



ESCUELA DE INGENIERÍA AGRARIA Y FORESTAL

GRADO EN INGENIERÍA AGRARIA MENCIÓN RURAL

TRABAJO DE FIN DE GRADO

**Evaluación agronómica de variedades de maíz sometidas a
deficiencia de riego**

**Agronomic evaluation of different corn varieties subjected
to irrigation deficiency.**

Alumno

Jose Luis Álvarez Salcedo

Tutor

Sara Mayo Prieto

León, diciembre de 2023

ANEXO 7. HOJA DE COMPROBACIÓN TRABAJOS DE CARÁCTER CIENTÍFICO O TÉCNICO

Título:

Autor:

ELEMENTOS DE OBLIGADA APARICIÓN

Resumen. De 400 palabras como máximo.

Introducción. Debe incluir los motivos por los que se realiza el trabajo y los antecedentes o estudios previos sobre el mismo.

Objetivos. Se detallarán de forma clara y concisa los objetivos que se pretenden alcanzar.

Material y Métodos / Metodología. Descripción de las técnicas, los materiales empleados, y los métodos de análisis de datos, de forma que se garantice la repetibilidad de los mismos.

Resultados / Análisis / Diagnóstico. La información obtenida con el estudio se presentará de forma sistemática, preferentemente mediante tablas y figuras que deberán ser en todo caso autoexplicativas, y deberán aparecer debidamente numeradas y referenciadas en un índice propio.

Discusión. Los resultados propios del trabajo deberán ser discutidos relacionándolos, en su caso, con otros de estudios precedentes.

Conclusiones. Deberán ser claras, concisas, y coherentes con los objetivos propuestos. En el caso planes de ordenación de recursos forestales, propuestas concretas con objetivos, líneas y medidas.

Planos / Mapas. Serán obligatorios en trabajos topográficos, estudios de implantación de cultivos o transformaciones de explotaciones, y en general, cualquier trabajo técnico o científico asociado a áreas, parcelas, o territorios determinados.

Bibliografía. Listado de las fuentes de información utilizadas debidamente referenciadas y ordenadas.

| | |
|------------------------------|--|
| REALIZADA LA COMPROBACIÓN | El tutor/es: |
| | Fdo.: Fdo.: |

RESUMEN

El maíz a lo largo de la historia ha sido utilizado como alimento humano y animal. Con el paso del tiempo se ha seleccionado y mejorado genéticamente para la obtención de mayores rendimientos.

Actualmente debido al cambio climático, uno de los problemas que hay es la escasez hídrica y el uso eficiente del agua de riego, puesto que la agricultura consume el 80% del agua disponible.

El objetivo de este trabajo ha sido evaluar el comportamiento agronómico de distintas variedades de maíz frente a estrés hídrico.

El ensayo se ha llevado a cabo en la finca de la Escuela de Ingeniería Agraria y Forestal. Se han empleado 56 variedades a las que se ha sometido a déficit de riego. Se ha evaluado la germinación, floración masculina y femenina, altura de las plantas, número de mazorcas producidas y su peso, así como su rendimiento.

En la germinación al no aplicar el sistema de riego deficitario, no ha presentado diferencias significativas ni en riego ni entre variedades.

La aplicación de la deficiencia de riego, en la floración ha presentado diferencias significativas, retrasándose la floración en 5 y 15 días en floración masculina y floración femenina respectivamente. También se ha comprobado que en la formación de mazorcas y la altura de la planta ha habido diferencias significativas, repercutiendo al rendimiento final. Las variedades de estudio cuando estaban sometidas a déficit de riego han presentado unos valores muy inferiores a los de riego óptimo.

La variedad V33 (Rojo de Tolosa) en riego óptimo ha sido la más productiva. Sin embargo, cabe destacar la variedad V56 Kerubino que ha tenido un rendimiento en riego deficitario de 4476,84 kg/ha, pudiendo ser una candidata para ser sembrada en aquellas zonas con déficit hídrico.

Agradecimientos

Quería agradecer al Grupo Universitario de Investigación en Ingeniería y Agricultura Sostenible, en especial a mi tutora Sara Mayo, por su admirable dedicación a la investigación, su entrega y guía en la elaboración del Trabajo de Fin de Grado.

También agradecer a la gente que me ha acompañado durante todos estos años.

ÍNDICE

| | |
|--|----|
| ÍNDICE DE FIGURAS | 7 |
| ÍNDICE DE TABLAS | 11 |
| 1.INTRODUCCIÓN | 13 |
| 1.1. El cultivo del maíz..... | 13 |
| 1.1.1 El maíz en el mundo | 13 |
| 1.1.2. El maíz en Europa | 16 |
| 1.1.3 El cultivo de maíz en España | 16 |
| 1.1.4 El cultivo de maíz en Castilla y León..... | 17 |
| 1.2 Clasificación taxonómica de la planta de maíz. | 18 |
| 1.3 Descripción botánica de la planta de maíz | 19 |
| 1.4 Ciclo del cultivo | 22 |
| 1.5 Ciclo vegetativo | 23 |
| 1.6 Variedades de maíz en España | 25 |
| 1.7 Plagas y enfermedades que afectan al maíz | 26 |
| 1.8 Plantas adventicias que pueden afectar al maíz..... | 31 |
| 1.9 Manejo del cultivo..... | 32 |
| 1.8.1 Riego | 32 |
| 2. OBJETIVOS..... | 34 |
| 3. MATERIALES Y MÉTODOS | 35 |
| 3.1 Ubicación y características de las parcelas | 35 |
| 3.2 Material vegetal | 36 |
| 3.3 Condiciones climatológicas de la zona del ensayo | 38 |
| 3.4 Manejo de la parcela de ensayo | 39 |
| 3.4.1 Preparación del terreno y siembra | 39 |

| | |
|---|----|
| 3.4.2 Operaciones en el cultivo | 40 |
| 3.4.3. Riego | 40 |
| 3.4.4 Cosecha..... | 41 |
| 3.5 Parámetros evaluados tras la siembra..... | 41 |
| 3.5.1 Germinación y vigor temprano | 41 |
| 3.5.2 Floración y altura tras la floración..... | 41 |
| 3.6 Parámetros evaluados tras cosecha..... | 41 |
| 3.7 Análisis estadístico | 43 |
| 4. RESULTADOS | 44 |
| 4.1 Evaluación de la germinación..... | 44 |
| 4.2 Evaluación de la floración..... | 46 |
| 4.3 Evaluación de la altura | 50 |
| 4.4 Evaluación de la cosecha | 52 |
| 4.4.1 Número de mazorcas en la parcela..... | 52 |
| 4.4.2 Evaluación peso de las mazorcas..... | 55 |
| 4.4.3 Evaluación del peso del grano de 5 mazorcas..... | 57 |
| 4.4.4 Evaluación del rendimiento de las variedades..... | 59 |
| 5. DISCUSIÓN..... | 62 |
| 6.CONCLUSIONES | 65 |
| 7. BIBLIOGRAFÍA..... | 66 |
| Anexo I: Análisis post-hoc de la floración masculina y femenina | 70 |
| Anexo II: Análisis post-hoc de la altura de la planta..... | 77 |
| Anexo III : Estudio bioclimático de la zona de ensayo | 81 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|-----------|
| Figura 1. Evolución de la superficie (ha) de los tres cultivos cerealistas principales a nivel mundial, entre los años 2000-2021 (FAO, 2023). En color azul corresponde al trigo, en color naranja es del arroz y en color gris pertenece al maíz..... | 14 |
| Figura 2. Evolución de la superficie (Mha) y producción (Mt) de maíz en el mundo entre los años 2001-2021 (FAO, 2023). En color azul se representa la producción de maíz y en color naranja la superficie cultivada..... | 15 |
| Figura 3. Producción de maíz (%) de los 10 países más productores de maíz en el continente europeo en el año 2021 (FAO, 2023)..... | 16 |
| Figura 4. Cultivos cerealistas principales (maíz, trigo y cebada) en España en el año 2020. En color azul se representa la producción (t) y en naranja la superficie (ha) (MAGRAMA, 2023)..... | 17 |
| Figura 5. Superficie (ha) de cultivo de maíz, la comunidad de Castilla y León, en gris la provincia de León, en azul la provincia de Salamanca y en gris oscuro Zamora (MAPAMA, 2023)..... | 18 |
| Figura 6. Detalle de las raíces, donde se aprecian raíces adventicias. (Foto: propia)..... | 19 |
| Figura 7. Tallo de maíz. Escuela de Ingeniería Agraria y Forestal (Foto: elaboración propia.)..... | 20 |
| Figura 8. Hojas del maíz, donde se aprecia la lígula y pilosidad (Osca Lluch y Gómez de Barreda Ferraz, 2015)..... | 20 |
| Figura 9. Floración femenina. (Foto: propia)..... | 21 |
| Figura 10. Inflorescencia masculina del maíz (Osca Lluch y Gómez de Barreda Ferraz, 2015)..... | 21 |
| Figura 11. Planta de maíz emergida (Foto: (Revista Campo, 2023)..... | 23 |
| Figura 12. Crecimiento de las distintas variedades de maíz, tras la floración..... | 24 |

| | |
|---|-----------|
| Figura 13. Inicio de la floración masculina en la parcela de la EIAF. (Foto: propia)..... | 24 |
| Figura 14. Estadios de la madurez fisiológica del grano. (Foto: Corteva agriscience) | 25 |
| Figura 15. Gusanos de alambre sobre la raíz de una planta de maíz. (Foto: Laboratorio de Diagnóstico-Universidad de León)..... | 27 |
| Figura 16. Larva sobre planta de maíz. (Foto: Laboratorio de Diagnóstico-Universidad de León)..... | 27 |
| Figura 17. Larva de taladro en el interior de un tallo de maíz. (Foto: INTIA) | 28 |
| Figura 18. Daño producido por Heliothis (Foto: propia) | 28 |
| Figura 19. Colonia de Rhopalosiphum padi sobre hoja de maíz. (Foto: Laboratorio de Diagnóstico-Universidad de León)..... | 29 |
| Figura 20. Síntomas de roya en la hoja de maíz. (Foto: Pioneer) | 30 |
| Figura 21. Carbón en planta de maíz. (Foto: Jesús Pérez Fernández) | 31 |
| Figura 22. Plano de la finca de la EIAF. Donde se encuentran los bloques 1,2 y 3. Riego optimo color azul y riego deficitario color naranja. (Foto: Google maps y modificada.)..... | 35 |
| Figura 23. Climograma de Walter-Lieth de la zona de León..... | 38 |
| Figura 24. Siembra de las parcelas en la EIAF. (Foto: propia)..... | 39 |
| Figura 25. Mazorcas no productivas, en la figura de la izquierda colonizadas por Ustilago sp y las de la derecha mazorcas que no llegaron a madurar..... | 42 |
| Figura 26. En la figura de la izquierda, se ve un desgranador manual y en la imagen de la derecha un medidor de humedad..... | 43 |
| Figura 27. Evaluación de la germinación a los 42 días tras la siembra. Los valores con letras diferentes presentan diferencias significativas (test Duncan, $p < 0,05$). | 45 |

Figura 28. Floración media (días) de la flor masculina y femenina tras la siembra. En color azul riego normal y en color amarillo riego deficitario. Los valores con letras diferentes presentan diferencias significativas (test Duncan, $p < 0,05$). Las letras minúsculas para los análisis realizados en flor masculina y en mayúscula para la femenina.....46

Figura 29. Días de floración masculina tras la siembra en las diferentes variedades de maíz. En la izquierda riego deficitario de color naranja. En la derecha el riego óptimo de color azul. Los valores con letras diferentes, presentan diferencias significativas (test Duncan, $p < 0,05$), se encuentra en el (anexo I, Tabla S1).....48

Figura 30. Días de floración femenina tras la siembra, de las diferentes variedades de maíz. En la gráfica de la izquierda, se representa el riego deficitario en color naranja. En la gráfica de la derecha se representa el riego deficitario en color azul. Los valores con letras diferentes presentan diferencias significativas (test Duncan, $p < 0,05$), se encuentran en el anexo I, Tabla S2)49

Figura 31. Altura media de las plantas de maíz en los diferentes tipos de riego. En color azul el riego normal. En color naranja el riego deficitario. Los valores con letras diferentes, presentan diferencias significativas (test Duncan, $p < 0,05$).50

Figura 32. Altura de las variedades de maíz según el tipo de riego. En la izquierda el riego deficitario en color naranja. En la derecha el riego óptimo en color azul. Los valores con letras diferentes presentan diferencias significativas (test Duncan, $p < 0,05$), se encuentran en el anexo II, Tabla S3).....51

Figura 33. Número medio de mazorcas cosechadas en la parcela dependiendo del tipo de riego. En color azul, riego óptimo. En color naranja, riego deficitario. Los valores con letras diferentes presentan diferencias significativas (test Duncan, $p < 0,05$).....52

Figura 34. Número de mazorcas en distintos riegos. En el lado izquierdo de color naranja, riego deficitario. En el lado derecho de color azul, riego óptimo.54

Figura 35. Peso medio de las mazorcas cosechadas en los diferentes riegos. En color azul, riego deficitario. En color naranja, riego deficitario dependiendo del tipo de riego. En color azul, riego óptimo. En color naranja, riego deficitario. Los valores con letras diferentes presentan diferencias significativas (test Duncan, $p < 0,05$).....55

Figura 36. Peso de las mazorcas en los diferentes riegos. En color naranja, las diferentes variedades en riego deficitario. En color azul, las diferentes variedades riego óptimo56

Figura 37. Peso medio del grano de 5 mazorcas. En color azul, riego normal. En color naranja, riego deficitario. Los valores con letras diferentes presentan diferencias significativas (test Duncan, $p < 0,05$).57

Figura 38. Peso de cinco mazorcas en diferente riego. En color naranja las variedades en riego deficitario. En color azul las diferentes variedades en riego óptimo.58

Figura 39. Rendimiento medio de la parcela de ensayo según el tipo de riego. En color naranja, riego deficitario. En color azul, riego óptimo. Los valores con letras diferentes presentan diferencias significativas (test Duncan, $p < 0,05$).59

Figura 40. Rendimientos de la parcela del estudio según los riegos. En color naranja las diferentes variedades en riego deficitario. En color azul las diferentes variedades en riego óptimo.61

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|-----------|
| Tabla 1. Superficie (ha) y producción (t) de maíces en los cinco continentes (FAO, 2023)..... | 15 |
| Tabla 2. Descripción taxonómica del maíz..... | 18 |
| Tabla 3. Clasificación según el índice de precocidad FAO (Martín Antonio, 2018)..... | 22 |
| Tabla 4. Análisis físico-químico de las parcelas de ensayo..... | 35 |
| Tabla 5. Variedades de maíz empleadas en el ensayo..... | 36 |
| Tabla 6. Valores medios mensuales de temperatura y precipitación acumulada de la estación meteorológica de Mansilla Mayor (LE-02) de los últimos 20 años (Macia, 2023)..... | 38 |
| Tabla 7. Pruebas de efectos para la germinación a los 42 días del Anova de dos vías..... | 44 |
| Tabla 8. Pruebas de efectos inter-sujetos en floración masculina del ANOVA a dos vías | 47 |
| Tabla 9. Pruebas de efectos inter-sujetos en floración femenina del ANOVA a dos vías. | 47 |
| Tabla 10 . Prueba de los efectos inter-sujetos de la altura del ANOVA dos vías..... | 50 |
| Tabla 11. Prueba de efectos inter-sujetos del número de mazorcas de las diferentes variedades del ANOVA a dos vías | 53 |
| Tabla 12. Prueba de efectos inter-sujetos del peso de las mazorcas..... | 55 |
| Tabla 13. Pruebas de los efector inter-sujetos del peso del grano de cinco mazorcas de las diferentes variedades tras la ANOVA a dos vías..... | 57 |
| Tabla 14. Pruebas de efectos inter-sujetos del rendimiento del grano tras realizar la ANOVA a dos vías. | 59 |

Tabla S 1. Floración masculina (días tras la siembra), tras la realización del ANOVA a dos vías. Las letras diferentes presentan diferencias significativas ($P < 0,05$) en la interacción variedad y riego.70

Tabla S 2. Floración femenina (días tras la siembra), tras la realización de la ANOVA a dos vías. Las letras diferentes presentan diferencias significativas ($P < 0,05$) en la interacción variedad y riego.73

Tabla S3. Altura(cm) de la planta de maíz, tras la realización del ANOVA a dos vías, se muestran diferencias significativas ($P < 0,05$) en la interacción variedad y riego.....77

1.INTRODUCCIÓN

1.1. El cultivo del maíz

El maíz (*Zea mays* L.) es un cereal que, a lo largo de la historia, ha tenido gran importancia por las diferentes materias primas que se obtienen de él. Por ejemplo, el grano se utiliza para la obtención de almidón y aceites para consumo humano, y las fibras vegetales como alimento de los animales. Es una planta con gran poder nutritivo y propiedades antioxidantes, que se utiliza como sustitutivo del trigo para las personas intolerantes al gluten(Huercasa, 2021).

También, el maíz se utiliza para la obtención de "energía verde" o biocombustibles a partir de su grano o su material vegetal (López González, 2015).

1.1.1 *El maíz en el mundo*

El maíz es un cultivo domesticado en el centro de América, concretamente hace aproximadamente 7000 años en México. Desde entonces ha tenido una gran utilidad a medida que el ser humano ha evolucionado(Martínez Álvarez, 2022).

La producción en el año 2021 fue de 1.210 millones de toneladas superando la producción del trigo y arroz. Sin embargo, no fue el cultivo principal en cuanto a superficie cultivada, estando por debajo del trigo y arroz. A lo largo de la historia su popularidad ha aumentado debido a las mejoras genéticas y el aumento de las producciones (Figura 1).

En los últimos 20 años a nivel mundial se produjo un incremento del 46%, puesto que en el año 2000 la superficie de maíz grano cosechado fue de 136.926.264 hectáreas, siendo el tercer cultivo principal y en el año 2010, superando al cultivo de arroz, 165.329.613 hectáreas(FAO, 2023).

Los últimos años, ha tenido esa misma tendencia alcista, situándose cerca de la primera posición. Este incremento de producción se puede deber a diversos factores como el cambio climático, una mayor demanda de producción o un mejor manejo del cultivo por parte del hombre(FAO, 2023).

