimen de ayudas a la utilización de métodos de producción agraria compatibles con el medio ambiente.

BOE. (2022). Real Decreto 47/2022, de 18 de enero, sobre protección de las aguas contra la contaminación difusa producida por los nitratos procedentes de fuentes agrarias.

BOE. (1989). Ley 4/1989, de 27 de marzo, de Conservación de los Espacios Naturales y de la Flora y Fauna Silvestres.

BOE. (2002). Real decreto 1201/2002, de 20 de Noviembre, por el que se Regula la Producción Integrada de Productos Agrícolas.

Borras L, Slafer GA, Otegui ME (2004). Seed dry weight response to source-sink manipulations in wheat, maize and soybean: a quantitative reappraisal. Field CropsResearch 86, 131-146.

Calderini D.F., Ortiz-Monasterio I. 2003. Grain position affects macro and micronutrient grain concentrations in cultivars and synthetic hexaploid wheats. CropSci. 43: 141- 151.

Calderini, DF, Reynolds, MP, Slafer, GA (2006). Source-sink effects on grain weight of bread wheat, durum wheat and triticale at different locations. AustralianJournal of AgriculturalResearch 57, 227-233.

Cassman, KG, Grassini, P. y van Wart, J. (2010). Potencial de rendimiento de cultivos, tendencias de rendimiento y seguridad alimentaria mundial en un clima cambiante. Manual de cambio climático y agroecosistemas. Imperial CollegePress, Londres, 37-51.

Coventry, S.J., Barr, A.R., Eglinton, J.K., McDonald, G.K. 2003. The determinants and genome locations influencing grain weight and size in barley (Hordeumvulgare L.). Aust J Agric Res. 54:1103-1115.

Egli, D.B. 1998. Seed Biology and the Yield of Grain Crops. CAB Int., Wallingford, UK, 178 p.

EUROPEA, U. Real Decreto 1997/1995, de 7 de diciembre, por el que se establecen medidas para contribuir a garantizar la biodiversidad mediante la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres.

Europea, U. (2018). Reglamento (UE) 2018/848 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 30 de mayo de 2018, sobre producción ecológica y etiquetado de los productos ecológicos y por el que se deroga el Reglamento (CE) no 834/2007 del Consejo. Diario Oficial de la Unión Europea L, 150, 1-92.

Evans, L. T., & Fischer, R. A. (1999). Yieldpotential: itsdefinition, measurement, and significance. *Cropscience*, *39*(6), 1544-1551.

Fischer, R. A. (1985). Number of kernels in wheatcrops and theinfluence of solar radiation and temperature. *TheJournal of AgriculturalScience*, *105*(2), 447-461.

Fischer, R. A., Byerlee, D., & Edmeades, G. (2014). Crop yields and global food security. *ACIAR: Canberra, ACT*, 8-11.

Gerster, G., &Bacigaluppo, S. (2007). Aportes del trigo a la sustentabilidad del sistema. *Para mejorar la producción*, *34*, 8-11.

González, F.G., Slafer, G.A., Miralles, D.J. (2005). Floret development and survival in wheat plants exposed to contrasting photoperiod and radiation environments during stem elongation. FunctionalPlantBiology 32, 189-197.

Hedo, E. B. (2011). Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados.(BOE núm. 181, de 29 de julio de 2011). *Actualidad Jurídica Ambiental*, (5), 13-15.

Hedo, E. B. (2014). Real Decreto 833/2014, de 3 de octubre, por el que se establece y regula el Registro General de Operadores Ecológicos y se crea la Mesa de coordinación de la producción ecológica.(BOE núm. 252, de 17 de octubre de 2014). Actualidad Jurídica Ambiental, (40), 61-62.

Hoogenboom, G., Jones, J. W., Traore, P., & Boote, K. J. (2012). Experiments and data for model evaluation and application. In Improving soil fertility recommendations in Africa using the Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT) (pp. 9-18). Springer, Dordrecht.

van Ittersum, M. K., & Rabbinge, R. (1997). Concepts in production ecology for analysis and quantification of agricultural input-output combinations. *Field crops research*, *52*(3), 197-208.

Jenner CF, Ugalde DT, Aspinall D (1991). The physiology of starch and protein deposition in the endosperm of wheat. AustralianJournal of PlantPhysiology 18, 211-226.

Jones, J. W., Hoogenboom, G., Porter, C. H., Boote, K. J., Batchelor, W. D., Hunt, L. A., Ritchie, J. T. (2003). The DSSAT cropping system model. European journal of agronomy, 18(3-4), 235-265.

Kassie, B. T., Asseng, S., Porter, C. H., & Royce, F. S. (2016). Performance of DSSAT-Nwheat across a wide range of current and future growing conditions. European Journal of Agronomy, 81, 27-36.

Levy, J., & Peterson, M. L. (1972). Responses of Spring Wheats to Vernalization and Photoperiod 1. *CropScience*, *12*(4), 487-490.

Lobell, D., Cassman, K., Field, C., 2009. Crop Yield Gaps: Their Importance, Magnitudes and Causes. The Annual Review of Environment and Resources 34, 179-204.

Loomis, R. S., & Connor, D. J. (2002). Ecología de cultivos. Ed. Mundi-Prensa, Madrid, España.

MAPA:

https://www.mapa.gob.es/es/alimentacion/temas/produccion-eco/default.aspx

Piggin, CM (2014). Rendimiento de los cultivos y seguridad alimentaria mundial: ¿Seguirá aumentando el rendimiento para alimentar al mundo?, por Tony Fischer, Derek Byerlee y Greg Edmeades. XXII+ 634 págs. Canberra: Centro Australiano para la Investigación Agrícola Internacional, ACIAR Monografía No. 158–ISBN 978 1 925133 05 9 [imprimir], ISBN 978 1 925133 06 6 [pdf]. A $ 85.00 (IVA incluido). *La Revista de Ciencias Agrícolas* , *152* (6), 1012-1012.

Marshall, D.R., Mares D.J., Moss H.J., Ellison F.W. 1986. Effects of grain shape and size on milling yields in wheat II. Experimental StudiesAust. J. Agric. Res.37:331-42.

Ruiz-Ramos M, Rodríguez A, 2019. Estudio de la adaptación local al cambio climático de los cultivos de trigo y cebada en España. Jornada Proyecto INFOADAPTA-AGRI II, 11 Junio 2019, Madrid, España

Sadras, V.O. (2007). Evolutionary aspects of the trade-off between seed size and number in crops. Field CropsResearch 100, 125-138.

Savin R, Nicolas ME (1999). Effects of timing of heat stress and drought on grain growth and malting quality of barley. AustralianJournal of AgriculturalResearch 50, 357-364.

Savin R., Prystupa, P, Araus, JL (2006). Hordein composition as affected by post-anthesis source-sink ratio under different nitrogen availabilities. Journal of Cereal Science 44, 113-116.

Savin, R. (2010). Estrés abiótico y calidad en cereales de invierno. In: Avances en ecofisiología de cultivos de granos. Editors: Miralles, D.J.; Aguirrezábal L.N., Otegui, M.E., Kruk, B.C. & Izquierdo N. Editorial Facultad de Agronomía, UBA, Buenos Aires, Argentina, pp 201-210, ISBN: 978-950-29-1215-8.

Schils, R., Olesen, JE, Kersebaum, KC, Rijk, B., Oberforster, M., Kalyada, V., ... & van Ittersum, MK (2018). Brechas de rendimiento de cereales en toda Europa. *Revista Europea de Agronomía , 101* , 109-120.

Shearman, V. J., Sylvester-Bradley, R., Scott, R. K., &Foulkes, M. J. (2005). Physiologicalprocessesassociatedwithwheatyieldprogress in the UK. *Cropscience*, *45*(1), 175-185.

Slafer GA (2003). Genetic basis of yield as viewed from a crop physiologist's perspective. Annals of AppliedBiology 142, 117-128.

Slafer, G. A., Satorre, E. H., & Andrade, F. H. (2021). Increases in GrainYieid in Bread WheatfromBreeding and AssociatedPhysiologicalChanges. In *Geneticimprovement of fieldcrops* (pp. 1-68). CRC Press.

Sofield I, Evans LT, Cook MG, Wardlaw IF (1977). Factors influencing the rate and duration of grain filling in wheat. AustralianJournal of PlantPhysiology 4, 785-797.

Thorp, K. R., Hunsaker, D. J., French, A. N., White, J. W., Clarke, T. R., & Pinter Jr, P. J. (2010). Evaluation of the CSM-CROPSIM-CERES-Wheat model as a tool for crop water management. Transactions of the ASABE, 53(1), 87-102.

Van Ittersum, M.K., Rabbinge, R., 1997. Concepts in production ecology for analysis and quantification of agricultural input-output combination. Field Crop Res. 52, 197-208.

Wang, E., & Engel, T. (1998). Simulation of phenological development of wheat crops. Agricultural systems, 58(1), 1-24.

Wardlaw IF, Wrigley CW (1994). Heat tolerance in temperate cereals: an overview. AustralianJournal of PlantPhysiology 21, 695-703.

ANEXO I

Según el REAL DECRETO 1201/2002, de 20 de noviembre, por el que se regula la producción integrada de productos agrícolas, expresa:

"La obtención por los agricultores de productos agrícolas de calidad y saludables para el consumidor, mediante el empleo de prácticas de cultivo que respeten el medio ambiente, debe ser un objetivo prioritario de la agricultura moderna. La utilización de métodos que, teniendo en cuenta las exigencias de la sociedad, la rentabilidad del cultivo y la protección del medio ambiente, disminuyan el uso de productos químicos y permitan obtener producciones agrícolas de alta calidad, es una exigencia en la modernización de la agricultura. Estos objetivos pueden alcanzarse mediante las técnicas de manejo integrado."

"El Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, mediante las Órdenes de 26 de julio de 1983 y de 17 de noviembre de 1989, y las diferentes Comunidades Autónomas han promocionado la aplicación de técnicas de cultivo que se aproximan a la lucha integrada mediante la creación de agrupaciones para tratamientos integrados en agricultura y otros tipos de agrupaciones de agricultores. La lucha contra plagas en estas agrupaciones al emplear prioritariamente métodos respetuosos con el medio ambiente, reduciendo el uso de productos químicos, ha permitido adquirir la experiencia necesaria y establecer las bases para la elaboración de las normas de producción que se prevén en este Real Decreto."

"Las producciones agrícolas obtenidas con dichas técnicas se alinean con los principios generales de la producción integrada, ya que su aplicación implica un mayor respeto al equilibrio de los ecosistemas, reduce contaminaciones innecesarias en el aire, el agua y el suelo, y permite que los productos agrícolas tengan la menor cantidad posible de residuos químicos indeseables. Por consiguiente, existe la necesidad de diferenciar los productos agrícolas obtenidos mediante sistemas de producción integrada, de garantizar sus características y de informar al consumidor sobre ellas, debido a su valor añadido en los mercados, lo que aconseja regular el uso de los distintivos —etiquetas o marcas de garantía— en los productos así obtenidos."

"Asimismo, es preciso regular el empleo de identificaciones de garantía en los productos agrícolas transformados obtenidos bajo condiciones de producción integrada, cumpliendo para ello determinados requisitos. En esta norma, sin perjuicio de otras disposiciones que en su caso regulen la producción, elaboración, comercialización, etiquetado y control de los productos vegetales, se establecen los requisitos generales que deben cumplir los operadores que quieran acogerse a este tipo de producción y hacer uso del distintivo de garantía, y las reglas generales válidas para las explotaciones agrícolas correspondientes."

El presente Real Decreto 1201/2002, de 20 de noviembre dispone de los siguientes aspectos agronómicos generales:

- Obligatorias:

  - "El momento y la intensidad de las operaciones culturales deben minimizar los posibles impactos ambientales."

  - "En cultivos anuales, siempre que sea posible, deberá establecerse un programa de rotación de cultivos de, al menos, tres hojas. Deberá justificarse la no aplicación del programa."

  - "En cultivos perennes, el sistema de cultivo, incluyendo el sistema de formación, debe respetar el estado fisiológico óptimo de las plantas."

  - "En los cultivos sin suelo deberá disponerse de instalaciones que permitan la recirculación de los lixiviados, salvo autorización que incluya plazos determinados para su plena disposición y siempre que sea agronómicamente aconsejable."

  - "Los substratos inertes deberán ser adecuadamente reciclados, siempre que sea agronómicamente aconsejable."

  - La retirada para su reciclado o vertido controlado de plásticos de acolchado o de cubiertas de plástico

- Prohibidas:

  - "El abandono de restos plásticos, envases y otros residuos en el interior o lindes de la parcela."

  - "La quema de restos vegetales, salvo cuando sea expresamente recomendada por la autoridad competente."

En cuanto a suelo, preparación del terreno y laboreo, el Real Decreto 1201/2002, de 20 de noviembre, dispone:

- Obligatorias:

  - Mantener y mejorar la fertilidad del suelo mediante:

    1. "La definición del nivel óptimo de humus de acuerdo con las características de la localidad y su mantenimiento mediante las medidas adecuadas."

    2. "El mantenimiento de la biodiversidad del agrosistema."

3. “La optimización de las propiedades biofísicas del suelo para evitar la compactación (p. e. tamaño de los agregados y estabilidad estructural, conductividad hidráulica, etc.).”

4. “El mantenimiento de la protección del suelo durante el mayor tiempo posible mediante una cubierta vegetal cultivada o no.”

5. “La mínima perturbación física o química del suelo”

- “Eliminar las malas hierbas y restos vegetales de cultivos anteriores en la forma adecuada y con la suficiente antelación con respecto al cultivo siguiente, pudiendo quedar sus restos sobre el suelo cuando no representen un riesgo de transmisión de plagas o enfermedades de los vegetales, o en la agricultura de conservación.”

- “Las labores se realizarán respetando al máximo la estructura del suelo y, a ser posible, sin volteo. Se evitarán las escorrentías y los encharcamientos. Así mismo se tendrá en cuenta la pendiente del terreno para la adecuada conservación del suelo adaptando las dimensiones y características de las obras de conservación (terrazas, bancales, lomas) con el fin de evitar fenómenos de erosión.”

- Prohibidas:

  - “Desinfección del suelo mediante tratamientos químicos, salvo casos técnicamente justificados y autorizados por el organismo oficial correspondiente. Las autorizaciones podrán establecerse también para una determinada zona o región.”

  - “La utilización sistemática de aperos que destruyan la estructura del suelo y propicien la formación de suelo de labor.”