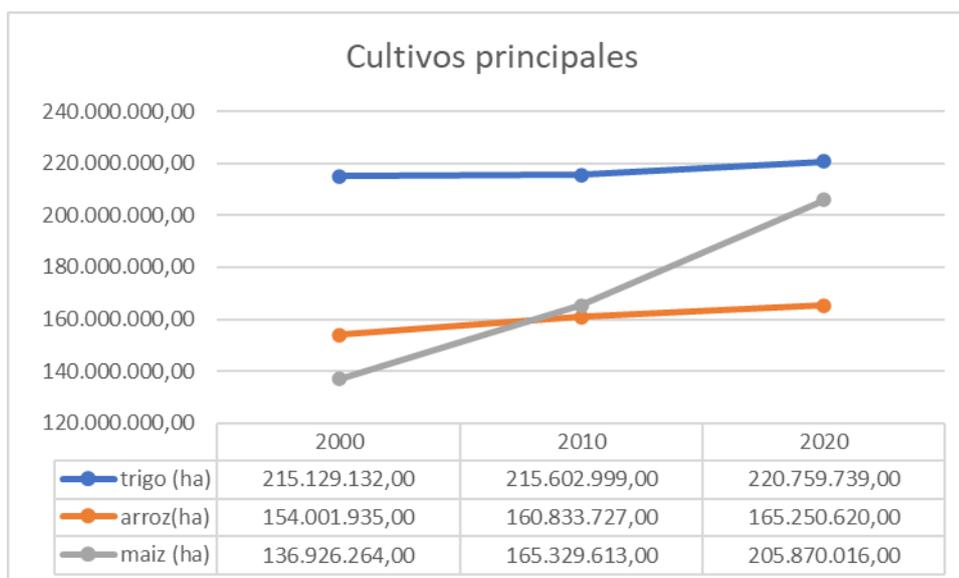


Figura 1. Evolución de la superficie (ha) de los tres cultivos cerealistas principales a nivel mundial, entre los años 2000-2021 (FAO, 2023). En color azul corresponde al trigo, en color naranja es del arroz y en color gris pertenece al maíz.

El aumento de superficie cultivada (Figura 1) con el paso del tiempo se tradujo en un aumento de producción (Figura 2), ya que en el año 2001 la producción de maíz era de 615.141.882,5 toneladas y en el año 2021 la producción de maíz aumentó hasta los 1.210 millones de toneladas, lo que supuso un aumento de casi el doble (FAO, 2023).

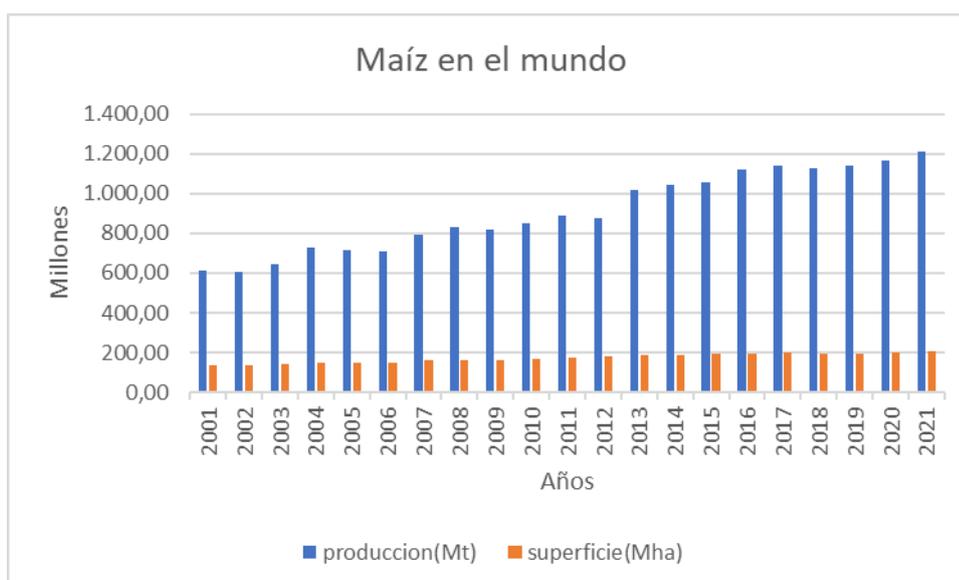


Figura 2. Evolución de la superficie (Mha) y producción (Mt) de maíz en el mundo entre los años 2001-2021 (FAO,2023). En color azul se representa la producción de maíz y en color naranja la superficie cultivada.

En los cinco continentes en el año 2020, Asia y América han sido los que albergaron más del 65% de la superficie de cultivo del maíz mundial (Tabla 1), dejando a Europa en cuarto lugar con mayor superficie de maíz. En cuanto a producción en ese mismo año, América ha supuesto el 50 % del total mundial, mientras que Europa ha sido un 11%, por detrás de Asia, siendo el tercer continente más productivo, con 123.098.595 toneladas de maíz. Cabe destacar la escasa proporcionalidad entre superficie y producción, sobre todo en el continente africano(FAO, 2023).

Tabla 1. Superficie (ha) y producción (t) de maíces en los cinco continentes(FAO, 2023)

| AÑO-2020 | ASIA | EUROPA | AFRICA | AMÉRICA | OCEANÍA |
|-----------------------|-------------|---------------|---------------|----------------|----------------|
| Superficie(ha) | 65.742.065 | 19.280.118 | 41.527320 | 73.386.098 | 58.806 |
| Producción(t) | 365.111.405 | 123.098.595 | 93.972.614,4 | 580.331.839 | 483.100,74 |

1.1.2. El maíz en Europa

En el año 2020 en Europa, los países con mayor producción de maíz han sido: Ucrania, Hungría y Francia, liderando el primero de ellos con 30.290.340 toneladas (Figura 3). A su vez, España ha sido el sexto productor de maíz junto a Alemania, con 4.214.100 toneladas, suponiendo el 5% de la producción europea en el año 2020(FAO, 2023).

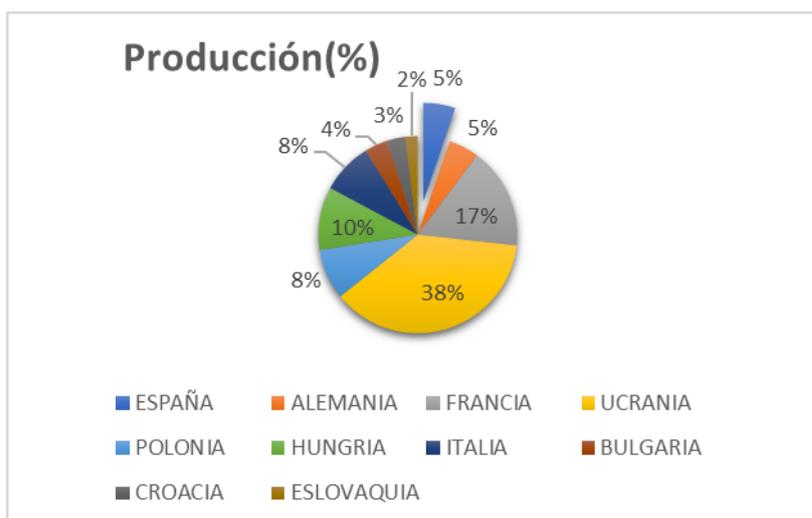


Figura 3. Producción de maíz (%) de los 10 países más productores de maíz en el continente europeo en el año 2021(FAO, 2023).

1.1.3 El cultivo de maíz en España

En España, el cultivo de maíz se desarrolla en su gran mayoría en zonas de regadío, salvo alguna zona de secano debido a sus altas y continuas pluviometrías como las zonas de Galicia, la cornisa Cantábrica y alguna zona de Gerona(Villau,2021). Entre los cereales en el año 2022, fue el tercer cultivo principal a nivel nacional, situándose por debajo de la cebada y el trigo en cuanto a producción y superficie (Figura 4), debido a que la superficie de regadío nacional en el año 2021 ha sido en torno 22,85% de la superficie agrícola, el resto era secano donde se ha dedicado en su gran mayoría a cebada y otros cultivos como olivo, vid, etc. (MAGRAMA, 2023).



Figura 4. Cultivos cerealistas principales (maíz, trigo y cebada) en España en el año 2020. En color azul se representa la producción (t) y en naranja la superficie (ha)(MAGRAMA, 2023).

1.1.4 El cultivo de maíz en Castilla y León

La superficie dedicada a maíz en Castilla y León en 2020 ha sido de 115.582 ha de maíz, representando un 33,62% de la superficie total dedicada a este cultivo en España. En cuanto a la producción en esta comunidad, en el año 2020 ha sido de 1.483.411 toneladas, con un rendimiento de 12.834 kg/ha(Campo, 2023). En el año 2022, se cultivaron 108.553 hectáreas, un ligero descenso con respecto al año 2020 debido al aumento de los costes de producción, la inestabilidad en cuanto al precio del maíz y las medidas impuestas recientemente provenientes de la política agraria común (PAC) (ITACYL,2023).

En el año 2022 la superficie de maíz en la provincia de León ha sido de 73.715 ha, suponiendo el 68% de la superficie agraria total de la comunidad (Figura 5) siendo así la provincia con mayor superficie y producción de maíz de España con una producción de 928.809 toneladas(MAGRAMA, 2023).

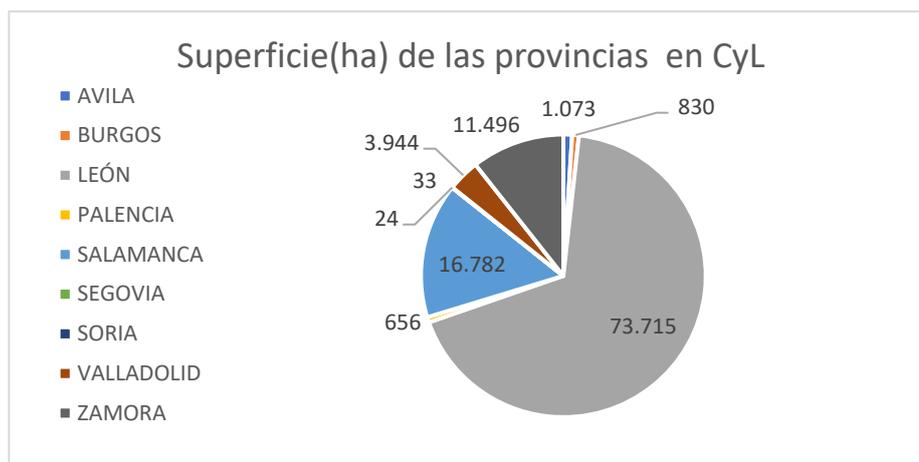


Figura 5. Superficie (ha) de cultivo de maíz, la comunidad de Castilla y León, en gris la provincia de León, en azul la provincia de Salamanca y en gris oscuro Zamora(MAPAMA, 2023).

1.2 Clasificación taxonómica de la planta de maíz.

El maíz es un cereal perteneciente a la familia Poaceae. Se trata de una planta monocotiledónea anual y posee un ciclo vegetativo muy amplio. La clasificación taxonómica es la que se describe en la Tabla 2 (Romero,2014):

Tabla 2. Descripción taxonómica del maíz.

| | |
|-------------------|-----------------|
| Reino | Plantae |
| División | Magnoliophyta |
| Clase | Liliopsida |
| Subclase | Commelinidae |
| Orden | Poales |
| Familia | Poaceae |
| Subfamilia | Panicoideae |
| Genero | <i>Zea</i> |
| Especie | <i>Zea mays</i> |

1.3 Descripción botánica de la planta de maíz

El maíz es una planta C4, con más actividad fotosintética por unidad de superficie de las hojas que una planta C3, cuando está expuesta a determinadas condiciones de temperatura y luminosidad. También las plantas C4 no llevan a cabo la fotorrespiración lo que limita las pérdidas de CO₂ (Saavedra, 2020)

El sistema radicular es fasciculado y proporciona anclaje, absorción de agua y nutrientes del suelo. También en ocasiones, a una distancia del suelo entre el primer o el segundo nudo del tallo (5-15 cm) salen unas raíces, llamadas raíces adventicias o de sujeción (Figura 6), cuya función es la de favorecer la fijación al suelo (Paliwal, 2000).



Figura 6. Detalle de las raíces, donde se aprecian raíces adventicias. (Foto: propia)

El tallo es simple y erecto (Figura 7), con muchos nudos y entre nudos y una altura comprendida entre 1-4 m. Está compuesto por tres estructuras, la epidermis (protección de la planta), la pared (contiene los haces vasculares donde circulan los nutrientes) y la médula (de carácter esponjoso donde se acumulan las sustancias de reservas de la planta) (Saavedra, 2014).



Figura 7. Tallo de maíz. Escuela de Ingeniería Agraria y Forestal (Foto: elaboración propia.)

Las hojas son verdes, lanceoladas y dependiendo de la variedad pueden ser más largas o anchas. Son alternas, paralelinervias y se encuentran abrazadas al tallo. En el haz tiene pilosidades (Figura 8). Se componen de vaina (origen en el nudo del tallo y rodea el tallo.), lígula (situada en la parte final de la vaina y el comiendo de la lámina) y la lámina.



Figura 8. Hojas del maíz, donde se aprecia la lígula y pilosidad(Osca Lluch y Gómez de Barreda Ferraz, 2015).



Figura 9. Floración femenina. (Foto: propia)

En cuanto a la inflorescencia, al ser una planta monóica, presenta flor masculina y flor femenina. La flor masculina tiene forma de panícula (Figura 10), generalmente color amarillo, aunque puede ser diferente según la variedad. Presenta un eje principal y ramificaciones laterales, en cada uno se encuentran las espiguillas con dos flores donde se encuentra el polen. La disposición de la flor femenina en la planta es inferior (a media altura), dependiendo de la variedad. Pueden tener una sola axila cilíndrica (Figura 9), pero a veces disponen de dos o más. A partir de estas, se forma la mazorca con numerosas flores que están envueltas por brácteas (Paliwal, 2000).



Figura 10. Inflorescencia masculina del maíz(Osca Lluch y Gómez de Barreda Ferraz, 2015)

El grano, llamado cariósido, se encuentra en la mazorca, normalmente recubiertos por las brácteas. Este se inserta en el zuro, dependiendo de las variedades de maíz será más o menos alargado y grueso. En cuanto a la estructura del grano se distinguen en su forma y color, pudiendo ser desde redondeados hasta alargados. El

peso de cada 100 granos variar entre 20 y 30 gramos aproximadamente (Paliwal, 2000).

1.4 Ciclo del cultivo

El maíz presenta distintos tipos de ciclo según las variedades. Hay algunas que presentan ciclos temprano y otras de ciclo tardío. Este parámetro es un índice establecido por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la agricultura (FAO) en los cuales se ordena las variedades según la precocidad, basándose en los días que tarda en realizar el ciclo, desde la siembra hasta la maduración del cultivo en la zona del Corn Belt (Estados Unidos de América). Este índice (Tabla 3) va desde valores de FAO 100 (precoz) hasta FAO 1000 (Amado, 2017).

En cuanto a la integral térmica, es la suma de las temperaturas que el cultivo acumula a lo largo de su ciclo desde la siembra hasta la maduración (grano). Las distintas variedades tienen su integral térmica indicando que todos los años una variedad presenta la misma integral térmica, siendo las condiciones climáticas de la zona lo que varía, los días de duración del ciclo, por ejemplo, en años calurosos el ciclo será más corto que los años frescos (Amado, 2017).

Tabla 3. Clasificación según el índice de precocidad FAO (Martín Antonio, 2018)

| Ciclo FAO | Acumulación de grados día (GDU) | Días (Entre siembra y madurez fisiológica) |
|------------------|--|---|
| 200 | <1.826 | 86-95 |
| 300 | 1.1826-1.925 | 96-105 |
| 400 | 1.926-2000 | 106-115 |
| 500 | 2.001-2.075 | 116-120 |
| 600 | 2.076-2.125 | 121-130 |
| 700 | 2.126-2.176 | 131-140 |
| 800 | 2.177-2.227 | 141-150 |
| 900 | 2.228-2.278 | 151-160 |
| 1000 | <2.279 | 161 |

1.5 Ciclo vegetativo

Germinación. El cultivo de maíz es un cereal de primavera, dependiendo de la zona geográfica, se siembra desde principios de abril, como en la provincia de León. Se tiende a siembras tempranas, cuando hay una temperatura en torno a 10-12 °C, siendo óptima en torno a los 20°C.

La germinación se produce cuando el contenido de agua aumenta en la semilla, lo que se considera hinchado de la misma y comenzando el crecimiento radicular (fase heterótrofa). Una vez desarrollado el sistema radicular y un estado fenológico de la tercera hoja emergida, comienza la fase autótrofa, en la que la planta realiza la fotosíntesis, satisfaciendo sus necesidades energéticas (Bellido, 1991)



Figura 11. Planta de maíz emergida (Foto:(Revista Campo, 2023)

Desarrollo del sistema foliar. El cambio de fase heterótrofa a fase autótrofa es un periodo crítico para la planta. Pueden paralizar el cultivo en el estado de 3 a 4 hojas condiciones de bajas temperaturas, la asfixia radicular, fitotoxicidad o diversas carencias. Cuando ya tiene 4 hojas se aprecia el desarrollo de raíces de anclaje, las cuales crecen del primer o segundo nudo de la parte aérea. En el estado de 6 a 10 hojas a nivel del suelo se desarrolla la yema terminal, por lo que se inicia el crecimiento del tallo (Reinoso y Valenciano, 2007).



Figura 12. Crecimiento de las distintas variedades de maíz, tras la floración.

Floración. A medida que se va desarrollando el cultivo, la planta crece hasta llegar al estadio de floración masculina (Figura 12). En este punto se pasa de fase vegetativa a fase reproductiva, en la cual la panícula se desarrolla, alcanzando el punto de máximo crecimiento de la planta (Figura 13). Transcurridos unos días de la emergencia de la flora masculina, comienza la floración femenina con el alargamiento de las yemas axilares. El color de los estilos es blanquecino, que una vez polinizados se tornará a un color marrón-rojizo. En este periodo es importante que las necesidades hídricas y de nutrición sean óptimas y que no haya temperaturas superiores a los 35°C, porque se producirían pérdidas importantes de formación de grano por aborto en la floración de la espiga. (Australian government, 2008).



Figura 13. Inicio de la floración masculina en la parcela de la EIAF. (Foto: propia)

Maduración grano. Una vez concluida la floración, las sedas están de color marrón, comienza el periodo de llenado del grano, el cual pasa por los diferentes estados:

- Estado lechoso
- Estado pastoso
- Estado pastoso-duro
- Estado vitreo
- Madurez completa

Cuando se llega al punto de madurez completa, el grano tiene en torno a un 35% de humedad. El extremo del grano se ve el punto negro (*Black layer*), alcanzando el grano su peso definitivo, y por lo tanto comenzará a perder humedad. (Reinoso y Valenciano, 2007).

Durante el periodo de llenado del grano, la planta va sufriendo un proceso de secado, las primeras hojas se secan a medida que el grano va cogiendo peso.