Siembra/Plantación:

- Obligatorias:

  - “Emplear material vegetal procedente de productores oficialmente autorizados y, en su caso, certificados y con el correspondiente pasaporte fitosanitario.

  - “Utilizar semillas debidamente desinfectadas cuando esta práctica pueda evitar enfermedades posteriores.”

  - “Emplear, si existen, cultivares resistente o tolerantes a alguna de las enfermedades importantes de la especie y adaptados a las condiciones locales.”

- “En cultivos de hortícolas, la siembra o transplante se efectuará, como mínimo, una semana después de arrancar el cultivo precedente y realizar las labores de preparación del terreno.”

- “Eliminar previamente todo el material vegetal que presente síntomas de enfermedad o un desarrollo anormal.”

- “En plantaciones de cultivos leñosos, los patrones se adaptarán a las condiciones edáficas y no serán sensibles a las fisiopatías habituales.”

- “En parcelas establecidas de cultivos leñosos, para incorporarse al programa de producción integrada, se deberá controlar previamente la incidencia de virosis o problemas fúngicos.”

- El material de plantación, la densidad de plantación, el momento y la dosis de siembra, rotaciones, marco de plantación y posibilidad de asociación con otros cultivos, se adaptarán a las condiciones locales.

❖ Prohibidas:

- “Cuando se trate de cultivos bajo abrigo, la asociación de cultivos en el mismo invernadero, salvo que dicha asociación presente efectos agronómicamente favorables.”

- “El uso de patrones, combinaciones injerto-patrón o variedades especialmente sensibles a determinadas enfermedades de especial incidencia o relevancia.”

- “La asociación de especies diferentes de cultivos leñosos, cuando sean incompatibles con los requisitos de la producción integrada.”

Fertilización y enmiendas:

❖ Obligatorias:

- “El suministro de nutrientes se efectuará fundamentalmente a través del suelo.”

- “Para los macronutrientes se realizará y aplicará un programa de fertilización para cada cultivo y unidad de cultivo y un programa general de fertilización para toda la rotación potenciando la aportación de fertilizantes naturales y reduciendo los químicos de síntesis.”

- “En la programación habrá de tenerse en cuenta que los fertilizantes provenientes del exterior (aguas, materia orgánica, fertilización directa) deben compensar las extracciones de las cosechas y las pérdidas técnicas.”

- “La base para estimar las necesidades de macronutrientes, excepto el nitrógeno, será el análisis físico-químico del suelo, que se realizará al integrarse la parcela al sistema de producción integrada y, al menos, uno cada cinco años. El programa determinará las épocas y forma de aplicación adecuada para minimizar las perdidas por lixiviación, erosión, etc.”

- “Cuando se aporte materia orgánica u otras materias con valor fertilizante, el aporte deberá contener la mínima cantidad de metales pesados, patógenos u otros productos tóxicos que sea técnicamente posible, sin exceder los límites legales establecidos. Será obligatorio al menos mantener el nivel de materia orgánica del suelo.”

- “Respecto al nitrógeno, deberá definirse para cada cultivo y en función del tipo de suelo (textura y contenido en materia orgánica) la máxima cantidad de nitrógeno aplicado, y de forma orientativa el momento de cada aplicación, dosis y formula del fertilizante.”

- “Los oligoelementos sólo se aplicarán cuando un análisis previo determine su insuficiencia.”

- “Deberán realizarse las enmiendas necesarias siempre que el pH del suelo se aparte sustancialmente del valor aceptado como óptimo para el cultivo, o cuando las características físicas o químicas del suelo así lo aconsejen. Los purines y demás residuos semilíquidos de explotaciones ganaderas aportados al suelo deberán ser previamente tratados por alguno o varios de los sistemas conocidos.”

- “Se realizará un seguimiento analítico al cultivo (hojas, frutos, etc.) para comprobar que el programa de fertilización adoptado es el adecuado o, en otro caso, para su corrección.”

- Prohibidas:

  - “Superar la cantidad máxima tolerable por hectárea y año de nitrógeno total, así como los límites que se fijen de metales pesados, de patógenos y de otros productos tóxicos.”

  - “Realizar aplicaciones de nitrógeno nítrico en los márgenes de las parcelas lindantes a corrientes de agua.”

Poda:

- Obligatorias:

  - “La poda se llevará a cabo con un planteamiento técnico, teniendo en cuenta los principios fundamentales que rigen dicha práctica, para maximizar su eficacia y rentabilidad.”

- “El sistema de poda de cultivos leñosos deberá respetar el estado fisiológico óptimo de la planta, permitir una buena aireación y penetración de la luz y de los tratamientos, y mantener una adecuada relación hoja/madera.”

- “El exceso de vigor se corregirá mediante prácticas culturales, además de la poda.”

- La poda en verde se realizará con instrumentos cortantes (tijeras, cuchillos, etc.).”

- “En la realización de la poda se deberán desinfectar los instrumentos de corte cuando se cambie de parcela o variedad.”

❖ Prohibidas:

- “Quema incontrolada de restos de poda.”

- “Abandono de los restos de poda en la parcela, salvo troceado o triturado de los mismos, desaconsejándose su incorporación al terreno mediante labores.”

Riego:

❖ Obligatorias:

- “Disponer de las características analíticas de la calidad del agua de riego (química y bacteriológica), al objeto de tomar decisión sobre su utilización.”

- “Tomar las medidas necesarias para evitar las pérdidas de agua.”

- Se establecerán los volúmenes anuales necesarios mediante el cálculo de las necesidades del cultivo, basándose en datos locales de la evapotranspiración calculada mediante los datos de la estación meteorológica más próxima.”

- “Los volúmenes máximos de cada riego se establecerán en función de la profundidad radicular, del estado hídrico y de las características físicas del suelo. A partir de valores de la conductividad intolerables que se establezcan para cada cultivo, se empleará una fracción de lavado complementaria a las dosis normales de riego.”

- “Para la programación de los riegos se seguirán métodos técnicamente aceptados.”

- “El sistema de riego deberá diseñarse para cada parcela.”

- “Deberán utilizarse técnicas de riego que garanticen la mayor eficiencia en el uso del agua y la optimización de los recursos hídricos, y para ello se tendrá en cuenta”:

    1. “En el riego por gravedad o inundación, la longitud de los surcos o de los tablares y su pendiente máxima se establecerán en función del volumen de riego necesario y de las condiciones hidráulicas y de permeabilidad del terreno.”

    2. “En el riego a presión, el valor del coeficiente de uniformidad (CU) estará comprendido entre los valores establecidos en función de la separación entre emisores y la pendiente del terreno.”

- “Deberá registrarse el agua de riego aplicada. En el caso de que dicho registro no fuese posible, se efectuará una estimación de la misma.”

❖ Prohibidas:

- “Utilización de aguas residuales sin la previa depuración.”

- “Utilización de aguas caracterizadas por parámetros de calidad intolerables para el cultivo, para el suelo o para la salud pública.”

Control integrado:

❖ Obligatorias:

- “En el control de plagas y enfermedades, se antepondrán los métodos biológicos, biotecnológicos, culturales, físicos y genéticos a los métodos químicos.”

- “La estimación del riesgo en cada parcela se hará mediante evaluaciones de los niveles poblacionales, estado de desarrollo de las plagas y fauna útil, fenología del cultivo y condiciones climáticas. En el caso de cultivos de carácter extensivo, se podrá establecer que la estimación de riesgo se realice en unidades territoriales homogéneas mayores a la de parcela.”

- “La aplicación de medidas directas de control de plagas sólo se efectuará cuando los niveles poblacionales o las condiciones ambientales superen los umbrales de intervención y, en el caso de enfermedades, cuando la estimación del riesgo lo indique.”

- “En el caso de resultar necesaria una intervención química, las materias activas a utilizar serán seleccionadas de acuerdo con los criterios de menor peligro para humanos, ganado y medioambiental y que proporcione un control

efectivo de la plaga, el patógeno o la mala hierba. En todo caso, sólo podrán utilizarse productos fitosanitarios inscritos en el Registro de Productos y Material Fitosanitario y aprobados expresamente para el cultivo en que se apliquen."

- "La presencia de residuos deberá minimizarse mediante la máxima ampliación posible de los plazos de seguridad."

- "Deberá protegerse la fauna auxiliar en general y en particular, al menos, dos especies cuya protección y aumento de sus poblaciones se considere prioritario para cada cultivo."

- "Las malas hierbas se controlarán, siempre que sea posible, con medios mecánicos, biológicos o aquellos que ofrezcan el menor riesgo de emisiones de CO2. En caso de que sea necesaria la aplicación de herbicidas, se efectuará mediante las técnicas recomendadas en la etiqueta del producto. Se emplearán materias activas autorizadas seleccionadas con los mismos criterios citados para los productos fitosanitarios."

- "En el caso de aplicaciones químicas, el aplicador deberá estar cualificado específicamente."

- "La maquinaria utilizada en la aplicación de productos fitosanitarios, herbicidas, abonados foliares, etc., deberá encontrarse en el adecuado estado de funcionamiento."

- "La maquinaria utilizada en los tratamientos fitosanitarios se someterá a revisión y calibrado periódico. La revisión se efectuará de conformidad con las disposiciones vigentes en la materia, al menos una vez cada cuatro años en un centro oficial o reconocido y todos los años por el productor."

- "Los volúmenes máximos de caldo y caudal de aire en los tratamientos fitosanitarios se ajustarán a los parámetros precisos, teniendo en cuenta el estado fenológico del cultivo para obtener la máxima eficacia con la menor dosis."

- "Además de las normas aquí establecidas, en todo caso deberán tenerse en cuenta para todos los cultivos los «Principios de buenas prácticas fitosanitarias» establecidas por la Organización Europea y Mediterránea para la Protección de las Plantas (OEPP) y las Directivas de dicha organización sobre la buena práctica fitosanitaria específicas para cada cultivo cuando dichas Directivas existan."

- Prohibidas:

  - “Utilización de calendarios de tratamientos.”

  - “Abandonar el control fitosanitario antes de la finalización del ciclo vegetativo del cultivo.”

  - “En hortícolas, utilización de herbicidas dentro del invernadero una vez implantado el cultivo.”

  - “Utilización de herbicidas residuales en suelos arenosos.”

  - “El empleo de productos fitosanitarios no selectivos, de larga persistencia, alta volatilidad, lixiviables o con otras características negativas.”

  - “El empleo de productos fitosanitarios en los márgenes de corrientes de agua.”

  - “Las aplicaciones de productos fitosanitarios en condiciones meteorológicamente desfavorables.”

Recolección:

- Obligatorias:

  - “La recolección se realizará en las fechas y condiciones adecuadas para evitar lesiones en los productosvegetales que reduzcan su calidad y propicien infecciones de patógenos causantes de podredumbre.”

  - “Se eliminarán los productos vegetales que presenten síntomas con presencia de patógenos causantes de podredumbres.”

  - “Los productos vegetales deberán recolectarse en un estado de madurez que permita alcanzar las exigencias de calidad comercial.”

  - “Los productos recolectados, hasta tanto no se envíen al almacén manipulador, se colocarán bajo techo o en condiciones que eviten la incidencia directa de los agentes atmosféricos y en un lugar con máxima ventilación.”

  - “Se tomarán muestras en el periodo de recolección y/o elaboración, para analizar la posible presencia de residuos de productos fitosanitarios y garantizar que se han utilizado exclusivamente las materias activas seleccionadas en la estrategia de protección integrada, y que se cumple con lo establecido en la legislación española en relación con los límites máximos de residuos de productos fitosanitarios.”

- “Para producciones dirigidas a otros mercados distintos del nacional, deberá verificarse que cumplen la legislación establecida en el lugar de destino, respecto al contenido de residuos.”

- Prohibidas:

  - “Efectuar la recolección cuando los productos vegetales estén mojados, salvo autorización expresa de la autoridad competente fundamentada en condiciones meteorológicas adversas.”

  - “Abandonar el destrío en la parcela si su presencia representa un riesgo para la propagación de plagas o enfermedades de los vegetales.”

ANEXO II:

El nuevo reglamento de Agricultura ecológica es: "REGLAMENTO (UE) 2018/848 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 30 de mayo de 2018 sobre producción ecológica y etiquetado de los productos ecológicos y por el que se deroga el Reglamento (CE) n.o 834/2007 del Consejo". Considerando lo siguiente

- "Habida cuenta de los objetivos de la política de la Unión en materia de producción ecológica, el marco jurídico establecido para la aplicación de dicha política debe tener por objetivo garantizar una competencia leal y un funcionamiento adecuado del mercado interior de los productos ecológicos, mantener y justificar la confianza del consumidor en los productos etiquetados como ecológicos, y crear las condiciones apropiadas para que esa política pueda progresar de acuerdo con la evolución de la producción y el mercado."

- "El sector de la agricultura ecológica se ha desarrollado rápidamente en la Unión en los últimos años, no solo en cuanto a la superficie utilizada, sino también en lo que se refiere al número global de explotaciones y de operadores ecológicos registrados en la Unión."

- "Teniendo en cuenta la rápida evolución del sector de la agricultura ecológica, el Reglamento (CE) n.o 834/2007 del Consejo (9) preveía la necesidad de proceder a una futura revisión de las normas de la Unión sobre producción ecológica en la que se tuviese en cuenta la experiencia adquirida con la aplicación de dichas normas. Los resultados de la revisión llevada a cabo por la Comisión muestran que el marco jurídico de la Unión que regula la producción ecológica debe mejorarse con normas que respondan a las elevadas expectativas de los consumidores y sean lo suficientemente claras para aquellos a quienes van dirigidas. Por consiguiente, el Reglamento (CE) n.o 834/2007 debe ser derogado y sustituido por un nuevo Reglamento."

- "El presente Reglamento debe proporcionar la base para el desarrollo sostenible de la producción ecológica y sus efectos positivos sobre el medio ambiente, garantizando al mismo tiempo el funcionamiento eficaz del mercado interior de productos ecológicos y una competencia leal, contribuyendo de este modo a que los agricultores obtengan una renta justa, garantizando la confianza de los consumidores, protegiendo los intereses de los consumidores y favoreciendo los circuitos cortos de distribución y las producciones locales. Estos objetivos deben alcanzarse mediante el cumplimiento de unos principios generales y específicos y de unas normas de producción generales y detalladas aplicables a la producción ecológica."

- "Teniendo en cuenta las particularidades de los sistemas de producción ecológica, la elección de las variedades vegetales debe centrarse en los resultados agronómicos, la diversidad genética, la resistencia a las enfermedades, la longevidad y la adaptación a condiciones climáticas y edafológicas locales diversas, y debe respetar las limitaciones del cruce natural."