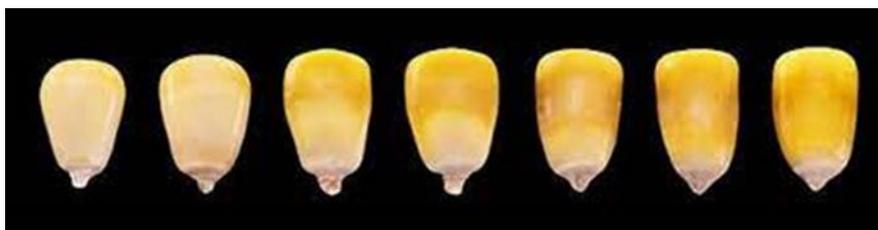


Figura 14. Estadios de la madurez fisiológica del grano. (Foto: Corteva agriscience)

1.6 Variedades de maíz en España

La producción de maíz híbrido en España se inició en el año 1950, con una superficie de producción de 5.000 ha. A partir de los años 60 se apreció grandes diferencias en cuanto a producción de variedades autóctonas y variedades híbridas de maíz, obteniendo unas producciones en híbridas a finales de la década de los 90 en torno a los 10.000 kg/ha al 14% de humedad, mientras las variedades autóctonas no pasaban de los 4.000 kg/ha. En la actualidad esas diferencias se han acrecentado, destacando los híbridos llegando a rendimientos en España de 14.000 kg/ha(Bellido, 1991).

Las variedades híbridas, tenían un porcentaje mayor de germinación lo que facilitaba su manejo y una dosificación en cuanto a granos por hectárea de semilla, manteniendo una homogeneidad de plantas en la parcela y un aumento en la eficiencia de los recursos obtenidos por la planta. También en los planes de mejora genética se desarrollaban variedades de maíz resistentes a estreses bióticos (plagas y enfermedades) y abióticos (déficit hídrico, cambios de temperaturas, etc.).(Gabriel *et al.*, 2022)

En cuanto a los ciclos de los híbridos, dependiendo de la zona geográfica de España, se siembran más precoces o tardíos según el índice FAO de precocidad, buscándose también características como la resistencia al encamado, variedades resistentes al taladro (*Ostrina nubilalis*) y resistentes a *Fusarium*(Gabriel *et al.*, 2022).

En Europa no está permitido el uso de maíces transgénicos, pero en España hay una excepción en el valle del Ebro, de maíz Bt (*Bacillus thuringiensis* contra taladro). Para conseguir inmunidad frente al taladro, expresa la proteína natural del suelo Bt, la cual es la más utilizada a nivel mundial en la lucha biológica en cultivos ecológicos y que se utiliza desde 1950 para el control natural de insectos. La seguridad de los cultivos transgénicos está garantizada por la evaluación científica realizada por la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria(Antama, 2023).

1.7 Plagas y enfermedades que afectan al maíz

Las plagas y las enfermedades suponen grandes pérdidas al año en las producciones. Se estiman un 40% de la producción global de cultivos (FAO,2021) y pueden ser debidas al aumento de producción, al uso reiterado de fitosanitarios, al cambio climático, al aumento de las plagas y enfermedades causado por el monocultivo favoreciendo su propagación.

Las principales plagas y enfermedades que afectan al cultivo de maíz son las que se mencionan a continuación

Gusanos de alambre, (*Agriotes* sp.). Producen ataques las larvas en plantas jóvenes. Atacan la hoja joven produciendo su marchitamiento y, atacan en la parte enterrada del suelo. Los daños aparecen en rodales(Martín y Cepeda, 2015).

Se presentan en primavera húmedas, con suelos mal drenados y cultivos precedidos de pastos o alfalfa.

Su periodo crítico de ataque es en nascencia hasta 8-10 hojas.



Figura 15. Gusanos de alambre sobre la raíz de una planta de maíz. (Foto: Laboratorio de Diagnóstico-Universidad de León)

Gusanos grises (*Agrotis sp*). Las larvas permanecen durante el día enterradas y en la noche atacan las plantas. Causan importantes daños en las primeras etapas de desarrollo del maíz. Los tallos son cortados o defoliados a nivel del cuello. Se ve favorecida cuando los inviernos son suaves y primaveras húmedas(Martín y Cepeda, 2015).

Su periodo crítico de ataque es desde la nascencia hasta las 3-4 primeras hojas.



Figura 16. Larva sobre planta de maíz. (Foto: Laboratorio de Diagnóstico-Universidad de León)

Taladro del Maíz (*Sesamia nonagrioides* Lefebvre). Es un lepidóptero, cuya larva produce daños al alimentarse de las plantas. Produce debilitamiento del tallo reduciendo vigor de la planta (problemas de encamado) y la reducción del peso final del grano. El ataque en plantas jóvenes puede provocar la muerte (Martín y Cepeda, 2015).

Su periodo crítico de ataque es desde mayo hasta final de ciclo.



Figura 17. Larva de taladro en el interior de un tallo de maíz.
(Foto: INTIA)

Heliotis (*Helicoverpa armígera* Hübner). Es un lepidóptero noctuido cuyas hembras realizan la puesta en las axilas de las hojas. La larva puede medir unos 4 cm y produce daños en los estilos de la mazorca y se alimenta de los granos en estado lechoso. La última generación, una vez completado el estadio de larva, forma un capullo enterrado en el suelo entrando en diapausa hasta la primavera del año siguiente (Martín y Cepeda, 2015).

Su periodo crítico de ataque es durante la floración de maíz.



Figura 18. Daño producido por Heliotis (Foto: propia)

Pulgones. El maíz puede ser atacado por diversas especies de pulgones, pero la más importante es *Rhopalosiphum padi* L. Provocan daños en etapas tardías. Se desarrollan sobre las hojas de las plantas alimentándose de tejidos y provocando su deformación. También son foco de transmisión de virosis (Martín y Cepeda, 2015).

Su periodo crítico de ataque es en las etapas tardías de maíz.



Figura 19. Colonia de *Rhopalosiphum padi* sobre hoja de maíz. (Foto: Laboratorio de Diagnóstico-Universidad de León)

Ácaros. (*Tetranychus urticae* Koch) Son de pequeño tamaño, entre 0,3 y 0,5 mm, con el cuerpo ovalado, y cuatro pares de patas. El color varía desde el verde pálido o amarillo a verde oscuro, pero las hembras invernantes son siempre de color rojo.

Los adultos invernan en otras plantas de los bordes de las parcelas o cultivos (Innovagri, 2020). Con el aumento de las temperaturas y humedades bajas, los ácaros colonizan el envés de la hoja, donde se protegen mediante finos hilos de seda. Las hojas presentan síntomas de amarilleo y un estriado longitudinal. Estos síntomas normalmente se presentan en los bordes de la parcela.

Roya común (*Puccinia sorghi* Schwein). Se caracteriza por la aparición en las hojas de pequeñas pústulas rojizas (figura 21) que, con el tiempo, se vuelven de un tono pardo. Las temperaturas entre 15-25°C y alto porcentaje de humedad favorecen

la reproducción del hongo. El tejido de hojas jóvenes es más sensible que las hojas viejas(Martin y Cepeda, 2015).

Su periodo crítico es a lo largo del ciclo del cultivo.



Figura 20. Síntomas de roya en la hoja de maíz. (Foto: Pioneer)

Podredumbres fúngicas del tallo. Esta enfermedad es producida por diversos hongos, pero en especial los del género *Fusarium*. Causan pudriciones en los tejidos internos del tallo, rotura, encamado e incluso hasta la muerte de las plantas.

La planta presenta diversos síntomas, como marchitamiento, las hojas adquieren un tono grisáceo, las mazorcas se caen al suelo, y una vez avanzada la enfermedad al interior del tallo pierde consistencia y produce el encamado. Las plantas atacadas presentan una deficiencia de llenado de los granos, pudrición de las mazorcas al estar en contacto del suelo y disminución de los rendimientos de cosecha, ya que dificulta su cosecha(Martin y Cepeda, 2015).

Los hongos se desarrollan con altas temperaturas y con un alto porcentaje de humedad, lo que favorece a su desarrollo.

Su periodo crítico es durante la época de floración del cultivo.

Carbón. Es causado por el hongo (*Ustilago maydis* (DC.) Corda), ataca al tallo, mazorca, hojas e incluso a la raíz.

Los síntomas son grandes agallas de tono blanquecino, en su interior se forman masas de esporas pulverulentas de color pardo oscuro. La formación de agallas se presenta normalmente sobre heridas en la planta debido al laboreo, donde el hongo penetra con facilidad(Reinoso y Valenciano, 2007).

Su periodo crítico es durante todo el ciclo del cultivo.



Figura 21. Carbón en planta de maíz. (Foto: Jesús Pérez Fernández)

Carbón de la espiga (*Sphacelotheca reiliana* (Kuhn) G.P.Clinton). La infección es sistémica, el hongo infecta las plántulas y se desarrolla dentro de éstas, sin manifestar los síntomas hasta la época de floración, tanto en inflorescencias masculinas como femeninas. Presenta un desarrollo anormal de la inflorescencia y esporas de color negras en la misma.

1.8 Plantas adventicias que pueden afectar al maíz.

Las plantas adventicias pueden ser hospedantes de diversas plagas y enfermedades siendo una fuente de infección. También suponen, desde la germinación del cultivo hasta un estadio de 4-6 hojas, una fuerte competencia por nutrientes y agua, causando que en etapas tempranas no se desarrolle con gran vigor, etc. Las plantas adventicias más importantes son(Martín y Cepeda, 2015):

- ***Amaranthus retroflexus* L.**
- ***Cirsium arvense* (L.) Scop.**
- ***Chenopodium álbum* L.**
- ***Datura stramonium* L.**
- ***Polygonum lapathifolium* L.**
- ***Sinapis arvensis* L.**
- ***Abutilon Theophrasti* Medicus.**
- ***Cynodon dactylon* (L.) Pers.**
- ***Cyperus rotundus* L.**

1.9 Manejo del cultivo.

La preparación de la tierra es uno de los factores más importantes para el desarrollo del cultivo. Antes de la siembra se realiza una aplicación de abonado de fondo ajustado a las necesidades del cultivo.

En cuanto a la preparación del terreno es de vital importancia controlar las plantas adventicias y evitar la compactación, permitiendo que el sistema radicular profundice horizontes en busca de nutrientes, agua y por consiguiente el cultivo se mantenga sano y con un buen vigor.

En la siembra se requiere un buen lecho de siembra mediante medios mecánicos como el uso de grada rotativa para asegurar el máximo porcentaje de germinación.

Cuando el cultivo está en el estado de 4-5 hojas se aplica productos fitosanitarios para el control de plantas adventicias.

El maíz es una planta exigente en cuanto a necesidades hídricas, a partir del estado de 6-8 hojas. El riego se desarrolla más ampliamente en el apartado 1.9.1 Riego.

Una vez maduro el grano, la cosecha para grano se realiza con medios mecánicos. Para una recolección óptima el grano deberá tener una humedad del 19 - 23 % humedad, donde las pérdidas serán ínfimas y los costes de secadero no serán muy altos.

1.8.1 Riego

En España en 2023 según el Instituto Geográfico Nacional (IGN) la superficie de regadío es de alrededor 3.700.000 ha, suponiendo el 80% del gasto de agua en España (Samaniego, 2023). En Castilla y León la superficie de regadío es de 472.000 hectáreas de regadío, siendo León la provincia con más superficie de regadío con 126.500 hectáreas (MAPAMA, 2023).

En España el agua es un factor limitante, por lo que se tiene una gran necesidad por tener el riego lo más eficiente posible. En la provincia de León se han desarrollado grandes inversiones en la modernización e implantación de nuevos regadíos con el fin de tener un riego óptimo y limitar las pérdidas de agua. Con ello se

puede lograr un mayor ahorro en el consumo de agua al realizar un uso sostenible y que se puedan realizar nuevas inversiones para dar uso al agua que sobra en otras nuevas superficies de regadío (ITACYL,2022). En la provincia de León los sistemas que más predominan de riego son el de gravedad, aspersión y riego localizado mediante gotero.

La planta de maíz es muy eficiente en cuanto al aprovechamiento del agua. Necesita 350 litros de agua para producir 1 kg de materia seca, lo que supone unas necesidades de riego medias teóricas en torno a 5500-8000 m^3/ha (Villau, 2021)

En las etapas del cultivo del maíz, las necesidades hídricas son diferentes y la presencia de estrés hídrico en cada una de ellas produce grandes pérdidas de producción ya que están relacionadas con la morfología de la planta.

En la etapa de nascencia y hasta la 6-7 hojas, hay que tener especial cuidado con el riego si se realiza a pie o gravedad ya que un exceso de agua provocaría asfixia radicular derivando en una parada de crecimiento vegetativo y marchitamiento de las hojas. Si sufre estrés hídrico severo en este periodo se limita el crecimiento final de la planta, suponiendo un 10% de pérdida de cosecha(Villau, 2021). Desde la 7ª hoja hasta la floración, el estrés afecta al crecimiento vegetativo, pero también al desarrollo de la mazorca en cuanto al número de hileras, longitud y número de flores no fecundadas. Por ello los estados más sensibles de la planta de maíz son la polinización y la fecundación de las flores. En el llenado de granos, afectara directamente ala mazorca, que los granos de la punta de la mazorca no se formaran causando unas pérdidas entorno al 20 – 30%(Villau, 2021).

En cuanto el grano llega al estado de madurez, no requiere de agua, ya que se ha completado el ciclo y por lo tanto comienza a disminuir el contenido de humedad.

2. OBJETIVOS

Para obtener una producción del maíz que sea sostenible y que se adapte a los cambios se crean y emplean nuevas variedades capaces de producir granos en situaciones de estrés abiótico. No todas tienen los mismos efectos bajo diferentes condiciones de cultivo o ambientes, por lo que es necesario someterlos al proceso de evaluación en el que se analizan determinadas características agronómicas.

El objetivo principal de este trabajo es estudiar la adaptabilidad de cincuenta y seis variedades de maíz a la climatología de León y en condiciones de riego deficitario, con el objetivo de ver cuáles son aquellos con un posible interés comercial.

Los objetivos específicos son:

- Evaluar el desarrollo de las plantas de las variedades de maíz en condiciones de riego óptimo.
- Evaluar el desarrollo de las plantas de las variedades de maíz en condiciones de riego deficitario.
- Estudiar el desarrollo de las mazorcas y su producción en la parcela de ensayo en ambas condiciones.
- Identificar las variedades de maíz con un rendimiento óptimo en condiciones de riego óptimo y de riego deficitario.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación y características de las parcelas

Las parcelas utilizadas en las que llevó a cabo el ensayo se ubican en la ciudad de León, en las dependencias de la Escuela de Ingeniería Agraria y Forestal (EIAF).

*Ubicación: Av. Portugal 41; 24071 León (León)

*Ref. Catastral: 7777206TN8177N0000OY

*Uso de la parcela: Agrario (Sede Electrónica de Catastro, 2023)

El ensayo se situó en dos zonas dentro de la finca de la EIAF, las cuales estaban anexas a cultivos de cereal de invierno, frutales y viñedos. Las características fisicoquímicas de la zona del estudio se describen en la Tabla 4.

Tabla 4. Análisis físico-químico de las parcelas de ensayo.

| Parámetro | Valor |
|-------------------------------------|-------|
| Materia Orgánica (%) | 3,33 |
| Nitrógeno total (%) | 0,25 |
| Relación C/N | 7,79 |
| Fósforo (Olsen) (ppm) | 12,31 |
| Potasio (cmol(+)*kg ⁻¹) | 0,22 |

Se realizaron dos ensayos adyacentes, uno con riego óptimo y otro con déficit hídrico en los que se sembraron 56 variedades de maíz en tres bloques. Los bloques 1 y 2 se situaron en una zona y el bloque 3 en otra parte de la finca de la EIAF (Figura 22).



Figura 22. Plano de la finca de la EIAF. Donde se encuentran los bloques 1,2 y 3. Riego óptimo color azul y riego deficitario color naranja. (Foto: Google maps y modificada.)

3.2 Material vegetal

Se sembraron 56 variedades de maíz proporcionadas por la Misión Biológica de Pontevedra, del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) adscrito al área de Ciencias Agrarias que se ocupa de los principales cultivos de Galicia.

Las variedades estudiadas fueron las que se mencionan en la tabla.

Tabla 5. Variedades de maíz empleadas en el ensayo.

| Código | Fórmula | Variedad |
|---------------|----------------|----------------------------|
| V1 | EVA_Zm_00025 | |
| V2 | EVA_Zm_00053 | Zuti tvrdunac |
| V3 | EVA_Zm_00074 | Nostrano dell isola |
| V4 | EVA_Zm_00075 | Melgun bianco |
| V5 | EVA_Zm_00076 | Scagliolo |
| V6 | EVA_Zm_00081 | Scagliolo marne |
| V7 | EVA_Zm_00082 | Marano vicentino |
| V8 | EVA_Zm_00091 | Rodindia |
| V9 | EVA_Zm_00159 | Aduna |
| V10 | EVA_Zm_00160 | Amarillo de Panticosa |
| V11 | EVA_Zm_00158 | Amarillo precoz de Villena |
| V12 | EVA_Zm_00135 | Anta |
| V13 | EVA_Zm_00125 | Ares |
| V14 | EVA_Zm_00094 | Arredondo |
| V15 | EVA_Zm_00099 | Basto/Enano levantino |
| V16 | EVA_Zm_00101 | Berguedà |
| V17 | EVA_Zm_00151 | Cabeza de Puente la Reina |
| V18 | EVA_Zm_00127 | Calvelo |
| V19 | EVA_Zm_00198 | Canena |
| V20 | EVA_Zm_00119 | Conchas |
| V21 | EVA_Zm_00174 | Covelo |
| V22 | EVA_Zm_00143 | Cuña |
| V23 | EVA_Zm_00114 | Gaxate |
| V24 | EVA_Zm_00189 | Golada |
| V25 | EVA_Zm_00164 | Granada |
| V26 | EVA_Zm_00108 | Grano de trigo |
| V27 | EVA_Zm_00093 | Grano de trigo/Rosero |
| V28 | EVA_Zm_00124 | Guláns |
| V29 | EVA_Zm_00137 | Norteño largo |
| V30 | EVA_Zm_00122 | Posada de Llanera |
| V31 | EVA_Zm_00132 | Rastrojero |
| V32 | EVA_Zm_00147 | Regadas |
| V33 | EVA_Zm_00161 | Rojo de Tolosa |

Tabla 5 Variedades de maíz empleadas en el ensayo (continuación)

| Código | Fórmula | Variedad |
|---------------|----------------------|-----------------------------|
| V34 | EVA_Zm_00155 | Rojo grande de Bernedo |
| V35 | EVA_Zm_00150 | Rojo pequeño de Bernedo |
| V36 | EVA_Zm_00187 | Santiago |
| V37 | EVA_Zm_00121 | Somiedo |
| V38 | EVA_Zm_00139 | Vasco |
| V39 | EVA_Zm_00112 | Villamartín |
| V40 | EVA_Zm_00095 | Villanueva del Arzobispo |
| V41 | EVA_Zm_00201 | Xeve |
| V42 | EVA_Zm_00202 | Milho amarelo |
| V43 | EVA_Zm_00203 | Milho verdial |
| V44 | EVA_Zm_00205 | Milho amarelo |
| V45 | EVA_Zm_00206 | Milho amarelo |
| V46 | EVA_Zm_00207 | Milho moreno |
| V47 | EVA_Zm_00212 | Milho amarelo de sequeiro |
| V48 | EVA_Zm_00213 | Milho de cunha |
| V49 | EVA_Zm_00214 | Milho amarelo |
| V50 | EVA_Zm_00217 | Milho amarelo |
| V51 | EVA_Zm_00218 | Milho branco pérola verdial |
| V52 | CARDIF F1 hybrid | CARDIF F1 hybrid |
| V53 | ES-FARADAY mid-early | ES-FARADAY mid-early |
| V54 | KAMPARIS | KAMPARIS |
| V55 | MAS 59K | MAS 59K |
| V56 | KERUBINO | KERUBINO |

3.3 Condiciones climatológicas de la zona del ensayo

Según los datos a 20 años de la estación meteorológica de Mansilla mayor (LE-02)(InfoRiego, 2023), y tras la realización de un estudio bioclimático (anexo III) con el programa Procli(Macia, 2023), que se encuentra León en una zona semiárida según el índice de Dantín -Revenge, y se localiza en un clima mediterráneo según el índice de Vernet.