- “Dado que en la producción ecológica debe limitarse el uso de insumos externos, deben definirse determinados objetivos en cuanto a qué productos y sustancias se utilizan a menudo en la producción de productos agrarios o de productos agrarios transformados. Cuando se utilicen normalmente para esos objetivos, el uso de productos o sustancias solo debe permitirse cuando hayan sido autorizados de conformidad con el presente Reglamento. No obstante, esa autorización solo debe ser válida mientras el uso de esos insumos externos en la producción no ecológica no esté prohibido por el Derecho de la Unión o la legislación nacional basada en el Derecho de la Unión. Se debe permitir en la producción ecológica el uso de productos o sustancias que contienen los productos fitosanitarios o que son ingredientes de los mismos, con excepción de las sustancias activas, siempre que su uso esté autorizado de conformidad con el Reglamento (CE) n.o 1107/2009 del Parlamento Europeo y del Consejo (1) y siempre que la comercialización o el uso de esos productos fitosanitarios no estén prohibidos por los Estados miembros de conformidad con dicho Reglamento.”

- “Con el fin de facilitar el cumplimiento del presente Reglamento, los operadores deben adoptar medidas preventivas en cada etapa de producción, preparación y distribución, según el caso, para garantizar la conservación de la biodiversidad y la calidad del suelo, para prevenir y controlar plagas y enfermedades, y para evitar los efectos negativos en el medio ambiente, en la salud de los animales y en la sanidad vegetal. También deben adoptar, segúnconvenga, medidas de precaución proporcionadas que ellos controlen a fin de evitar la contaminación con productos o sustancias que no estén autorizados para su uso en la producción ecológica de conformidad con el presente Reglamento y evitar que se mezclen productos ecológicos, en conversión y no ecológicos.”

- “En la producción vegetal ecológica han de emplearse técnicas de producción que eviten la contaminación del medio ambiente o la reduzcan al mínimo.”

- “Mientras que la agricultura no ecológica dispone de más medios externos para adaptarse al entorno con el fin de lograr un crecimiento óptimo de los cultivos, los sistemas de producción vegetal ecológica necesitan un material de reproducción vegetal que sea capaz de adaptarse a la resistencia a las enfermedades, a condiciones climáticas y edafológicas locales diversas y a las prácticas de cultivo específicas de la agricultura ecológica, contribuyendo así al desarrollo del sector ecológico. Por lo tanto, es importante desarrollar material de reproducción vegetal de producción ecológica apto para la agricultura ecológica.”

- “La utilización de productos fitosanitarios ha de estar muy restringida. Debe concederse prioridad a aquellas medidas que eviten daños por plagas y malas hierbas a través de técnicas que no requieran la utilización de productos fitosanitarios, tales como la rotación de cultivos. La presencia de plagas y malas hierbas debe ser objeto de un seguimiento adecuado que permita decidir si la intervención está justificada desde los puntos de vista económico y ecológico. No obstante, se ha de permitir el uso de determinados productos fitosanitarios cuando

tales técnicas no garanticen la protección apropiada, siempre que dichos productos hayan sido autorizados de conformidad con el Reglamento (CE) n.o 1107/2009, tras haberse evaluado y determinado su compatibilidad con los objetivos y principios de la producción ecológica, en particular cuando dichos productos hayan sido autorizados con condiciones de utilización restrictivas, y hayan sido autorizados en consecuencia de conformidad con el presente Reglamento."

Los objetivos que perseguirá la producción ecológica del Reglamento de la UE 2018/848 serán:

- "Contribuir a la protección del medio ambiente y del clima"
- "Mantener la fertilidad de los suelos a largo plazo"
- "Contribuir a un alto grado de biodiversidad"
- "Contribuir sustancialmente a un medio ambiente no tóxico"
- "Contribuir a las rigurosas normas de bienestar animal y, en particular, responder a las necesidades de comportamiento propias de cada especie de animales"
- "Fomentar los circuitos cortos de distribución y las producciones locales en los territorios de la Unión"
- Fomentar el mantenimiento de las razas raras o autóctonas en peligro de extinción"
- "Contribuir al desarrollo de la provisión de material genético vegetal adaptado a las necesidades y objetivos específicos de la agricultura ecológica"
- "Contribuir a un elevado nivel de biodiversidad, en particular mediante el uso de material genético vegetal diverso, como material heterogéneo ecológico y variedades ecológicas adecuadas para la producción ecológica"
- "Promover el desarrollo de actividades de mejora vegetal de plantas ecológicas a fin de contribuir a las perspectivas económicas ventajosas del sector ecológico"

Los principios generales de la producción ecológica según el Reglamento de la UE 2018/848, son (se exponen los más importantes en relación a este trabajo):

- "Respeto de los sistemas y los ciclos naturales y mantenimiento y mejora del estado del suelo, el agua y el aire, la salud de las plantas y los animales, y el equilibrio entre ellos"
- "Conservación de elementos del paisaje natural como lugares que sean patrimonio natural"

- “Utilización responsable de la energía y de recursos naturales tales como el agua, el suelo, las materias orgánicas y el aire”

- “Obtención de una amplia variedad de alimentos de buena calidad y otros productos agrícolas y de la acuicultura que respondan a la demanda de los consumidores de productos obtenidos mediante procesos que no dañen el medio ambiente, la salud humana, la salud y el bienestar de los animales ni la fitosanidad”

El sistema de certificación según el Reglamento de la UE 2018/848: “Antes de comercializar cualquier producto como «ecológico» o «en conversión» o antes del período de conversión, los operadores y grupos de operadores a que se refiere el artículo 36, que produzcan, preparen, distribuyan o almacenen productos ecológicos o en conversión, que importen dichos productos de un tercer país o los exporten a un tercer país, o que comercialicen dichos productos notificarán su actividad a las autoridades competentes del Estado miembro en el que se lleve a cabo la actividad y en el que su empresa se someta al sistema de control.”, por tanto, “Cuando las autoridades competentes hayan conferido sus responsabilidades o delegado determinadas tareas de control oficial o determinadas tareas relacionadas con otras actividades oficiales a más de una autoridad de control u organismo de control, los operadores o grupos de operadores indicarán en la notificación a que se refiere el párrafo primero qué autoridad de control u organismo de control verifica si la actividad cumple lo dispuesto en el presente Reglamento y concede el certificado a que se refiere el artículo 35, apartado 1.”

En definitiva, “Las autoridades competentes o, en su caso, las autoridades de control u organismos de control concederán un certificado a todo operador o grupo de operadores que haya notificado su actividad de conformidad con el artículo 34, apartado 1, y cumpla el presente Reglamento.”

ANEXO III:

Objetivos de Buenas Prácticas Agrícolas:

Establecer el proceso productivo de los cultivos extensivos que permitan la obtención de productos agrícolas inocuos para consumo humano o animal mediante una producción sostenible.

Conocimiento de la zona de producción, teniendo en cuenta el clima (temperaturas, precipitaciones, etc.), el suelo, topografía.

Determinar el sistema productivo, el cultivo y la rotación que se va a realizar. Esto permite definir indicadores de las actividades que se vayan a realizar para mejorar la eficiencia de los sistemas agrícolas.

Organizar de forma integral los sistemas de producción, considerando zona de estudios y tareas a realizar.

Análisis de suelo físico, químico y biológico para poder evaluar la salud del mismo. Lo ideal es que el suelo sea permeable, con buen drenaje, uniforme, con un pH óptimo para cada tipo de suelo y un contenido adecuado de materia orgánica.