Tabla 6. Valores medios mensuales de temperatura y precipitación acumulada de la estación meteorológica de Mansilla Mayor (LE-02) de los últimos 20 años(Macia, 2023).

| Mes | ene | feb | mar | abr | may | jun | jul | ago | sep | oct | nov | dic |
|--------------------------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| P (mm) | 33,0 | 31,0 | 32,0 | 48,0 | 42,0 | 35,0 | 15,0 | 17,0 | 23,0 | 69,0 | 48,0 | 43,0 |
| T media (°C) | 2,0 | 3,0 | 6,0 | 9,0 | 13,0 | 17,0 | 19,0 | 18,0 | 15,0 | 11,0 | 6,0 | 3,0 |
| T media máx. (°C) | 8,0 | 10,0 | 13,0 | 16,0 | 21,0 | 25,0 | 28,0 | 27,0 | 24,0 | 18,0 | 12,0 | 9,0 |
| T media mín. (°C) | -2,0 | -2,0 | -0,0 | 2,0 | 5,0 | 9,0 | 10,0 | 9,0 | 7,0 | 4,0 | 0,0 | -1,0 |
| T máx. (°C) | 19,0 | 20,0 | 25,0 | 28,0 | 31,0 | 36,0 | 38,0 | 40,0 | 34,0 | 30,0 | 22,0 | 20,0 |
| T mín. (°C) | -12,0 | -11,0 | -13,0 | -6,0 | -2,0 | 0,0 | 3,0 | 2,0 | -0,0 | -4,0 | -8,0 | -21,0 |

*Siendo P la precipitación y T la temperatura.

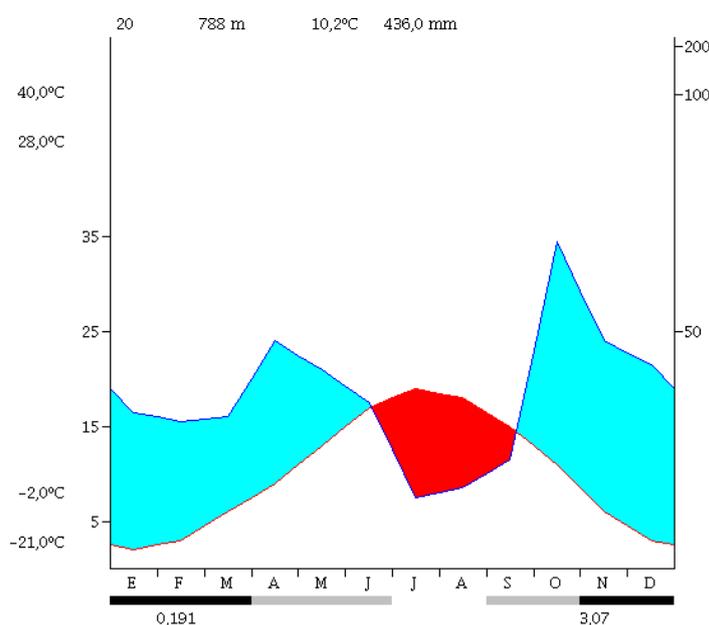


Figura 23. Climograma de Walter-Lieth de la zona de León.

Según el climograma para la zona de León (Figura 23), concretamente con los datos de la estación meteorológica de estudio, la temperatura media anual es de 10,2°C con una precipitación anual media de 436 mm. En cuanto a las temperaturas absolutas, son de 40°C para las máximas y de -21°C para las mínimas. Las temperaturas máximas y mínimas media son de 28°C y de -2°C respectivamente. Durante los meses de noviembre y marzo se dan heladas con frecuencia, mientras que en los meses de abril hasta junio y de septiembre a octubre hay posibilidades de heladas. El periodo en el que la línea de precipitaciones se halla por debajo de la de temperaturas es de 3,07 meses, comprendido entre junio y septiembre. Dicho periodo corresponde al periodo estival, donde se produce el desarrollo vegetativo de las plantas de maíz. Por lo que, durante estos meses, es necesario aplicar el riego en el cultivo.

3.4 Manejo de la parcela de ensayo

3.4.1 Preparación del terreno y siembra

Se realizó un laboreo primario mediante medios mecánicos como el tractor y el arado de vertedera con una profundidad de 25 cm. A continuación, se dio un pase de grada rotativa para nivelar y trabajar el terreno.

Se aplicó el mismo día de la siembra 300 kg/ha de un abono de fondo con la composición NPK 8-15-15. También se marcaron los surcos con un aricador.

La siembra se realizó los días 21 y 24 de abril. El primer día se sembraron los bloques 1 y 2 y el segundo día bloque 3.



Figura 24. Siembra de las parcelas en la EIAF. (Foto: propia)

Se depositó manualmente la semilla en la parte baja del surco y después se tapó con la ayuda de una azada. Se sembró un surco por variedad con 25 semillas/surco, por condición y por bloque, de tal manera que cada variedad estuviera en cada bloque y en riego óptimo y riego deficitario. La distancia entre semillas fue de 18 cm y la distancia en surcos 55 cm.

3.4.2 Operaciones en el cultivo

Para el control de plantas adventicias en la parcela de ensayo, se aplicó herbicida FORAMSULFURON 3 % + TIENCARBAZONA-METIL 1 % (Monsoon® Active, Bayer) con una dosis de 1,5 l/ha/300 l de caldo (200 ml para una mochila de 15 l). Dicha aplicación se realizó a mediados de junio.

A finales del mes de junio se realizó un abonado de cobertera con 400 kg/ha de un abonado nitrogenado NO_3NH_4 27 %. Para favorecer la incorporación del abono y controlar las plantas adventicias se realizó un pase con un aricador-apocador

3.4.3. Riego

Tras la siembra debido a las condiciones climáticas, se apreció costra sobre el terreno y falta de humedad, por lo que se instaló el riego por aspersión para proporcionar riegos de apoyo para ayudar a la germinación. La duración del riego se estableció de una hora, dos veces por semana, desde el día 5 de mayo hasta el 25 de mayo.

Tras el pase del aricador-aporcado se empezó a regar todas las parcelas del ensayo sin distinción (finales de junio). Se aplicó un riego por aspersión cada semana durante 4 horas hasta mediados de julio cuando se aplicó la diferenciación del riego. A continuación, para el riego normal u óptimo se regó durante 4 horas una vez a la semana y para el riego deficitario fue durante 2 h una vez a la semana.

Se mantuvieron los riegos hasta la última semana de agosto, cuando las plantas de maíz completaron su ciclo.

3.4.4 Cosecha

Se realizó el día 6 y 7 de noviembre, donde se recogieron las mazorcas para su posterior evaluación. Se separaron de la planta y se almacenaron a una temperatura de entre 20-22 °C.

3.5 Parámetros evaluados tras la siembra

3.5.1 Germinación y vigor temprano

Se evaluó la germinación contando las semillas emergidas de cada surco (de cada variedad), condición de riego y bloque. Se realizaron conteos de germinación dos veces a la semana hasta los 42 días tras la siembra.

Se evaluó el vigor temprano, es decir, el aspecto general de la planta (tamaño, color, forma...) 5 semanas después de la siembra. Se utilizó una escala de 1 al 9, siendo el valor de 1 para plantas muy débiles y el valor de 9 para plantas muy vigorosas.

3.5.2 Floración y altura tras la floración

En cuanto a la floración, tanto masculina como femenina, se contabilizó el día a partir del cual la mitad de las plantas de cada variedad, bloque y condición de riego formaron por completo la flor, en el caso de las masculinas cuando las anteras estaban desplegadas y las femeninas cuando presentaron tubos polínicos o sedas. Además, se calculó el índice de sequía, calculando la diferencia que hay entre los días que tardó en producirse la floración masculina y la femenina.

Se midió la altura de la planta después de la floración, utilizando para ello una cinta métrica. Se tomó la altura de 10 plantas de cada variedad, bloque y condición de riego, midiendo desde el suelo hasta el ápice del pendón.

3.6 Parámetros evaluados tras cosecha

Se realizó la cosecha durante el mes de noviembre cuando las plantas habían completado su ciclo.

Se separaron las mazorcas de cada variedad, bloque y condición de riego, se contaron y pesaron. Se seleccionaron 5 mazorcas al azar para la evaluación de otros parámetros. Se eliminaron las mazorcas que se consideraron no productivas bien

porque no había formado semillas, no estaban maduras o bien estaban colonizadas por *Ustilago* sp. (Figura 25)



Figura 25. Mazorcas no productivas, en la figura de la izquierda colonizadas por *Ustilago* sp y las de la derecha mazorcas que no llegaron a madurar.

De cinco mazorcas seleccionadas de cada variedad, bloque y condición de riego, se evaluó el rendimiento. Para ello se pesaron enteras, se desgranaron (Figura 26) y se pesó el grano resultante. El desgranado se realizó con ayuda de un desgranador manual. Se midió el contenido de humedad del grano de cada híbrido y bloque con la ayuda de un medidor eléctrico (Thermo-hydro Wile 65, Tripette & Reanaud, Francia). Para calcular el rendimiento se siguió la fórmula:

$$REDIM \left(\frac{t}{ha} \right) = \frac{PESPAR (kg) \times (100 - HUMED) \times PESGRA 5 (g)}{Superficie(m2) \times 8,6 \times PESTOT 5 (g)}$$

Donde:

- RENDIM: rendimiento grano
- PESPAR: peso de todas las mazorcas del tratamiento y bloque
- HUMED: humedad del grano
- PESGRA5: peso grano de 5 mazorcas
- PESTOT5: peso total de las 5 mazorcas
- 8,6: Factor de corrección humedad al 14%



Figura 26. En la figura de la izquierda, se ve un desgranador manual y en la imagen de la derecha un medidor de humedad.

3.7 Análisis estadístico

Los resultados obtenidos se analizaron mediante test de normalidad, de homogeneidad de varianzas y análisis de varianza de dos vías (ANOVA) con dos factores: riego (normal y deficitario) y variedades de maíz (56 variedades, Tabla 6) y la comparación de medias (Duncan $p < 0,05$) con el programa informático IBM SPSS (IBM Statistics for Windows, Versión 26.0. Amonk, NY: IBM Corp).

4. RESULTADOS

Tras realizar la prueba de normalidad Kolmogórov-Smirnov y el test de homogeneidad de varianzas de Levene, se comprobó que los datos se ajustaron a una normal y que las varianzas fueron iguales. Se realizaron los análisis de varianza mediante el ANOVA y sus posteriores análisis Post hoc de los parámetros evaluados quedando descritos a continuación.

4.1 Evaluación de la germinación

La germinación a los 42 días tras haber realizado la siembra ha presentado diferencias significativas entre bloques, de tal manera que la germinación del bloque 3 ha sido significativamente mayor que la del bloque 1 y la del 2 respectivamente.

Tras la realización de un ANOVA de 2 vías, se comprobó que no ha habido diferencias significativas en el riego, entre las variedades y en su interacción. (Tabla 7)

Centrándose en el análisis en las distintas variedades, independientemente de la condición de riego, el porcentaje de germinación de la parcela de ensayo ha sido del 36,8% y que la germinación ha variado entre ellas, pero sin diferencias significativas. La variedad V33 ha tenido un porcentaje de germinación del 75,3%, seguido de la V40 y V32. La mayoría de las variedades ha estado en torno a un 50% de germinación. La variedad V8 solo ha germinado 28,66%, de las semillas depositadas.

Tabla 7. Pruebas de efectos para la germinación a los 42 días del Anova de dos vías.

| Origen | Tipo III de suma de cuadrados | gl ¹ | Media cuadrática | F | Sig ² . |
|------------------|----------------------------------|-----------------|---------------------|-------|--------------------|
| Riego | 0,241 | 1 | 0,241 | 0,006 | 0,939 |
| Variedad | 1795,664 | 55 | 32,648 | 0,789 | 0,852 |
| Riego * Variedad | 1693,926 | 55 | 30,799 | 0,744 | 0,904 |
| Error | 9274,667 | 224 | 41,405 | | |
| Total | 71727,000 | 336 | | | |
| Total corregido | 12764,497 | 335 | | | |

a. R al cuadrado = 0,273 (R al cuadrado ajustada = -0,087)

1.gl : grados de libertad

2. Sig.: significancia

Factores: Riego (normal y deficitario) y variedades (56 tipos, Tabla 6)

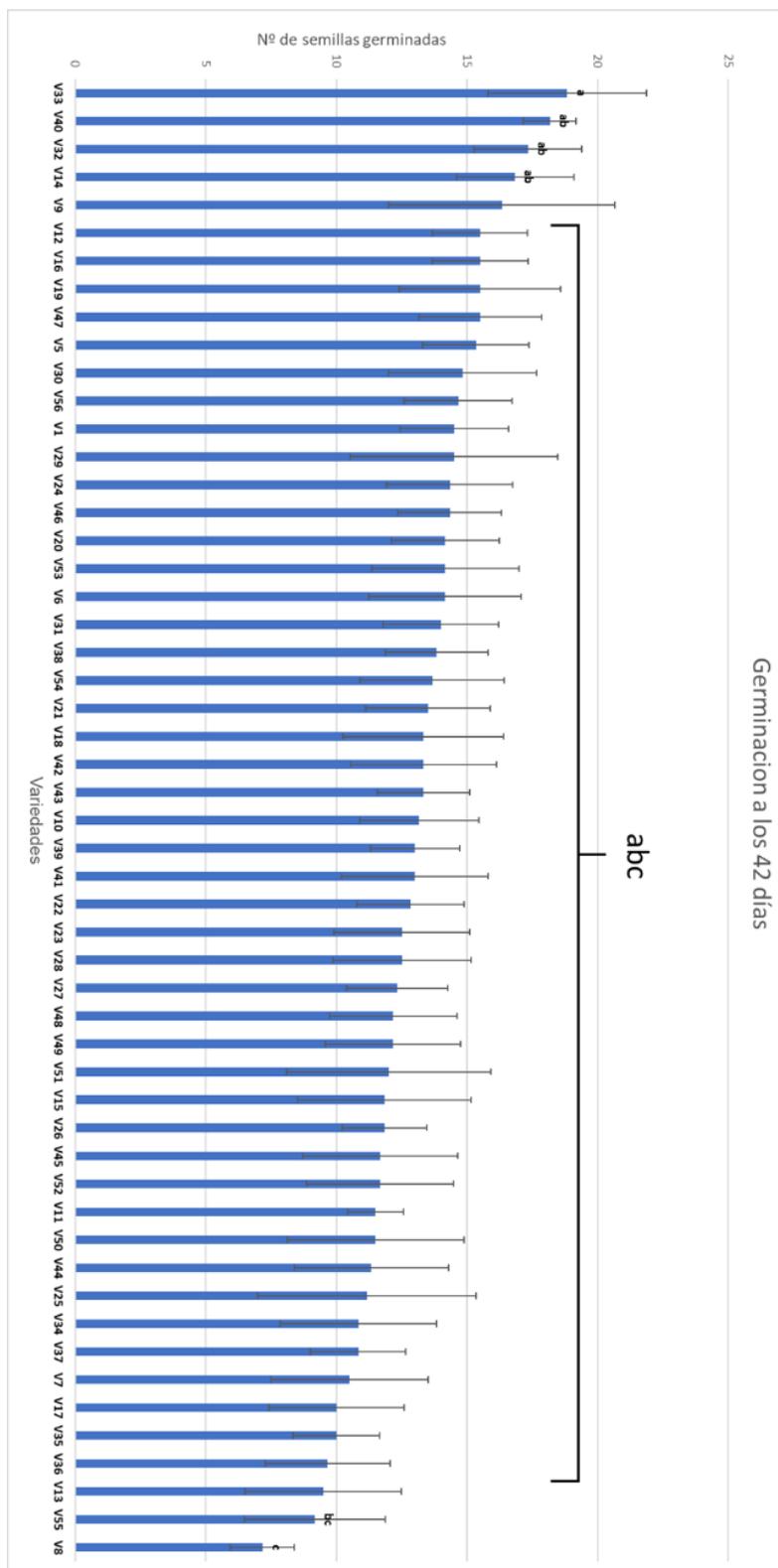


Figura 27. Evaluación de la germinación a los 42 días tras la siembra. Los valores con letras diferentes presentan diferencias significativas (test Duncan, $p < 0,05$).

4.2 Evaluación de la floración

En cuanto a la floración masculina (Figura 28), la media de todas las variedades en riego normal ha sido de 95 días, que tras la realización del ANOVA a dos vías han presentado diferencias significativas en cuanto a riego. En el caso del riego deficitario la floración masculina se ha alargado en torno a 5 días, yéndose hasta los 100 días de media tras la siembra cuando se ha aplicado menos cantidad de agua.

En la floración femenina, en riego normal la media de los días ha sido de 105 días, apreciándose diferencias significativas en riego deficitario, alargándose hasta los 114,63 días.

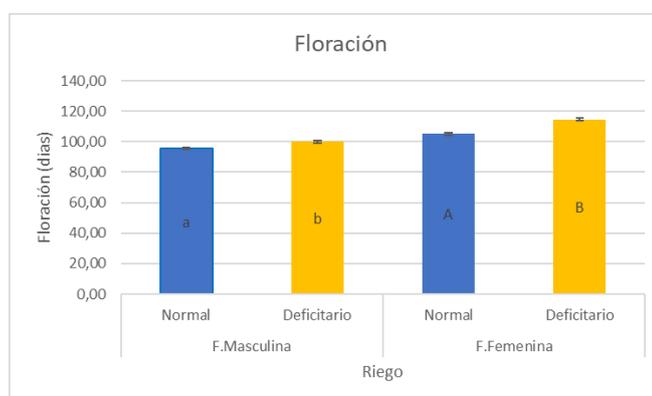


Figura 28. Floración media (días) de la flor masculina y femenina tras la siembra. En color azul riego normal y en color amarillo riego deficitario. Los valores con letras diferentes presentan diferencias significativas (test Duncan, $p < 0,05$). Las letras minúsculas para los análisis realizados en flor masculina y en mayúscula para la femenina.

En los resultados de floración masculina (Figura 29) en riego óptimo se ha apreciado que la variedad V46 ha sido la primera en desarrollar la inflorescencia masculina seguida de la V7 y V6. Las variedades V24, V13 y V54 en riego óptimo han sido las últimas variedades en emitir la inflorescencia masculina, superando los 100 días tras la siembra. En cuanto al riego deficitario, la variedad V35 ha sido la más precoz adelantando al riego óptimo, como las variedades, V5, V22, V44, V35, V15, V53, V39, V14, V10, V33. (Anexo I)

En la floración femenina (Figura 30), en riego óptimo, la variedad V7 ha sido la más precoz, al florecer a los 91 días tras la siembra. Ha sido seguida de las variedades V46, V36, V5 y V6. En cuanto a las variedades más tardías en riego óptimo

han destacado las variedades V37, V39, V53, V49 y la V13, siendo esta última la más tardía, puesto que emergió a los 119 días tras la simbra. (Anexo I)

En riego deficitario, la variedad V35, ha sido la más precoz, emergiendo antes que, en riego óptimo, también las variedades V10, V14, V15 han emergido con mayor precocidad. En cuanto a las más tardías en emitir flor han sido las variedades V9, V8, V11 y V55, superando los 125 días de floración tras la siembra. (Anexo I)

Tabla 8. Pruebas de efectos inter-sujetos en floración masculina del ANOVA a dos vías

| Origen | Tipo III de suma de cuadrados | gl¹ | Media cuadrática | F | Sig.² |
|-----------------|--------------------------------------|-----------------------|-------------------------|----------|-------------------------|
| Riego | 1821,732 | 1 | 1821,732 | 19,805 | 0,000 |
| Variedad | 4779,292 | 55 | 86,896 | 0,945 | 0,588 |
| Riego*Variedad | 10826,856 | 111 | 97,539 | 1,060 | 0,354 |
| Error | 19960,500 | 217 | 91,984 | | |
| Total | 3176016,000 | 329 | | | |
| Total corregido | 30787,356 | 328 | | | |

a. R al cuadrado = 0,352 (R al cuadrado ajustada = 0,020)

1.gl : grados de libertad

2. Sig.: significancia

Factores: Riego (normal y deficitario) y variedades (56 tipos, Tabla 6)

Tabla 9. Pruebas de efectos inter-sujetos en floración femenina del ANOVA a dos vías.

| Origen | Tipo III de suma de cuadrados | gl¹ | Media cuadrática | F | Sig.² |
|-----------------|--------------------------------------|-----------------------|-------------------------|----------|-------------------------|
| Riego | 7381,560 | 1 | 7381,560 | 57,188 | 0,000 |
| Variedad | 5879,461 | 55 | 106,899 | 0,828 | 0,794 |
| Riego * | 8138,599 | 55 | 147,975 | 1,146 | 0,246 |
| Variedad | | | | | |
| Error | 27364,167 | 212 | 129,076 | | |
| Total | 396827,000 | 324 | | | |
| Total corregido | 48970,923 | 323 | | | |

a. R al cuadrado = 0,441 (R al cuadrado ajustada = 0,149)

1.gl : grados de libertad

2. Sig.: significancia

Factores: Riego (normal y deficitario) y variedades (56 tipos, Tabla 6)

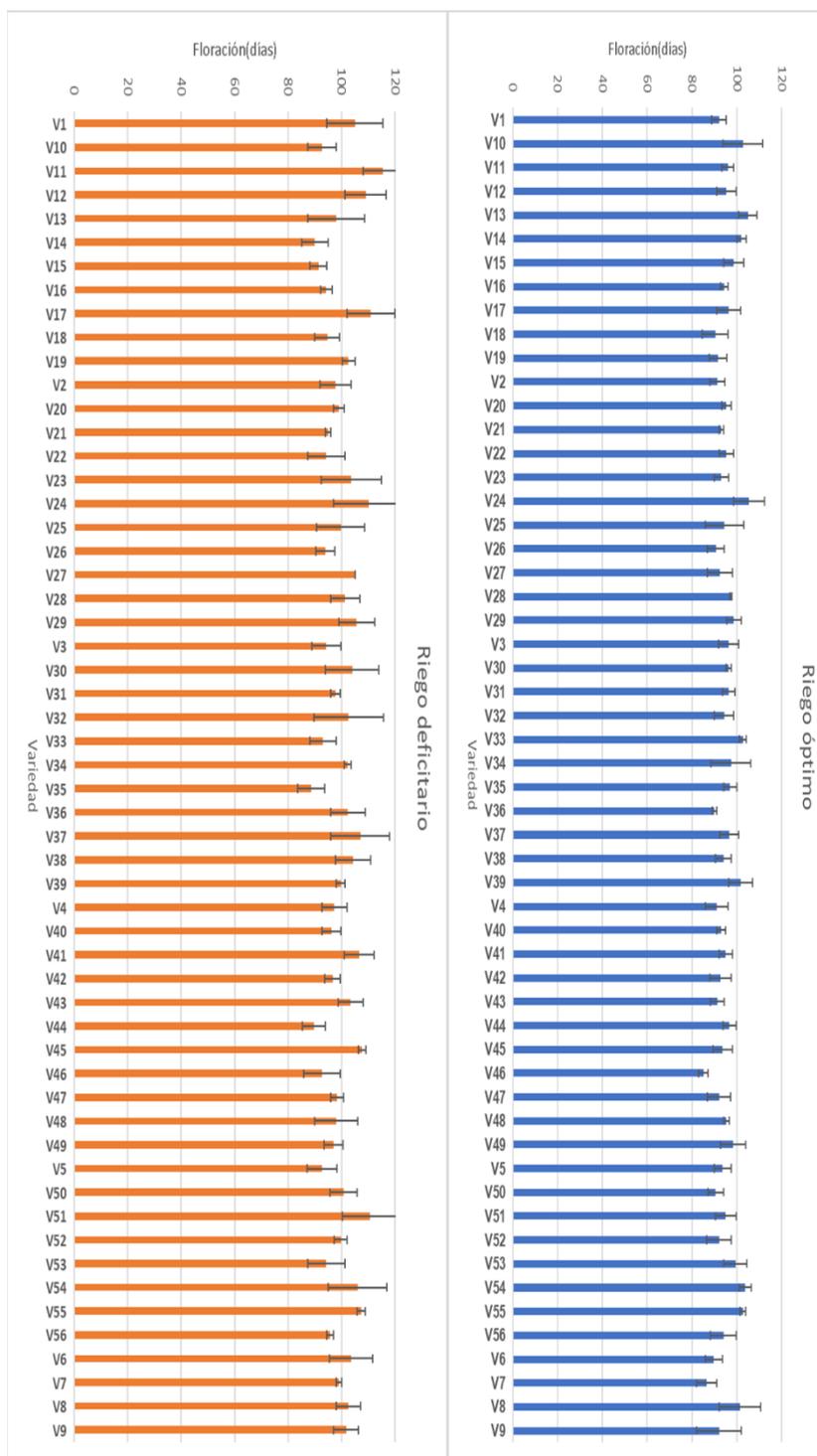


Figura 29. Días de floración masculina tras la siembra en las diferentes variedades de maíz. En la izquierda riego deficitario de color naranja. En la derecha el riego óptimo de color azul. Los valores con letras diferentes, presentan diferencias significativas (test Duncan, $p < 0,05$), se encuentra en el (anexo I, Tabla S1).

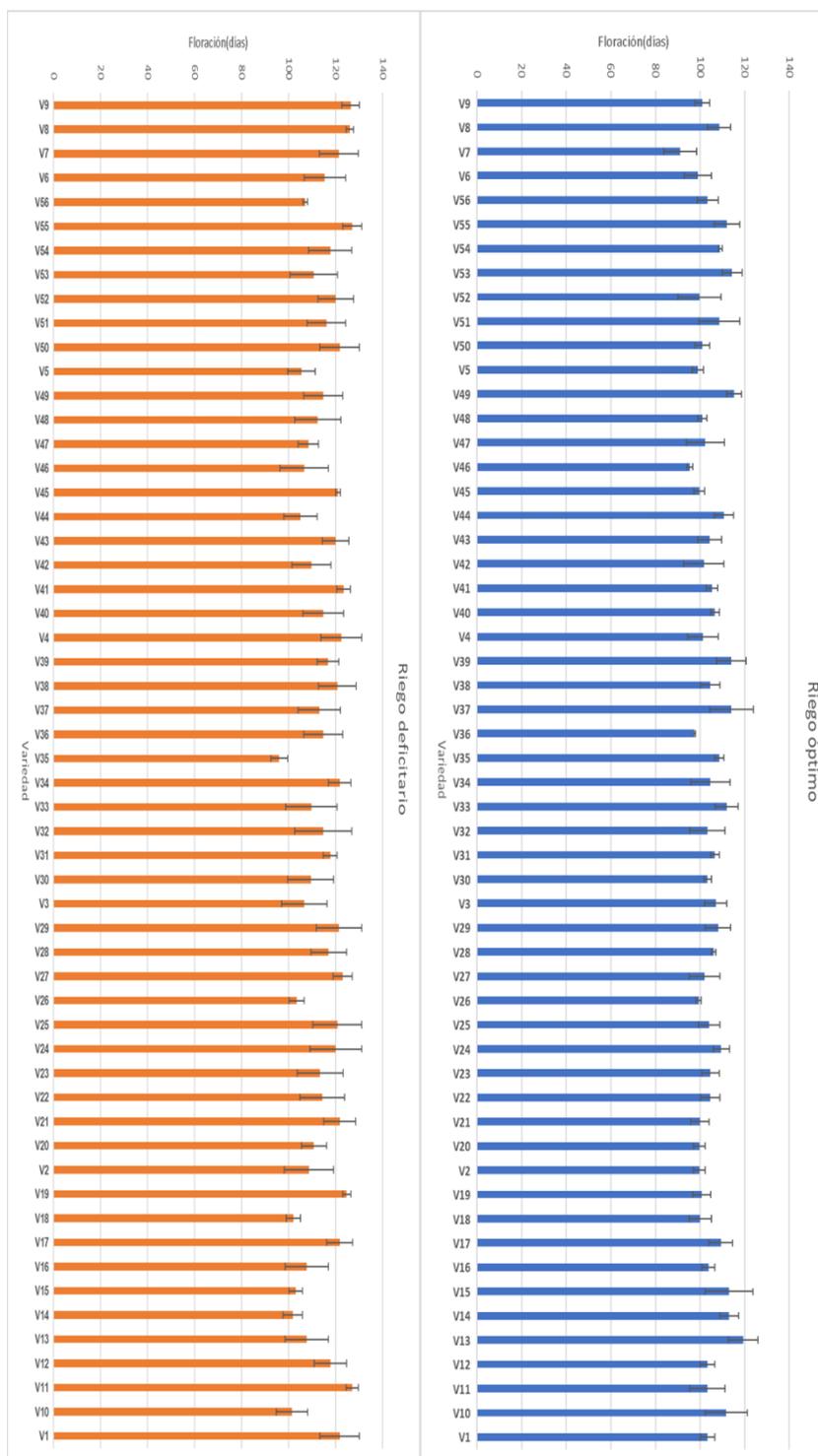


Figura 30. Días de floración femenina tras la siembra, de las diferentes variedades de maíz. En la gráfica de la izquierda, se representa el riego deficitario en color naranja. En la gráfica de la derecha se representa el riego deficitario en color azul. Los valores con letras diferentes presentan diferencias significativas (test Duncan, $p < 0,05$), se encuentran en el anexo I, Tabla S2)

4.3 Evaluación de la altura

En riego óptimo la altura media ha sido de 138,57 cm, donde se han presentado diferencias significativas (Tabla 10) con el riego deficitario, cuya altura media ha sido 120,24 cm.

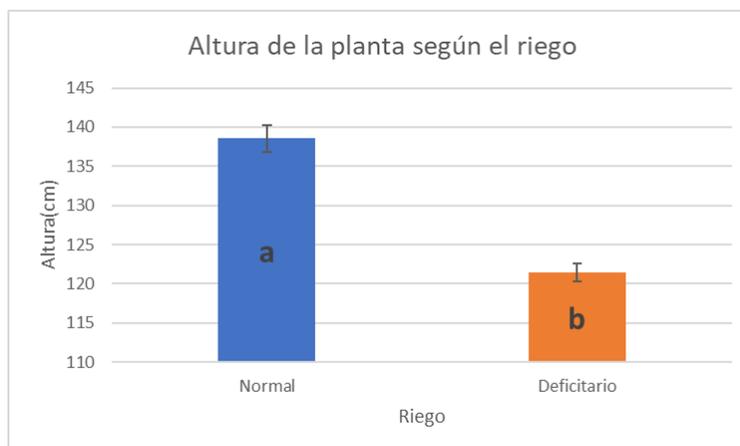


Figura 31. Altura media de las plantas de maíz en los diferentes tipos de riego. En color azul el riego normal. En color naranja el riego deficitario. Los valores con letras diferentes, presentan diferencias significativas (test Duncan, $p < 0,05$).

Tabla 10 . Prueba de los efectos inter-sujetos de la altura del ANOVA dos vías.

| Origen | Tipo III de suma de cuadrados | gl ¹ | Media cuadrática | F | Sig ² . |
|-----------------|-------------------------------|-----------------|------------------|--------|--------------------|
| Riego | 211355,728 | 1 | 211355,728 | 77,166 | 0,000 |
| Variedad | 558416,163 | 55 | 10153,021 | 3,707 | 0,000 |
| Riego * | 499334,663 | 55 | 9078,812 | 3,315 | 0,000 |
| Error | 7266453,500 | 2653 | 2738,957 | | |
| Total | 55320225,000 | 2765 | | | |
| Total corregido | 8520197,649 | 2764 | | | |

a. R al cuadrado = 0,147 (R al cuadrado ajustada = 0,111)

1. gl: Grado de libertad

2. Sig: significancia

Factores: Riego (normal y deficitario) y variedades (56 tipos , tabla 6)

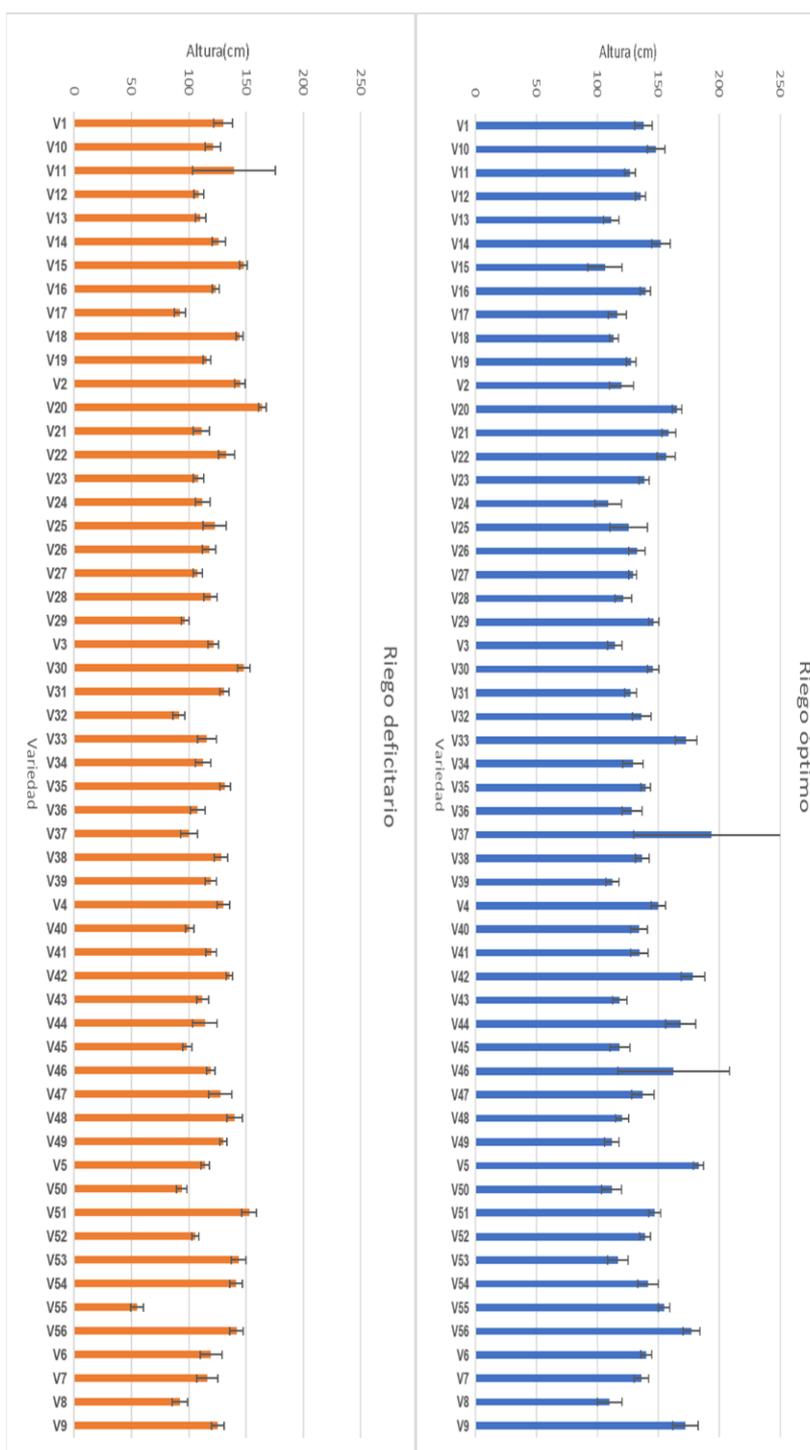


Figura 32.Altura de las variedades de maíz según el tipo de riego. En la izquierda el riego deficitario en color naranja. En la derecha el riego óptimo en color azul. Los valores con letras diferentes presentan diferencias significativas (test Duncan, $p < 0,05$), se encuentran en el anexo II, Tabla S3)

En los resultados de altura ha habido diferencias significativas entre las variedades y riego (Tabla 10).

Según las variedades en riego óptimo, la variedad V15 ha sido la de menor altura, seguida de las variedades V24, V8. En cuanto a las variedades con más altura han sido V42, V5 y V37. La variedad V37 ha llegado a tener una altura de 193,80 cm tras la floración femenina.

En riego deficitario la variedad V55, ha sido la de menor altura con 55 cm. En cuanto a las que no llegaron a superar los 100 cm de altura ha sido las variedades V8, V50, V17, V45, V32, V29 y V37. También, hay que destacar que las variedades V15, V49, V39, V18, V3, V53, V2, V48, V11, V31 y V51 han tenido mayor altura que sus respectivos en riego óptimo (Anexo II).

4.4 Evaluación de la cosecha

4.4.1 Número de mazorcas en la parcela

En cuanto al riego y variedad ha habido diferencias significativas (Tabla 12). El número de mazorcas (Figura 33) en riego óptimo ha sido de 9,17 mazorcas, siendo significativamente mayor que en riego deficitario, el cual ha tenido 5,01 mazorcas.