Gestión del agua sostenible mediante registros de riego. Tipo de riego y dosis.

Uso de un manejo de fertilizantes adecuado. Registro anual del lugar donde se aplicó, cantidad que se aplicó (kg/ha) y tipo de fertilizante.

Evaluación de riesgos laborales de manera periódica con el fin de poder adoptar medidas preventivas en caso de que haya riesgos.

Manejo integrado de plagas para evitar enfermedades y plagas en los sistemas de producción. Esto es muy importante, debido a que en sistemas de producción de cultivos extensivos donde se siembra en monocultivo es muy probable que la infestación por plagas y enfermedades se intensifique.

Registro de la aplicación de productos fitosanitarios. Aplicación responsable.

Gestión de residuos.

Gestión ambiental. Identificar riesgos ambientales asociados a la producción de cultivos estableciendo prácticas que minimicen esos riesgos. Los productores tienen que llevar un registro de cada cosecha donde indique la cantidad de agua de riego utilizada, fertilizantes aplicados, fitosanitarios, etc.

Establecer indicadores de sostenibilidad en la calidad de sus productos y la trazabilidad de los mismos, desde la producción de materias primas en campo, hasta su transporte al lugar de destino para su comercialización.

Según el Real Decreto 4/2001, de 12 de enero, por el que se establece un régimen de ayudas a la utilización de métodos de producción agraria compatibles con el medio ambiente. Las buenas prácticas agrarias habituales que deberán respetarse son las siguientes:

Conservación del suelo como recurso natural básico y lucha contra la erosión:

- Laboreo:

"El laboreo de los suelos españoles es una de las prácticas más problemáticas desde el punto de vista agroambiental y precisa, más que ninguna otra, que se establezcan normas para que no suponga un perjuicio más que un beneficio para los ecosistemas. La mecanización del campo y la aparición de máquinas cada más grandes y potentes han originado, en muchos casos, graves problemas de erosión y pérdida de fertilidad de los suelos, paliados con frecuencia por el incremento de otros «inputs»: abonos, semillas, etcétera."

Por tal motivo, el control de la erosión y de las pérdidas de textura y estructura de los suelos será el principal empeño que se acometa con las medidas agroambientales:

- "«Son habituales todo tipo de labores en cuanto a profundidad, aperos o momento de realización». Ello dependerá de la profundidad de los suelos, su textura y estructura. El agricultor siempre es consciente de esta circunstancia y no utiliza instrumentos de labranza ni tipo de labores que vayan en detrimento de las producciones esperadas. Por otro lado, es difícil establecer una norma diferenciadora que sea válida, no solo para el conjunto de España, sino para una región o, incluso, para una comarca o la misma explotación."

- "«Prohibición del laboreo convencional a favor de pendiente». En un país como España, donde la erosión de sus suelos es el problema agroambiental más grave contra el que hay que luchar, se establece como buena práctica agrícola de manera obligatoria para todas las parcelas agrícolas que se acojan a las medidas agroambientales."

- "Las Comunidades Autónomas podrán fijar, atendiendo a factores edáficos, climáticos y socioeconómicos de la zona, los límites de pendiente y las características geométricas de las parcelas excluidas de esta norma."

- Alternativas y rotaciones:

Para optimizar la utilización de la energía: maquinaria agrícola:

- "Se pasarán las inspecciones prescritas en las correspondientes estaciones de Inspección Técnica de Vehículos Agrícolas, conforme a la normativa vigente, al objeto de garantizar la seguridad vial, prevenir riesgos laborales y asegurar el uso eficiente de combustibles fósiles."

Para la utilización eficiente del agua:

- Riegos:

- "Exigencia de cumplir con toda la normativa vigente en materia de concesión de aguas y de limitaciones de uso establecidas por las Confederaciones Hidrográficas, a través de los correspondientes certificados expedidos por la autoridad competente."

- "Independientemente de la eficiencia del sistema de riego implantado, éste deberá estar sometido a un mantenimiento que evite las pérdidas de agua. A tal efecto, se controlará el mal estado de la red de riego interna de la explotación, procediendo a la reparación de las acequias que presenten pérdidas de agua, sustituyendo las piezas defectuosas de los sistemas de aspiración, impulsión y distribución que puedan conducir a pérdidas directas de agua o una mala eficiencia del sistema de riego."

Para conservar la diversidad biológica:

- Material vegetal:

- "Los beneficiarios de ayudas agroambientales agrícolas deberán justificar que se han cumplido todos los requisitos exigidos por la normativa vigente sobre la producción, comercialización y utilización de semillas y plantas de vivero."

- Hábitos de recolección y post-recolección para datos del mantenimiento:

- "La conservación de los nidos de especies protegidas de difícil localización será una buena práctica a cumplir por todos los solicitantes de ayudas agroambientales. En todos los casos, se deberán tomar las medidas adecuadas para evitar daños en las tareas de recolección. Cualquier sanción firme de la autoridad administrativa competente relacionada con estos hechos dará lugar a la denuncia del compromiso agroambiental."

- "Queda prohibida la quema de rastrojos o pastos de cosecha."

- "En el caso de que sea aconsejable proceder a su quema por motivos sanitarios o fitopatológicos, el beneficiario deberá disponer de la correspondiente autorización de los servicios técnicos competentes de la Comunidad Autónoma en la que figurarán expresamente los motivos por los que se autoriza la quema, así como las medidas de seguridad que se deberán tomar a la hora de realizar la operación, cumpliendo estrictamente con las mismas."

- "Las zonas con posibles riesgos de incendio, ya sea porque limiten con lugares en los que se puedan originar incendios (caminos muy transitados, líneas férreas, lugares habitados, etc.) o porque haya en las mismas restos de cosecha muy combustibles o espacios de alto valor paisajístico, se aislarán mediante franjas labradas de, al menos, tres metros de anchura."

Para la racionalización del uso de fertilizantes:

- Fertilizantes:

- "En primer lugar, hay que partir de la base de que la contaminación por un mal uso y un abuso de fertilizantes, especialmente los nitrogenados, no representa un problema agroambiental en la mayor parte del territorio español y por tanto del territorio que abarca el programa. En efecto, en la mayor parte de los secanos españoles, los niveles de aportación de abonados nitrogenados son, por regla general, muy bajos."
- "En todo caso, al no ser estas zonas vulnerables a nitratos, conforme se fija en la Directiva, exceptuando aquellas con alta concentración de explotaciones intensivas de porcino, no es necesario ni conveniente establecer niveles máximos de fertilización nitrogenada, que siempre estarían muy por encima de las aportaciones habituales."
- "Los problemas más acusados de contaminación por nitratos se dan en las zonas de riego, en las que se concentran la mayor parte de las zonas declaradas como vulnerables en España. En estas zonas, los niveles de comparación serán los que se especifiquen en sus respectivos programas de acción, a los que hace referencia la Directiva Nitratos."

- Estiércoles y purines:

  - "No aplicar sobre terrenos encharcados o con nieve."
  - "Cuando las explotaciones se encuentren en las zonas vulnerables de acuerdo con la Directiva Nitratos, se definirá la gestión medioambiental adecuada para el control de estiércol almacenado, en lo que se refiere a evitar la lixiviación de líquidos (estercoleros estancos) o en el cálculo del almacenamiento del producto, en función de las salidas y distribución del mismo."
  - "En cualquier caso, la aplicación se regirá, además, por la normativa de uso para purines y estiércoles establecida por las respectivas CC.AA."

Para la utilización racional de los productos fitosanitarios:

- Fitosanitarios:

- "En todo lo referente a la aplicación de fitosanitarios existe una normativa muy extensa en España de obligado cumplimiento en materia de productos autorizados, normas de aplicación, manejo de residuos, etc. Esta normativa establece las sanciones en caso de incumplimiento y fija los medios para alcanzar los objetivos que propone":

- "En el uso de fitosanitarios y herbicidas, dentro de los márgenes establecidos por la normativa, deberán respetarse las indicaciones de los fabricantes, así como utilizar productos autorizados, retirando los residuos una vez realizada la aplicación correspondiente."

ANEXO IV:

Ley 87/78 de 28 de diciembre de Seguros Agrarios Combinados, según el Reglamento aprobado por Real Decreto 2329/79, realiza la definición de los siguientes conceptos:

- **"ASEGURADO",** Es la persona física o jurídica, titular del interés objeto del Seguro a quien corresponden los derechos derivados del contrato y las obligaciones que por su naturaleza le sean propias, y que en defecto del Tomador asume las obligaciones y deberes que a este corresponden.

- **"ASEGURADOR",** es la persona jurídica que asume el riesgo contractualmente pactado. Este Seguro Agrario Combinado se efectúa en régimen de Coaseguro por las Entidades integradas en la Agrupación Española de Entidades Aseguradoras de los Seguros Agrarios Combinados (en lo sucesivo AGROSEGURO), que es la administradora del Seguro, y, en cuanto a éste, representa a todas y cada una de las Entidades.

- **"BENEFICIARIO",** persona física o jurídica que, previa cesión por el Asegurado, resulta titular del derecho a la indemnización.

- **"CAPITAL ASEGURADO",** es la suma asegurada o cantidad fijada en cada una de las partidas de la póliza que constituye el límite máximo de indemnización a pagar por todos los conceptos por Agroseguro para todos los siniestros indemnizables. Estará en función de la cosecha esperada, teniendo en cuenta los rendimientos de cada cultivo según zonas, que a estos efectos el Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente determine, a los precios unitarios que también establezca o figuren en la regulación de la campaña del producto de que se trate. Sobre el valor de la producción objeto del seguro se aplicará el porcentaje de cobertura determinado en las Condiciones Especiales y el resultado será el capital o suma asegurada.

- **"COBERTURAS PARTICULARES",** excepcionalmente y para explotaciones con características especiales o para estudios de nuevas coberturas, las Condiciones Especiales podrán prever casos de aplicación de coberturas particulares, mediante pacto expreso entre las partes. Estas coberturas se incluirán en las correspondientes Condiciones Particulares que deberán ser previamente conocidas por la Dirección General de Seguros y la Entidad Estatal de Seguros Agrarios, las cuales precisarán a la medida de las circunstancias concretas, los límites de garantías, los riesgos cubiertos, las exclusiones y demás extremos que sean precisos.

- **"DECLARACION DE SEGURO COLECTIVO",** es el documento suscrito por Asegurador y Tomador de un Seguro Colectivo por sí y en nombre de sus asociados en el que se establecen los recíprocos derechos y obligaciones.

- **"DECLARACION DE SEGURO INDIVIDUAL",** la declaración en que el titular de la explotación cuyas cosechas se aseguran es una sola persona física o jurídica, quien figurará en aquélla en calidad de Asegurado.

- **"POLIZA",** conjunto de documentos que contienen las Condiciones Reguladoras del Seguro, formando parte de ellas, estas Condiciones Generales, las Especiales de cada Seguro, las Particulares que se adicionan en su caso, la Declaración de Seguro Individual o Colectivo y Aplicaciones de esta última.

- **"PRODUCCIONES ASEGURABLES",** las que constituyendo el fin económico de la explotación, bien directamente o mediante su transformación, se hallen incluidas en el correspondiente Plan Anual de Seguros y cumplan las condiciones técnicas mínimas exigibles de explotación o prevención definidas por el Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. Para considerarla como tal, es condición indispensable que, en el momento de la suscripción de la Declaración de Seguro, no haya hecho aparición el siniestro o éste sea inminente.

- **"SINIESTRO",** es todo hecho cuyas consecuencias dañosas resulten cubiertas con las garantías de la póliza. Para que un siniestro sea considerado como indemnizable, los daños sufridos por el cultivo deben ser superiores al mínimo previsto en las Condiciones Especiales de la póliza

ANEXO V:

Resultados de los análisis del programa DSSAT v4.7.5

Resultados de Zamora

1. Nogal de invierno

2. Yecora de primavera

Variable: Anthesis date

Trt	Title	Field	Crop	Mean	St. Dev.	Min	Max
1	Sim1	IBSU910045	WH	147.4	6.4	139.0	153.0
2	Sim1	IBSU910045	WH	143.0	7.0	134.0	149.0

OK

Variable: ET total mm

Trt	Title	Field	Crop	Mean	St. Dev.	Min	Max
1	Sim1	IBSU910045	WH	399.6	40.2	345.0	437.0
2	Sim1	IBSU910045	WH	400.4	38.7	348.0	432.0

OK

Variable: Grain N kg/ha

Trt	Title	Field	Crop	Mean	St. Dev.	Min	Max
1	Sim1	IBSU910045	WH	52.0	11.2	40.0	67.0
2	Sim1	IBSU910045	WH	54.2	11.9	42.0	71.0

OK

Variable: Harvest index

Trt	Title	Field	Crop	Mean	St. Dev.	Min	Max
1	Sim1	IBSU910045	WH	0.4	0.0	0.3	0.4
2	Sim1	IBSU910045	WH	0.4	0.0	0.4	0.5

OK

Variable: Harvested yield

Trt	Title	Field	Crop	Mean	St. Dev.	Min	Max
1	Sim1	IBSU910045	WH	2772.2	601.5	2163.0	3502.0
2	Sim1	IBSU910045	WH	3019.8	616.8	2441.0	3842.0

OK

Variable: LAI maximum

Trt	Title	Field	Crop	Mean	St. Dev.	Min	Max
1	Sim1	IBSU910045	WH	1.9	0.2	1.6	2.1
2	Sim1	IBSU910045	WH	1.7	0.2	1.4	1.8

OK

Variable: Maturity date

Trt	Title	Field	Crop	Mean	St. Dev.	Min	Max
1	Sim1	IBSU910045	WH	194.0	6.5	186.0	200.0
2	Sim1	IBSU910045	WH	195.4	6.8	187.0	201.0

OK

Resultados de Albacete

1. Nogal de invierno

2. Yecora de primavera

Variable: Anthesis date

Trt	Title	Field	Crop	Mean	St. Dev.	Min	Max
1	Sim1	IBSU910045	WH	137.0	5.4	129.0	144.0
2	Sim1	IBSU910045	WH	132.6	5.3	125.0	140.0

OK

Variable: ET total mm

Trt	Title	Field	Crop	Mean	St. Dev.	Min	Max
1	Sim1	IBSU910045	WH	391.6	30.0	353.0	420.0
2	Sim1	IBSU910045	WH	390.2	31.7	355.0	422.0