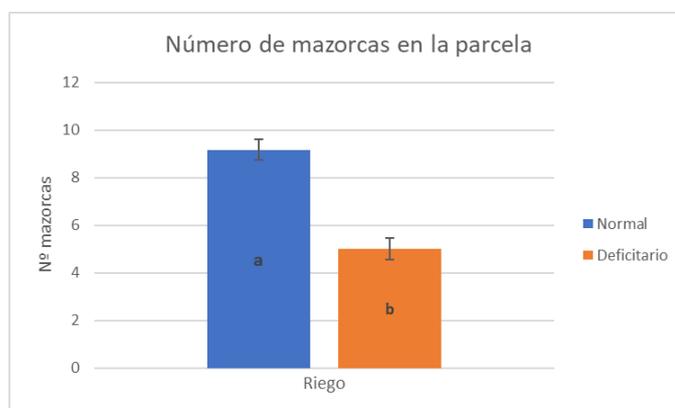


Figura 33. Número medio de mazorcas cosechadas en la parcela dependiendo del tipo de riego. En color azul, riego óptimo. En color naranja, riego deficitario. Los valores con letras diferentes presentan diferencias significativas (test Duncan, $p < 0,05$)

Tabla 11. Prueba de efectos inter-sujetos del número de mazorcas de las diferentes variedades del ANOVA a dos vías

| Origen | Tipo III de suma de cuadrados | gl ¹ | Media cuadrática | F | Sig. ² |
|-----------------|-------------------------------|-----------------|------------------|--------|-------------------|
| Riego | 1454,170 | 1 | 1454.,170 | 43,201 | 0,000 |
| Variedad | 2035,307 | 55 | 37,006 | 1,099 | 0,312 |
| Riego * | 1376,664 | 55 | 25,030 | 0,744 | 0,904 |
| Variedad | | | | | |
| Error | 7540,000 | 224 | 33,661 | | |
| Total | 29307,000 | 336 | | | |
| Total corregido | 12406,140 | 335 | | | |

a. R al cuadrado = 0,392 (R al cuadrado ajustada = 0,091)

1. gl: grado de libertad

2. Sig: significancia

Factores: Riego (normal y deficitario) y variedades (56 tipos, tabla 6)

Entre los resultados del número de mazorcas en riego óptimo, la que menos número de mazorcas ha tenido en la cosecha ha sido la variedad V17, seguida de la V41 y V15. En cuanto a las variedades que más mazorcas produjeron han sido la V46, V33 y V12, esta última con 18 mazorcas.

En riego deficitario la variedad V17 ha sido la que menos mazorcas ha emitido, en cuanto a la variedad V56, la cual tuvo 14 mazorcas, por lo que ha producido más que su correspondiente en riego óptimo, también las variedades V15, V53, V48, V25, V24, V14, V35, V18 y V30 han emitido más mazorcas que en riego óptimo

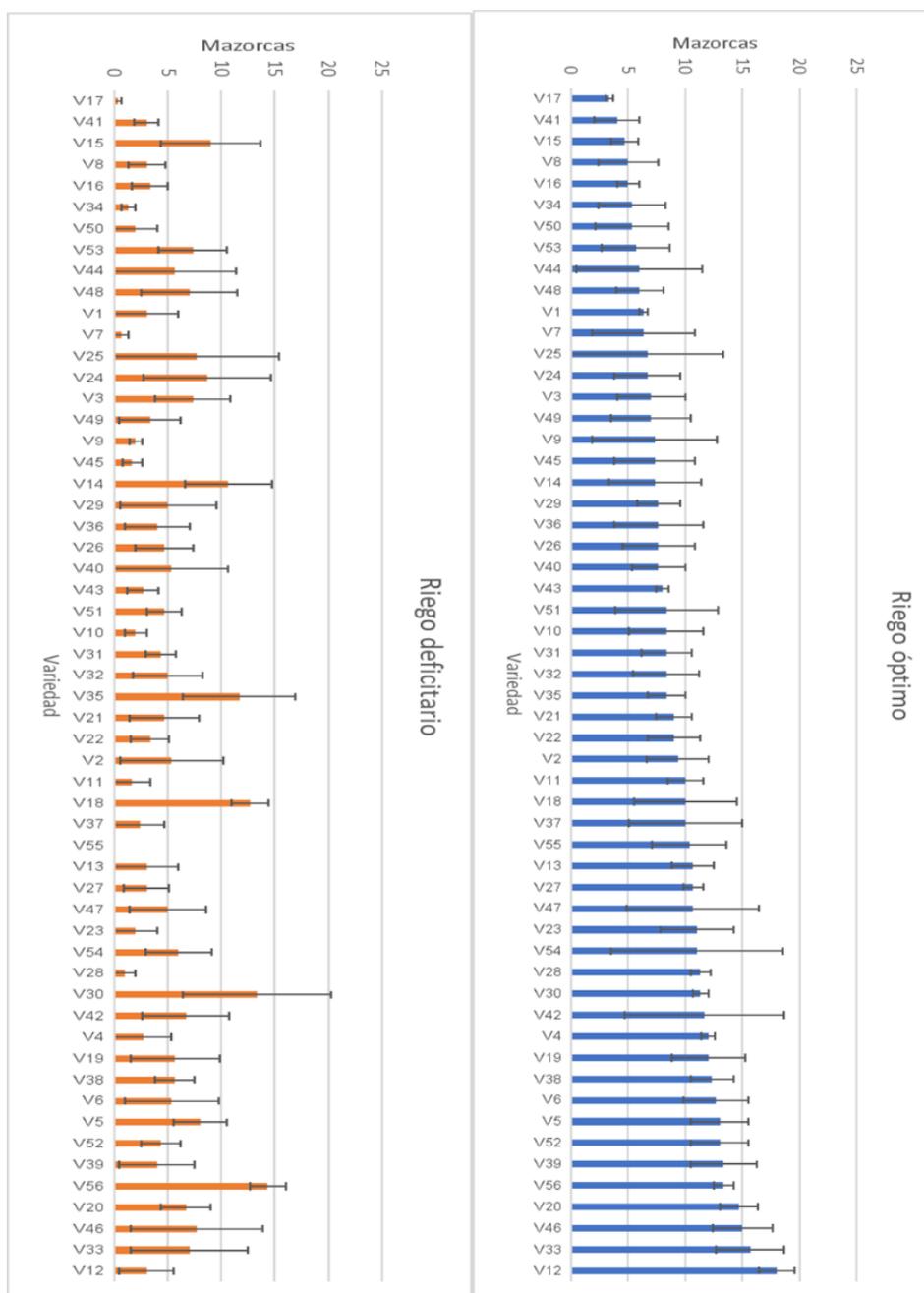


Figura 34. Número de mazorcas en distintos riegos. En el lado izquierdo de color naranja, riego deficitario. En el lado derecho de color azul, riego óptimo.

4.4.2 Evaluación peso de las mazorcas.

Tras la realización del ANOVA a dos vías, ha habido diferencias significativas en cuanto a riego, pero respecto a variedad y su interacción no han presentado diferencias significativas (Tabla 12).

En riego normal u óptimo ha habido diferencias significativas respecto a riego deficitario, siendo el peso medio de las mazorcas en riego óptimo de 1117,49 gramos, mientras en riego deficitario ha sido de 626,48 gramos.

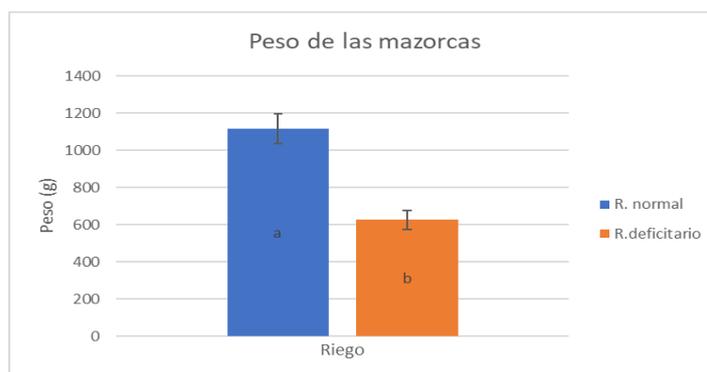


Figura 35. Peso medio de las mazorcas cosechadas en los diferentes riegos. En color azul, riego deficitario. En color naranja, riego deficitario dependiendo del tipo de riego. En color azul, riego óptimo. En color naranja, riego deficitario. Los valores con letras diferentes presentan diferencias significativas (test Duncan, $p < 0,05$).

Tabla 12. Prueba de efectos inter-sujetos del peso de las mazorcas.

| Origen | Tipo III de suma de cuadrados | gl ¹ | Media cuadrática | F | Sig. ² |
|------------------|-------------------------------|-----------------|------------------|--------|-------------------|
| Riego | 20251295,003 | 1 | 20251295,003 | 25,138 | 0,000 |
| Variedad | 43023908,140 | 55 | 782252,875 | 0,971 | 0,538 |
| Riego * Variedad | 30949518,497 | 55 | 562718,518 | 0,699 | 0,943 |
| Error | 180454747,333 | 224 | 805601,551 | | |
| Total | 530163261,000 | 336 | | | |
| Total corregido | 274679468,973 | 335 | | | |

a. R al cuadrado = 0,343 (R al cuadrado ajustada = 0,017)

1.gl: grado de libertad

2.Sig: significancia

Factores: Riego (normal y deficitario) y variedades (56 tipos, tabla 6)

En riego óptimo las variedades V50, V3, V15 han sido significativamente las que menos peso de mazorcas han tenido, en cuanto a las variedades que más peso han sido la V5, V56 y la V33 con 3603,3 gramos.

En cuanto a riego deficitario la variedad de menor peso significativo de mazorca ha sido la V50 y la variedad V56 con 1726,6 gramos ha sido la de mayor. También han destacado que las variedades V3, V11, V53, V54, V29, V51 y V18 han tenido mayor peso de la mazorca con respecto al riego óptimo.

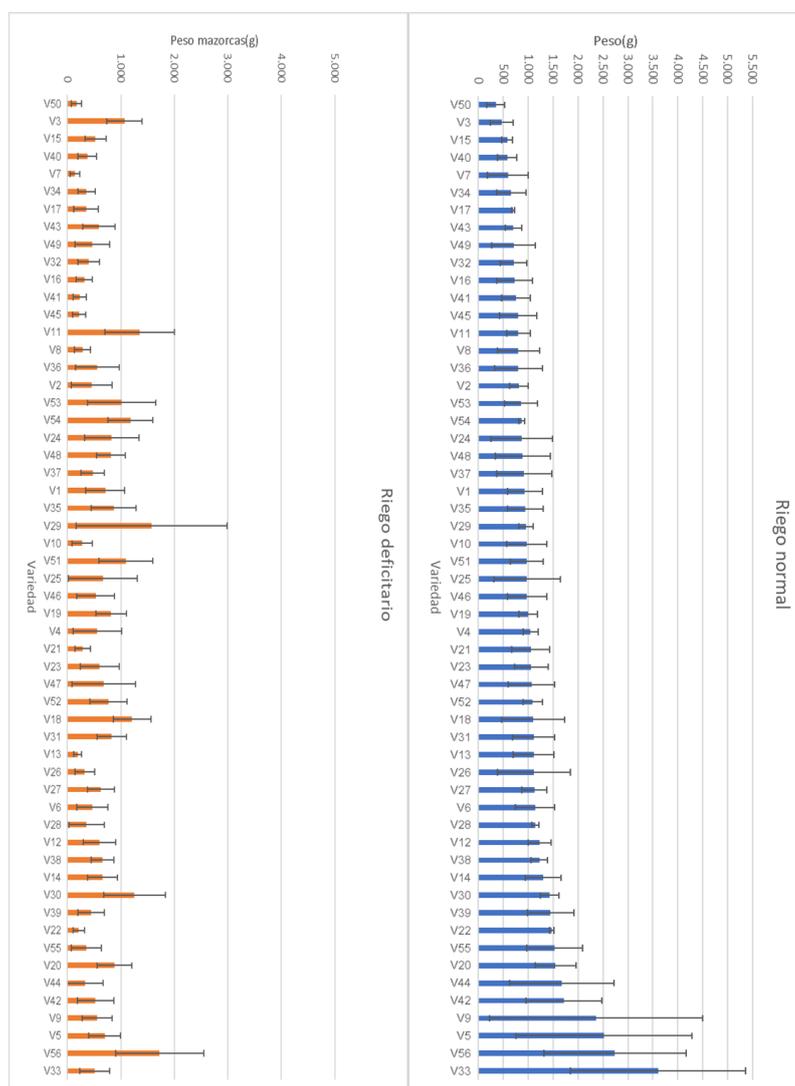


Figura 36. Peso de las mazorcas en los diferentes riegos. En color naranja, las diferentes variedades en riego deficitario. En color azul, las diferentes variedades riego óptimo

4.4.3 Evaluación del peso del grano de 5 mazorcas.

Tras la realización del ANOVA de dos vías, han presentado diferencias significativas entre riego y variedad, pero no diferencias significativas en cuanto a la interacción entre riego y variedad (Tabla 13).

El peso del grano de cinco mazorcas en riego óptimo ha sido de 293 gramos, con diferencias significativas respecto al riego deficitario, su peso ha sido de 142 gramos.



Figura 37. Peso medio del grano de 5 mazorcas. En color azul, riego normal. En color naranja, riego deficitario. Los valores con letras diferentes presentan diferencias significativas (test Duncan, $p < 0,05$).

Tabla 13. Pruebas de los efector inter-sujetos del peso del grano de cinco mazorcas de las diferentes variedades tras la ANOVA a dos vías.

| Origen | Tipo III de suma de cuadrados | gl ¹ | Media cuadrática | F | Sig. ² |
|-----------------|-------------------------------|-----------------|------------------|--------|-------------------|
| Riego | 1897898,234 | 1 | 1897898,234 | 36,263 | 0,000 |
| Variedad | 3142676,549 | 55 | 57139,574 | 1,092 | 0,323 |
| Riego*Variedad | 1534012,352 | 55 | 27891,134 | 0,533 | 0,997 |
| Error | 11723456,140 | 224 | 52336,858 | | |
| Total | 34177808,880 | 336 | | | |
| Total corregido | 18298043,276 | 335 | | | |

a. R al cuadrado = 0,359 (R al cuadrado ajustada = 0,042)

1.gl: grado de libertad

2.Sig: significancia

Factores: Riego (normal y deficitario) y variedades (56 tipos, tabla 6)

En riego óptimo la variedad V13, V50 y V3, han sido las de menor peso de grano. En cuanto a las variedades V20, V56 y V5 ha sido las que más peso de grano, siendo el de la variedad V5 de 771 gramos.

En riego deficitario las variedades V7 y V17 han sido las que menos peso han presentado, mientras que la variedad V29 con 446 gramos ha sido la que más peso de grano, siendo superior que, con su respectiva en riego óptimo, también las variedades V3, V25, V54, V39, V53 y V18 superaron a sus respectivas en riego óptimo.

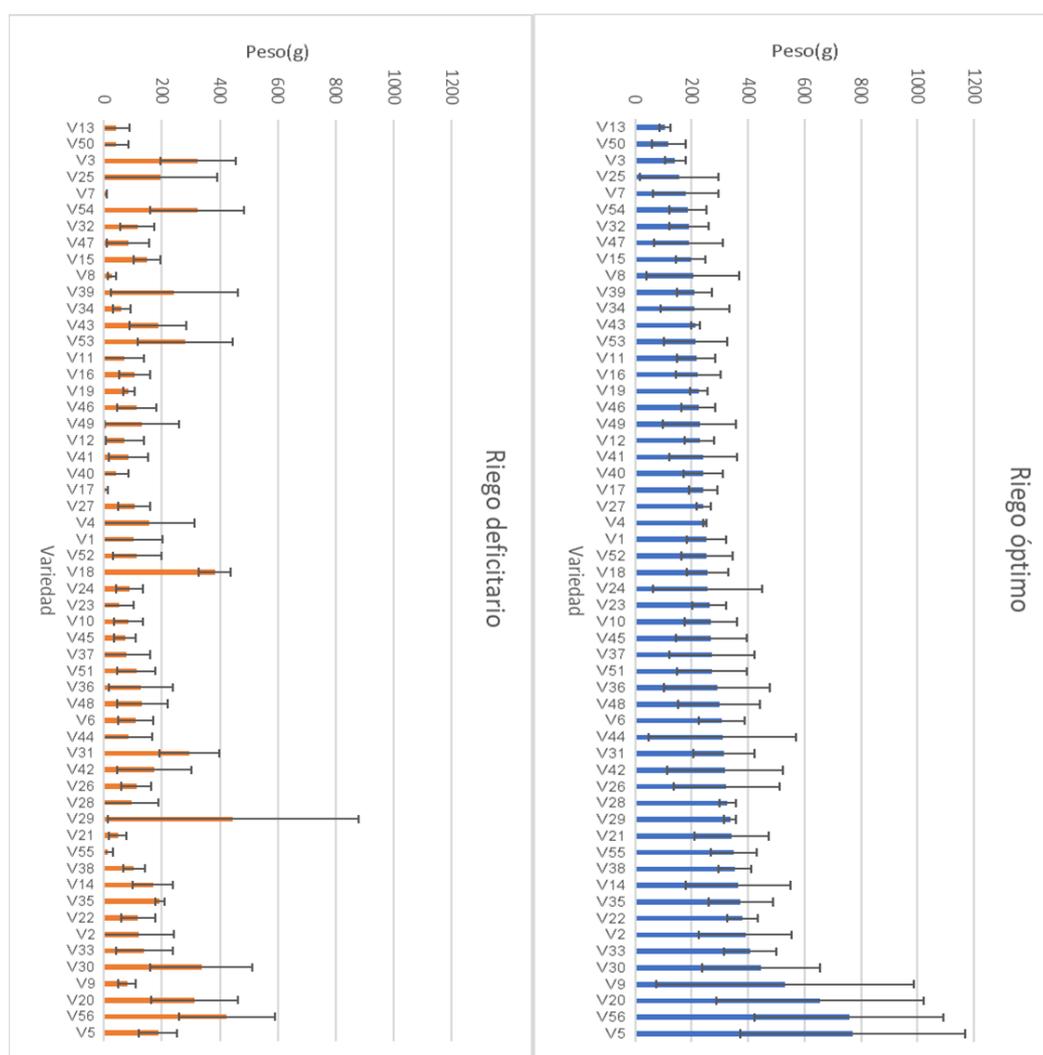


Figura 38. Peso de cinco mazorcas en diferente riego. En color naranja las variedades en riego deficitario. En color azul las diferentes variedades en riego óptimo.

4.4.4 Evaluación del rendimiento de las variedades.

Tras la realización del ANOVA a dos vías, ha habido diferencias significativas entre riego y variedad, en cuanto a la interacción de riego y variedad no han presentado diferencias significativas (Tabla 14).