OK

Variable: Grain N kg/ha

Trt	Title	Field	Crop	Mean	St. Dev.	Min	Max
1	Sim1	IBSU910045	WH	53.6	7.2	43.0	60.0
2	Sim1	IBSU910045	WH	55.4	7.4	45.0	63.0

OK

Variable: Harvest index

Trt	Title	Field	Crop	Mean	St. Dev.	Min	Max
1	Sim1	IBSU910045	WH	0.3	0.0	0.3	0.4
2	Sim1	IBSU910045	WH	0.4	0.0	0.3	0.4

OK

Variable: Harvested yield

Trt	Title	Field	Crop	Mean	St. Dev.	Min	Max
1	Sim1	IBSU910045	WH	2933.8	521.8	2164.0	3454.0
2	Sim1	IBSU910045	WH	3168.0	547.8	2337.0	3636.0

OK

Variable: LAI maximum

Trt	Title	Field	Crop	Mean	St. Dev.	Min	Max
1	Sim1	IBSU910045	WH	2.4	0.2	2.1	2.6
2	Sim1	IBSU910045	WH	2.2	0.2	1.9	2.4

OK

Variable: Maturity date

Trt	Title	Field	Crop	Mean	St. Dev.	Min	Max
1	Sim1	IBSU910045	WH	182.6	5.3	177.0	190.0
2	Sim1	IBSU910045	WH	183.4	5.2	178.0	191.0

OK

Resultados de Ciudad Real

1. Nogal de invierno

2. Yecora de primavera

Variable: Anthesis date

Trt	Title	Field	Crop	Mean	St. Dev.	Min	Max
1	Sim1	IBSU910045	WH	135.4	5.5	130.0	143.0
2	Sim1	IBSU910045	WH	131.4	6.1	126.0	140.0

OK

Variable: ET total mm

Trt	Title	Field	Crop	Mean	St. Dev.	Min	Max
1	Sim1	IBSU910045	WH	401.4	23.6	361.0	420.0
2	Sim1	IBSU910045	WH	402.6	25.9	359.0	422.0

OK

Variable: Grain N kg/ha

Trt	Title	Field	Crop	Mean	St. Dev.	Min	Max
1	Sim1	IBSU910045	WH	51.6	4.0	47.0	57.0
2	Sim1	IBSU910045	WH	53.2	4.0	49.0	59.0

OK

Variable: Harvest index

Trt	Title	Field	Crop	Mean	St. Dev.	Min	Max
1	Sim1	IBSU910045	WH	0.3	0.0	0.3	0.4
2	Sim1	IBSU910045	WH	0.4	0.0	0.3	0.4

OK

Variable: Harvested yield

Trt	Title	Field	Crop	Mean	St. Dev.	Min	Max
1	Sim1	IBSU910045	WH	2761.0	215.4	2568.0	3077.0
2	Sim1	IBSU910045	WH	2976.6	273.7	2712.0	3385.0

OK

Variable: LAI maximum

Trt	Title	Field	Crop	Mean	St. Dev.	Min	Max
1	Sim1	IBSU910045	WH	2.3	0.3	1.9	2.7
2	Sim1	IBSU910045	WH	2.1	0.3	1.7	2.4

OK

Variable: Maturity date

Trt	Title	Field	Crop	Mean	St. Dev.	Min	Max
1	Sim1	IBSU910045	WH	180.8	6.8	172.0	189.0
2	Sim1	IBSU910045	WH	181.6	6.7	173.0	190.0

OK

Resultados de Toledo

1. Nogal de invierno

2. Yecora de primavera

Variable: Anthesis date

Trt	Title	Field	Crop	Mean	St. Dev.	Min	Max
1	Sim1	IBSU910045	WH	130.4	3.8	122.0	136.0
2	Sim1	IBSU910045	WH	125.9	4.0	117.0	131.0

OK

Variable: ET total mm

Trt	Title	Field	Crop	Mean	St. Dev.	Min	Max
1	Sim1	IBSU910045	WH	393.2	47.9	319.0	483.0
2	Sim1	IBSU910045	WH	393.3	47.0	323.0	484.0

OK

Variable: Grain N kg/ha

Trt	Title	Field	Crop	Mean	St. Dev.	Min	Max
1	Sim1	IBSU910045	WH	53.7	7.7	45.0	71.0
2	Sim1	IBSU910045	WH	55.9	8.3	47.0	73.0

OK

Variable: Harvest index

Trt	Title	Field	Crop	Mean	St. Dev.	Min	Max
1	Sim1	IBSU910045	WH	0.3	0.0	0.3	0.4
2	Sim1	IBSU910045	WH	0.4	0.0	0.3	0.5

OK

Variable: Harvested yield

Trt	Title	Field	Crop	Mean	St. Dev.	Min	Max
1	Sim1	IBSU910045	WH	2787.7	591.1	2067.0	4127.0
2	Sim1	IBSU910045	WH	3037.5	648.3	2223.0	4468.0

OK

Variable: LAI maximum

Trt	Title	Field	Crop	Mean	St. Dev.	Min	Max
1	Sim1	IBSU910045	WH	2.3	0.2	2.0	2.7
2	Sim1	IBSU910045	WH	2.1	0.2	1.8	2.4

OK

Variable: Maturity date

Trt	Title	Field	Crop	Mean	St. Dev.	Min	Max
1	Sim1	IBSU910045	WH	175.4	4.8	168.0	182.0
2	Sim1	IBSU910045	WH	176.1	4.9	168.0	183.0

OK

Resultados de Granada

1. Nogal de invierno

2. Yecora de primavera

Variable: Anthesis date

Trt	Title	Field	Crop	Mean	St. Dev.	Min	Max
1	Sim1	IBSU910045	WH	126.6	3.8	121.0	131.0
2	Sim1	IBSU910045	WH	121.8	4.1	116.0	127.0

OK

Variable: ET total mm

Trt	Title	Field	Crop	Mean	St. Dev.	Min	Max
1	Sim1	IBSU910045	WH	391.2	51.3	323.0	436.0
2	Sim1	IBSU910045	WH	387.8	47.2	324.0	432.0

OK

Variable: Grain N kg/ha

Trt	Title	Field	Crop	Mean	St. Dev.	Min	Max
1	Sim1	IBSU910045	WH	58.8	7.9	52.0	72.0
2	Sim1	IBSU910045	WH	60.2	8.7	54.0	75.0

OK

Variable: Harvest index

Trt	Title	Field	Crop	Mean	St. Dev.	Min	Max
1	Sim1	IBSU910045	WH	0.4	0.0	0.3	0.4
2	Sim1	IBSU910045	WH	0.4	0.1	0.3	0.4

OK

Variable: Harvested yield

Trt	Title	Field	Crop	Mean	St. Dev.	Min	Max
1	Sim1	IBSU910045	WH	3244.6	708.7	2651.0	4460.0
2	Sim1	IBSU910045	WH	3494.4	720.6	2809.0	4714.0

OK

Variable: LAI maximum

Trt	Title	Field	Crop	Mean	St. Dev.	Min	Max
1	Sim1	IBSU910045	WH	2.5	0.2	2.4	2.8
2	Sim1	IBSU910045	WH	2.3	0.2	2.1	2.7

OK

Variable: Maturity date

Trt	Title	Field	Crop	Mean	St. Dev.	Min	Max
1	Sim1	IBSU910045	WH	173.8	4.5	169.0	180.0
2	Sim1	IBSU910045	WH	174.4	4.6	170.0	181.0

OK