El rendimiento medio del riego óptimo ha sido de 2747 kg/ha, mientras que el del riego deficitario ha sido de 1319,72 kg/ha (Figura 40).

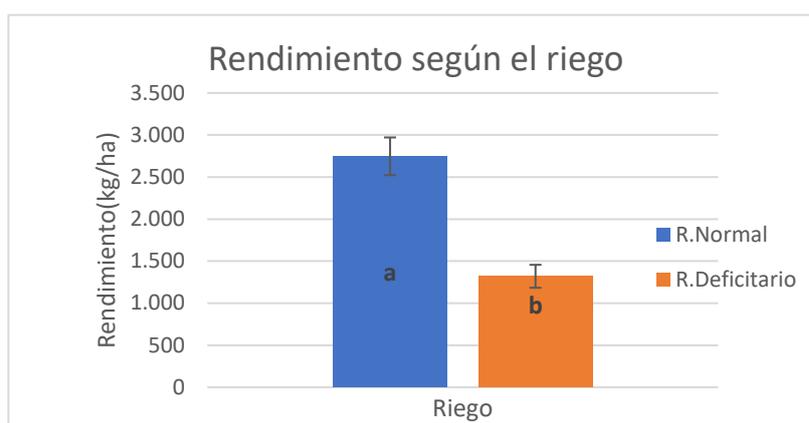


Figura 39. Rendimiento medio de la parcela de ensayo según el tipo de riego. En color naranja, riego deficitario. En color azul, riego óptimo. Los valores con letras diferentes presentan diferencias significativas (test Duncan, $p < 0,05$).

Tabla 14. Pruebas de efectos inter-sujetos del rendimiento del grano tras realizar la ANOVA a dos vías.

| Origen | Tipo III de suma de cuadrados | gl ¹ | Media cuadrática | F | Sig. ² |
|-----------------|-------------------------------|-----------------|------------------|--------|-------------------|
| Riego | 170190096,404 | 1 | 170190096,404 | 27,665 | 0,000 |
| Variedad | 339038846,822 | 55 | 6164342,669 | 1,002 | 0,479 |
| Riego * | 204053555,537 | 55 | 3710064,646 | 0,603 | 0,986 |
| Error | 1365690473,688 | 222 | 6151758,890 | | |
| Total | 3460847594,660 | 334 | | | |
| Total corregido | 2079847920,797 | 333 | | | |

a. R al cuadrado = 0,343 (R al cuadrado ajustada = 0,015)

1.gl: grado de libertad

2.Sig: significancia

Factores: Riego (normal y deficitario) y variedades (56 tipos, tabla 6)

En cuanto a los resultados (Figura 41) de cosecha de grano seco al 14% de humedad, en riego óptimo las variedades de menor rendimiento han sido la V50, sin superar los 1000 kg/ ha, V3 y V15. Las variedades V9, V5, V56 y V33, han sido las de mayor rendimiento con una producción de grano, respectivamente de 6349,22 kg/ha; 6600,73 kg/ha; 7490,39 kg/ha y 9492,98 kg/ha.

En el riego deficitario, de las 56 variedades, el 57% de las variedades no ha superado el rendimiento medio de 1319,2 kg/ha. La variedad con menor rendimiento ha sido la V7, la cual ha tenido un rendimiento de 57 kg/ha. En cuanto a las variedades V54, V48, V53, V35, V3, V18, V30, V29 y V56, han tenido un rendimiento superior a los 2000 kg/ha, destacando la V56 con el mayor rendimiento, con 4476,84 kg/ha.

También hay que destacar que las variedades V3, V15, V54, V29, V18 y V30 han tenido un rendimiento mayor a sus respectivas variedades en riego óptimo.

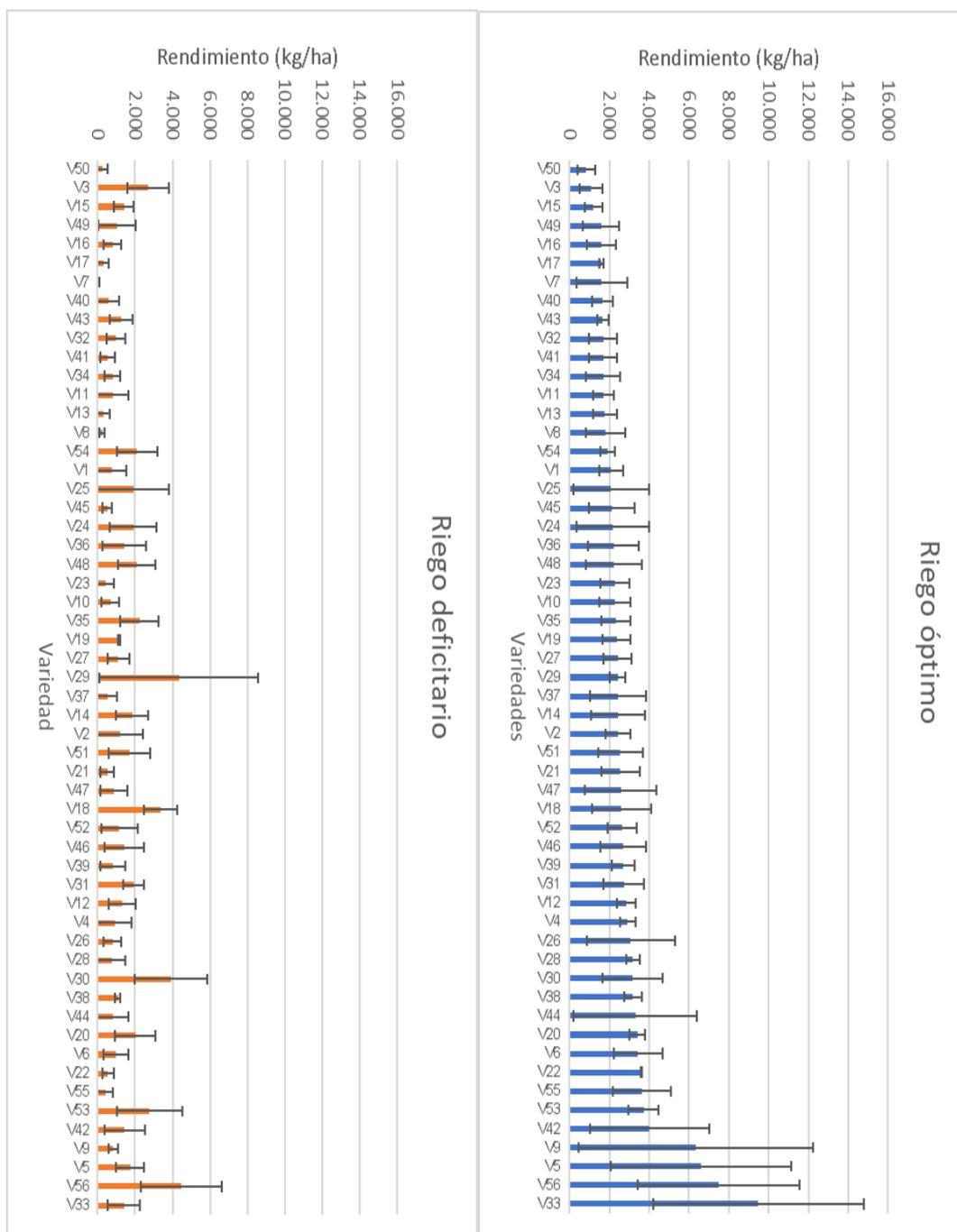


Figura 40. Rendimientos de la parcela del estudio según los riegos. En color naranja las diferentes variedades en riego deficitario. En color azul las diferentes variedades en riego óptimo.

5. DISCUSIÓN

El estudio de evaluación agronómica de las 56 variedades de maíz, cedidas por el CSIC, se ha realizado utilizando el sistema de riego por aspersión, para así, conseguir un riego más homogéneo y un mejor aprovechamiento del agua de riego, ya que una buena uniformidad de este marcará el desarrollo óptimo del cultivo y su producción (Dechmi *et al.*, 2010)

En el caso de la germinación, ésta ha sido del 36,8 % de media, sin diferencias significativas entre tipo de riego y variedad, ya que, en el momento de la evaluación de este parámetro, no se ha aplicado el déficit de riego, es decir se ha aplicado la misma cantidad de agua a ambos tratamientos al aplicarse unos riegos de apoyo a la germinación tras la aparición de una costra superficial. Así se ha asegurado el mayor porcentaje en este parámetro (Domínguez *et al.*, 2012)

Dependiendo de una deficiencia de riego alta o baja, la etapa en la cual se produzca se marcará así la producción. Si el déficit de riego es alto, es conveniente tener una buena implantación del cultivo y en las etapas productivas aplicar la deficiencia de riego. (Domínguez *et al.*, 2012)

Los resultados en la floración masculina en cuanto a riego han presentado diferencias significativas, donde la floración en riego deficitario ha sido de 100 días tras la siembra y en riego óptimo de 95 días. La aplicación de una reducción en cuanto al tiempo de riego en los bloques de riego deficitario ha retrasado la formación de inflorescencia masculina. Según un estudio, donde se ha aplicado el riego deficitario 2-3 semanas antes de la floración femenina, ha presentado un retraso de la floración y una disminución en cuanto al número de inflorescencias masculinas y número de mazorcas (Aguilar *et al.*, 2007). Estos resultados concuerdan con los descritos en este trabajo, donde se ha producido un retraso en la formación de la floración masculina.

En cuanto a la floración femenina, ha presentado diferencias significativas entre los diferentes regímenes de riego, difiriendo entre ellos aproximadamente 10 días. En un estudio se ha comprobado que con un estrés de sequía leve el promedio de días floración se alargaba 3-4 días (Singh *et al.*, 2023). En el caso de la evaluación de las 56 variedades, se ha prolongado hasta llegar a los 10 días de diferencia entre un riego

óptimo y un deficitario. También ha habido variedades de maíz en riego deficitario que florecieron más precoz que sus correspondientes en riego óptimo, pudiéndose deber a que los ciclos más precoces según los índices FAO debido a un estrés hídrico pueden iniciar su fase reproductiva con precocidad,(Aguilar *et al.*, 2007).

La altura media de las plantas en riego óptimo en este estudio ha sido de 138,57 cm y en riego deficitario de 121,44 cm, presentando diferencias significativas en cuanto a riego, variedad y su interacción. La reducción de agua afecta a la producción de material vegetal o biomasa que desarrollan las plantas, apreciándose que el uso del riego deficitario no repercute en gran medida al desarrollo de estas ya que no distan mucho en la altura. Según Lubajo y Karuku, (2022) en su estudio de riego deficitario de maíz no han encontrado diferencias significativas según el tipo de riego, por lo que este no afectaba al crecimiento de la planta.

Otros de los parámetros evaluados han sido tomados de las mazorcas. En cuanto al número producido, en riego óptimo la media de las mazorcas producidas ha sido de 9,17 unidades y en riego deficitario de 5,00 siendo significativamente diferentes entre ellos. Debido al estrés hídrico al que han sido sometidas las plantas de maíz, se ha producido cierta esterilidad en el polen del maíz, aunque, la fertilidad de la flor masculina es tolerante a las condiciones de déficit hídrico(Singh *et al.*, 2023). En cuanto al peso de las mazorcas, en riego óptimo el peso medio ha sido de 1,12 kg en el primer caso frente a 0,626 kg del segundo. Según el llevado a cabo Meléndez, (2010) hubo diferencias significativas en cuanto a riego obtuvieron mejores rendimientos en los bloques de riego óptimo demostrando que los parámetros de longitud de mazorca y peso de la mazorca iban relacionados con el rendimiento por lo que en riego deficitario fueron inferiores. Por lo tanto, se traducía en un rendimiento menor, también destacó que un estrés hídrico en el llenado de los granos era un factor limitante en el rendimiento.

El rendimiento se ha visto afectado por el bajo porcentaje de germinación. En cuanto al riego óptimo ha sido de 2747,08 kg/ha y en riego deficitario de 1319,72 kg/ha, destacando las variedades V9, V5, V36 y V33 con un rendimiento superior a los 6000 kg/ha, alcanzando incluso los 9492kg/ha de la V33.

En cuanto al rendimiento de las variedades en riego deficitario las variedades V29, V18, V30, han sido superiores a sus respectivas en riego óptimo, destacando la variedad V29 con 4331,9 kg/ha y la V56 que con 7490,39 kg/ha en riego óptimo, en deficitario ha sido de 4476,84 kg/ha. Esta variación puede deberse a que la adaptación de estas variedades al clima de la zona puede tener importancia, puesto que intervienen los genotipos que se adaptan a diferentes ambientes o pueden condicionar, siendo factores limitantes (Cooper y Messina, 2023). También se puede suponer un impacto significativo el déficit de riego en el rendimiento si se aplica en la etapa de llenado de los granos (Yu et al., 2023).

6. CONCLUSIONES

Una buena implantación del cultivo del maíz afectará de manera positiva en los rendimientos, debido a que el aprovechamiento del agua será más eficiente.

La aplicación de un riego deficitario, durante la fase de floración ha sido determinante para la producción de maíz. Ésta ha afectado al desarrollo de la flor tanto masculina como femenina, retrasándose varios días respecto al riego óptimo. También la producción de biomasa se ha visto afectada con las restricciones de riego.

El riego deficitario ha afectado a las variedades estudiadas ya que la mayoría no han tenido buenos rendimientos, de este modo su adaptación a la zona y al déficit de agua no se produciría.

La Variedad V33 (Rojo de Tolosa) ha tenido 75,32% de germinación y un rendimiento de 9492,98 kg/ha siendo la más productiva. También la Variedad V 56 (Kerubino), se ha adaptado al déficit de riego, con una altura de 177,41cm en riego óptimo, 141,67 cm en deficitario y un rendimiento de 7490,39 kg/ha en riego óptimo y 4476,84 kg/ha en riego deficitario, por lo que puede ser una candidata para poder ser implantada en zonas con déficit de riego.

7. BIBLIOGRAFÍA

Aguilar, M., Borjas, F. y Espinosa, M. (2007) "Agronomic response of maize to limited levels of water under furrow irrigation in southern Spain", *Spanish Journal of Agricultural Research*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 5(4), pp. 587-592. doi:10.5424/SJAR/2007054-280.

Amado Pablo (2023) *Clasificación de la Fao, basado en los días entre la siembra y la maduración fisiológica*. Disponible en: <https://www.diariolechero.cl/noticia/investigacion-desarrollo/2023/07/la-importancia-de-elegir-el-fao-correcto-en-maiz-para-silo> (Accedido: 4 de diciembre de 2023).

Fundación Antama (2023) "Todo lo que debes saber sobre el cultivo de maíz Bt en España". Disponible en: <https://fundacion-antama.org/cultivo-maiz-bt-transgenico-espana-datos-cifras/> (Accedido: 4 de diciembre de 2023).

Australian government (2008) *The biology of Zea mays L. ssp mays (maize or corn)*. Disponible en: <http://www.ogtr.gov.au>.

Catastro (2023) *Sede electrónica de catastro*. Disponible en: <https://www.sedecatastro.gob.es/> (Accedido: 4 de diciembre de 2023).

Cooper, M. y Messina, C. D. (2023) "Breeding crops for drought-Affected environments and improved climate resilience", *Plant Cell*. American Society of Plant Biologists, pp. 162-186. doi:10.1093/plcell/koac321.

Dechmi, F., Playan, E., Faci, J. y Cavero, J. (2010) "Simulación del impacto de la uniformidad del agua de riego por aspersión en el rendimiento del maíz", *Revista Española de Investigaciones Agrarias*. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación, 8(SUPPL. 2). doi:10.5424/sjar/201008s2-1357.

Domínguez, A., de Juan, J. A., Tarjuelo, J. M., Martínez, R. S. y Martínez-Romero, A. (2012) "Determination of optimal regulated deficit irrigation strategies for maize in a semi-arid environment", *Agricultural Water Management*, 110, pp. 67-77. doi:10.1016/j.agwat.2012.04.002.

FAO (2023) *Cultivos y productos ganaderos*. Disponible en: <https://www.fao.org/faostat/es/?data/QC#data> (Accedido: 4 de diciembre de 2023).

Gabriel, J. L., Martín-Lammerding, D., Allende-Montalbán, R., Delgado, M. del M. y Rodríguez-Martín, J. A. (2022) "Análisis de la producción de maíz en España", *ACI Avances en Ciencias e Ingenierías*. Universidad San Francisco De Quito, 14(1). doi:10.18272/aci.v14i1.2468.

Huercasa (2021) *Maíz, las propiedades de un alimento que no puede faltar en tu plato*. Disponible en: [https://www.huercasa.com/es/blog/maiz-las-propiedades-de-un-alimento-que-no-puede-faltar-en-tu-cocina#:~:text=Aporta%20bastante%20energ%C3%ADa%2C%20unos%20100,%2C%20magnesio%2C%20manganeso%20y%20zinc](https://www.huercasa.com/es/blog/maiz-las-propiedades-de-un-alimento-que-no-puede-faltar-en-tu-cocina#:~:text=Aporta%20bastante%20energ%C3%ADa%2C%20unos%20100,%2C%20magnesio%2C%20manganeso%20y%20zinc.). (Accedido: 4 de diciembre de 2023).

InfoRiego (2023) *Datos agroclimáticos*.

Innovagri (2020) *Araña roja en maíz, a propósito de la necesidad de asesores en cultivos extensivos*. Disponible en: <https://www.innovagri.es/investigacion-desarrollo-innovacion/arana-roja-en-maiz-a-proposito-de-la-necesidad-de-asesores-en-cultivos-extensivos.html> (Accedido: 28 de septiembre de 2023).

ITACYL(2023) *Sector agrícola*. Disponible en: <https://www.itacyl.es/investigacion-e-innovacion/i-i-agricola/sectores-agricolas> (Accedido: 27 de septiembre de 2023).

López Bellido Luis (1991) *Cultivos herbáceos Vol.1 CEREALES*.

López González, R. (2015) *La oxidación de residuos agroenergéticos como tecnología complementaria para la obtención de energía = Agroenergetic bioresidues oxy-combustion as a complementary technology for energy production*. Universidad de León. doi:10.18002/10612/4724.

Lubajo, B. W. y Karuku, G. N. (2022) "Effect of deficit irrigation regimes on growth, yield, and water use efficiency of maize (*Zea mays*) in the semi-arid area of Kiboko, Kenya".

Macia, J. L. (2023) *Procli*. Disponible en: <https://www.uhu.es/03009/procli/procli.html> (Accedido: 6 de diciembre de 2023).

MAGRAMA (2023) *Anuario de estadística y Rendimientos cultivos (ESYRCE)*. Disponible en: <https://www.mapa.gob.es/es/estadistica/temas/estadistica-digital/powerbi-esyrce.aspx> (Accedido: 4 de diciembre de 2023).

Martín Antonio (2018) *Cultivo del Maíz, ¿Cómo escoger variedad según ciclo FAO? - Herogra Fertilizantes*. Disponible en: <https://herografertilizantes.com/cultivo-del-maiz-como-escoger-variedad-segun-ciclo-fao/> (Accedido: 4 de diciembre de 2023).

Martín Gil, A. y Cepeda Castro, S. (2015a) *Guía de gestión integrada de plagas. Maíz*. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Centro de Publicaciones.

Martínez Álvarez, Á. (2022) *AGRICULTURA 1.0. Así comienza la Agricultura Desde sus inicios hasta la Edad del Bronce Sumeria y Egiptcia (2ª edición corregida)*. Disponible en: www.agrotecnica.online.

Meléndez. L (2010) "Respuesta al riego deficitario y a la fertilización nitrogenada reducida de diferentes ciclos de selección masal en una población sintética de maíz. Aspectos agronómicos y fisiológicos.". Disponible en: https://digital.csic.es/bitstream/10261/52808/4/MelendezL_TD-2010.pdf.txt (Accedido: 4 de diciembre de 2023).

MAPAMA (2023) *Datos de las superficies y producciones nacionales de los cultivos*. Disponible en: <https://www.mapa.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas->.

Osca Lluch, J. M. y Gómez de Barreda Ferraz, D. (2015) *Guía gráfica de cultivos herbáceos*. Valencia: Editorial de la Universidad Politécnica de Valencia.

Paliwal.R (2000) *Morfología del maíz tropical*. Disponible en: <https://www.fao.org/3/x7650s/x7650s04.htm> (Accedido: 4 de diciembre de 2023).

Reinoso, B. y Valenciano, J. B. (2007) *Básico sobre el cultivo de maíz en la provincia de León*. Editado por S. LESA.

Revista Campo (2023) *Las exigencias de la PAC hacen que la superficie de maíz caiga el 10% en León - Revista Campo, Revista Campo*. Disponible en: <https://www.revistacampo.es/maiz/las-exigencias-de-la-pac-hacen-que-la-superficie-de-maiz-caiga-el-10-en-leon/> (Accedido: 25 de noviembre de 2023).

Saavedra, El Cultivo de Maíz Choclero Dulce, , I. (2020) *Clasificación botánica. Germinación y desarrollo. Capítulo 1 Boletín INIA, Nº 303*.

Samaniego Juan F (2023) *Un sensor para reducir el consumo de agua de la agricultura y plantarla cara a la sequía*, *Universat Oberta de Catalunya*. Disponible en: <https://www.uoc.edu/portal/es/news/actualitat/2023/187-sensor-reduce-agua-de-agricultura-por-la-sequia.html> (Accedido: 6 de diciembre de 2023).

Singh, A., Pandey, H., Pandey, S., Lal, D., Chauhan, D., Aparna, Antre, S. H., Santhosh, B. y Kumar, A. (2023) "Drought stress in maize: stress perception to molecular response and strategies for its improvement", *Functional and Integrative Genomics*. Institute for Ionics. doi:10.1007/s10142-023-01226-6.

Villau, J. M., Técnico De Desarrollo, Pioneer, A., Spain, H.-B. y Agrónomo, S. (2021) "Manejo del riego en el cultivo del maíz".

Yu, W., Ji, R., Wu, J., Feng, R., Mi, N. y Chen, N. (2023) "Combined Effects of Heat and Drought Stress on the Growth Process and Yield of Maize (*Zea mays* L.) in Liaoning Province, China", *Atmosphere*. Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI), 14(9). doi:10.3390/atmos14091397.

Anexo I: Análisis post-hoc de la floración masculina y femenina

Tabla S 1. Floración masculina (días tras la siembra), tras la realización del ANOVA a dos vías. Las letras diferentes presentan diferencias significativas ($P < 0,05$) en la interacción variedad y riego.

| Riego | Variedad | Floración(días) | Error | Duncan |
|--------|----------|-----------------|-------|---------|
| Normal | V1 | 92,00 | 3,21 | bcdefg |
| Normal | V10 | 102,67 | 8,76 | abcdefg |
| Normal | V11 | 96,00 | 2,64 | abcdefg |
| Normal | V12 | 95,33 | 4,25 | abcdefg |
| Normal | V13 | 105,00 | 4,04 | abcdefg |
| Normal | V14 | 102,00 | 2,08 | abcdefg |
| Normal | V15 | 98,50 | 4,50 | abcdefg |
| Normal | V16 | 94,33 | 1,76 | bcdefg |
| Normal | V17 | 96,33 | 5,20 | abcdefg |
| Normal | V18 | 90,33 | 5,81 | cdefg |
| Normal | V19 | 91,67 | 3,92 | bcdefg |
| Normal | V2 | 91,33 | 3,38 | bcdefg |
| Normal | V20 | 95,33 | 2,18 | abcdefg |
| Normal | V21 | 93,00 | 1 | bcdefg |
| Normal | V22 | 95,33 | 3,28 | abcdefg |
| Normal | V23 | 93,00 | 3,21 | bcdefg |
| Normal | V24 | 105,33 | 6,88 | abcdefg |
| Normal | V25 | 94,50 | 8,5 | bcdefg |
| Normal | V26 | 90,67 | 3,75 | bcdefg |
| Normal | V27 | 92,33 | 5,54 | bcdefg |
| Normal | V28 | 97,33 | 0,33 | abcdefg |
| Normal | V29 | 98,67 | 3,28 | abcdefg |
| Normal | V3 | 96,33 | 4,40 | abcdefg |
| Normal | V30 | 96,33 | 1,20 | abcdefg |
| Normal | V31 | 96,33 | 2,72 | abcdefg |
| Normal | V32 | 94,33 | 4,33 | bcdefg |
| Normal | V33 | 102,67 | 1,45 | abcdefg |
| Normal | V34 | 97,33 | 8,83 | abcdefg |
| Normal | V35 | 97,00 | 3 | abcdefg |
| Normal | V36 | 90,00 | 1 | defg |
| Normal | V37 | 96,67 | 4,25 | abcdefg |
| Normal | V38 | 94,00 | 3,51 | bcdefg |
| Normal | V39 | 101,67 | 5,45 | abcdefg |
| Normal | V4 | 91,00 | 5,13 | bcdefg |

Tabla S1. Floración masculina (días tras la siembra), tras la realización del ANOVA a dos vías. Las letras diferentes presentan diferencias significativas ($P < 0,05$) en la interacción variedad y riego. (continuación).

| Riego | Variedad | Floración(días) | Error | Duncan |
|--------------|-----------------|------------------------|--------------|---------------|
| Normal | V40 | 93,00 | 2 | bcdefg |
| Normal | V41 | 95,00 | 3 | abcdefg |
| Normal | V42 | 92,67 | 4,66 | bcdefg |
| Normal | V43 | 91,33 | 3,17 | bcdefg |
| Normal | V44 | 96,67 | 2,96 | abcdefg |
| Normal | V45 | 93,67 | 4,33 | bcdefg |
| Normal | V46 | 85,00 | 2 | g |
| Normal | V47 | 92,00 | 5,29 | bcdefg |
| Normal | V48 | 95,33 | 1,33 | abcdefg |
| Normal | V49 | 98,33 | 5,69 | abcdefg |
| Normal | V5 | 93,67 | 3,75 | bcdefg |
| Normal | V50 | 90,50 | 3,5 | bcdefg |
| Normal | V51 | 95,00 | 4,58 | abcdefg |
| Normal | V52 | 92,00 | 5,50 | bcdefg |
| Normal | V53 | 99,33 | 5,23 | abcdefg |
| Normal | V54 | 103,67 | 2,66 | abcdefg |
| Normal | V55 | 102,67 | 1,20 | abcdefg |
| Normal | V56 | 94,00 | 5,68 | bcdefg |
| Normal | V6 | 89,67 | 3,84 | defg |
| Normal | V7 | 86,50 | 4,5 | fg |
| Normal | V8 | 101,33 | 9,20 | abcdefg |
| Normal | V9 | 92,00 | 10 | bcdefg |
| Deficitario | V1 | 105,00 | 10,50 | abcdefg |
| Deficitario | V10 | 92,67 | 5,33 | bcdefg |
| Deficitario | V11 | 115,33 | 7,21 | a |
| Deficitario | V12 | 109,00 | 7,76 | abcde |
| Deficitario | V13 | 98,00 | 10,69 | abcdefg |
| Deficitario | V14 | 90,00 | 4,93 | defg |
| Deficitario | V15 | 91,33 | 3,17 | bcdefg |
| Deficitario | V16 | 94,33 | 2,02 | bcdefg |
| Deficitario | V17 | 111,00 | 8,88 | ab |
| Deficitario | V18 | 94,67 | 4,63 | bcdefg |
| Deficitario | V19 | 102,67 | 2,33 | abcdefg |
| Deficitario | V2 | 97,67 | 5,78 | abcdefg |
| Deficitario | V20 | 99,00 | 2 | abcdefg |
| Deficitario | V21 | 95,00 | 1 | abcdefg |
| Deficitario | V22 | 94,33 | 6,8 | bcdefg |
| Deficitario | V23 | 103,67 | 11,20 | abcdefg |

Tabla S1. Floración masculina (días tras la siembra), tras la realización del ANOVA a dos vías. Las letras diferentes presentan diferencias significativas ($P < 0,05$) en la interacción variedad y riego. (Continuación)

| Riego | Variedad | Floración(días) | Error | Duncan |
|-------------|----------|-----------------|-------|---------|
| Deficitario | V24 | 110,00 | 13,01 | abcd |
| Deficitario | V25 | 99,67 | 8,906 | abcdefg |
| Deficitario | V26 | 94,00 | 3,51 | bcdefg |
| Deficitario | V27 | 105,00 | 0 | abcdefg |
| Deficitario | V28 | 101,33 | 5,45 | abcdefg |
| Deficitario | V29 | 105,67 | 6,69 | abcdef |
| Deficitario | V3 | 94,33 | 5,45 | bcdefg |
| Deficitario | V30 | 104,00 | 10 | abcdefg |
| Deficitario | V31 | 97,67 | 1,76 | abcdefg |
| Deficitario | V32 | 102,67 | 13,04 | abcdefg |
| Deficitario | V33 | 93,00 | 4,93 | bcdefg |
| Deficitario | V34 | 102,33 | 1,333 | abcdefg |
| Deficitario | V35 | 88,67 | 4,97 | efg |
| Deficitario | V36 | 102,33 | 6,43 | abcdefg |
| Deficitario | V37 | 107,00 | 11,01 | abcdef |
| Deficitario | V38 | 104,33 | 6,56 | abcdefg |
| Deficitario | V39 | 99,67 | 1,66 | abcdefg |
| Deficitario | V4 | 97,33 | 4,63 | abcdefg |
| Deficitario | V40 | 96,33 | 3,52 | abcdefg |
| Deficitario | V41 | 106,67 | 5,547 | abcdef |
| Deficitario | V42 | 96,67 | 2,96 | abcdefg |
| Deficitario | V43 | 103,33 | 4,66 | abcdefg |
| Deficitario | V44 | 89,67 | 4,25 | defg |
| Deficitario | V45 | 107,67 | 1,45 | abcde |
| Deficitario | V46 | 92,67 | 6,88 | bcdefg |
| Deficitario | V47 | 98,33 | 2,40 | abcdefg |
| Deficitario | V48 | 98,00 | 8,08 | abcdefg |
| Deficitario | V49 | 97,00 | 3,46 | abcdefg |
| Deficitario | V5 | 92,67 | 5,60 | bcdefg |
| Deficitario | V50 | 100,67 | 5,04 | abcdefg |
| Deficitario | V51 | 110,67 | 10,33 | abc |
| Deficitario | V52 | 99,67 | 2,40 | abcdefg |
| Deficitario | V53 | 94,33 | 6,88 | bcdefg |
| Deficitario | V54 | 106,00 | 11 | abcdef |
| Deficitario | V55 | 107,33 | 1,45 | abcde |
| Deficitario | V56 | 95,67 | 1,20 | abcdefg |
| Deficitario | V6 | 103,67 | 8,08 | abcdefg |
| Deficitario | V7 | 99,00 | 1 | abcdefg |

Tabla S1. Floración masculina (días tras la siembra), tras la realización del ANOVA a dos vías. Las letras diferentes presentan diferencias significativas ($P < 0,05$) en la interacción variedad y riego. (Continuación)

| Riego | Variedad | Floración(días) | Error | Duncan |
|-------------|----------|-----------------|-------|---------|
| Deficitario | V8 | 102,50 | 4,5 | abcdefg |
| Deficitario | V9 | 101,67 | 4,63 | abcdefg |

Tabla S 2. Floración femenina (días tras la siembra), tras la realización del ANOVA a dos vías. Las letras diferentes presentan diferencias significativas ($P < 0,05$) en la interacción variedad y riego.

| Riego | Variedad | Floración(días) | Error | Duncan |
|--------|----------|-----------------|-------|-----------|
| Normal | V9 | 101,0000 | 3,26 | defghi |
| Normal | V8 | 108,5000 | 5,30 | abcdefghi |
| Normal | V7 | 91,0000 | 7,34 | i |
| Normal | V6 | 99,0000 | 6,08 | efghi |
| Normal | V56 | 103,3333 | 4,66 | abcdefghi |
| Normal | V55 | 112,0000 | 5,71 | abcdefghi |
| Normal | V54 | 109,0000 | 0,81 | abcdefghi |
| Normal | V53 | 114,3333 | 4,48 | abcdefghi |
| Normal | V52 | 99,6667 | 9,68 | efghi |
| Normal | V51 | 108,6667 | 9,13 | abcdefghi |
| Normal | V50 | 101,0000 | 3,26 | defghi |
| Normal | V5 | 99,0000 | 2,51 | efghi |
| Normal | V49 | 115,3333 | 3,33 | abcdefghi |
| Normal | V48 | 101,0000 | 2,08 | defghi |
| Normal | V47 | 102,3333 | 8,51 | bcdefghi |
| Normal | V46 | 95,3333 | 1,33 | hi |
| Normal | V45 | 99,6667 | 2,40 | efghi |
| Normal | V44 | 110,6667 | 4,25 | abcdefghi |
| Normal | V43 | 104,3333 | 5,36 | abcdefghi |
| Normal | V42 | 101,6667 | 8,96 | cdefghi |
| Normal | V41 | 105,3333 | 2,60 | abcdefghi |
| Normal | V40 | 106,6667 | 1,85 | abcdefghi |
| Normal | V4 | 101,3333 | 6,83 | defghi |
| Normal | V39 | 114,0000 | 6,55 | abcdefghi |
| Normal | V38 | 104,6667 | 4,33 | abcdefghi |
| Normal | V37 | 114,0000 | 9,79 | abcdefghi |
| Normal | V36 | 97,5000 | 0,40 | fghi |
| Normal | V35 | 108,6667 | 2,02 | abcdefghi |

Tabla S2. Floración femenina (días tras la siembra), tras la realización del ANOVA a dos vías. Las letras diferentes presentan diferencias significativas ($P < 0,05$) en la interacción variedad y riego. (continuación).

| Riego | Variedad | Floración(días) | Error | Duncan |
|-------------|----------|-----------------|-------|--------------|
| Normal | V34 | 104,6667 | 8,68 | abcdefghijkl |
| Normal | V33 | 112,0000 | 5,13 | abcdefghijkl |
| Normal | V32 | 103,3333 | 7,88 | abcdefghijkl |
| Normal | V31 | 106,6667 | 1,85 | abcdefghijkl |
| Normal | V30 | 103,3333 | 1,66 | abcdefghijkl |
| Normal | V3 | 107,0000 | 4,93 | abcdefghijkl |
| Normal | V29 | 108,0000 | 5,68 | abcdefghijkl |
| Normal | V28 | 106,0000 | 1,00 | abcdefghijkl |
| Normal | V27 | 102,0000 | 6,80 | bcdefghijkl |
| Normal | V26 | 99,3333 | 1,20 | efghijkl |
| Normal | V25 | 104,0000 | 4,89 | abcdefghijkl |
| Normal | V24 | 109,5000 | 3,67 | abcdefghijkl |
| Normal | V23 | 104,6667 | 3,84 | abcdefghijkl |
| Normal | V22 | 104,6667 | 4,33 | abcdefghijkl |
| Normal | V21 | 100,0000 | 4,16 | efghijkl |
| Normal | V2 | 99,6667 | 2,66 | efghijkl |
| Normal | V19 | 100,6667 | 4,05 | defghijkl |
| Normal | V18 | 100,0000 | 4,93 | efghijkl |
| Normal | V17 | 109,3333 | 5,23 | abcdefghijkl |
| Normal | V16 | 103,6667 | 2,96 | abcdefghijkl |
| Normal | V15 | 113,0000 | 10,61 | abcdefghijkl |
| Normal | V14 | 113,0000 | 4,16 | abcdefghijkl |
| Normal | V13 | 119,3333 | 6,64 | abcdefghijkl |
| Normal | V12 | 103,3333 | 3,28 | abcdefghijkl |
| Normal | V11 | 103,3333 | 7,88 | abcdefghijkl |
| Normal | V10 | 111,6667 | 9,33 | abcdefghijkl |
| Normal | V1 | 103,3333 | 3,17 | abcdefghijkl |
| Deficitario | V9 | 126,3333 | 3,71 | ab |
| Deficitario | V8 | 126,0000 | 1,63 | abc |
| Deficitario | V7 | 121,3333 | 8,21 | abcdef |
| Deficitario | V6 | 115,3333 | 8,74 | abcdefghijkl |
| Deficitario | V56 | 107,0000 | 1,00 | abcdefghijkl |
| Deficitario | V55 | 127,0000 | 4,00 | a |
| Deficitario | V54 | 117,6667 | 9,27 | abcdefghijkl |
| Deficitario | V53 | 110,6667 | 10,17 | abcdefghijkl |
| Deficitario | V52 | 120,0000 | 7,54 | abcdefg |
| Deficitario | V51 | 116,0000 | 8,08 | abcdefghijkl |

Tabla S2. Floración femenina (días tras la siembra), tras la realización del ANOVA a dos vías. Las letras diferentes presentan diferencias significativas ($P < 0,05$) en la interacción variedad y riego. (continuación).

| Riego | Variedad | Floración(días) | Error | Duncan |
|-------------|----------|-----------------|-------|-----------|
| Deficitario | V50 | 121,6667 | 8,35 | abcdef |
| Deficitario | V5 | 105,3333 | 5,89 | abcdefghi |
| Deficitario | V49 | 114,6667 | 8,35 | abcdefghi |
| Deficitario | V48 | 112,3333 | 9,76 | abcdefghi |
| Deficitario | V47 | 108,3333 | 4,37 | abcdefghi |
| Deficitario | V46 | 106,6667 | 10,26 | abcdefghi |
| Deficitario | V45 | 121,0000 | 1,00 | abcdef |
| Deficitario | V44 | 105,0000 | 7,00 | abcdefghi |
| Deficitario | V43 | 120,0000 | 5,68 | abcdefg |
| Deficitario | V42 | 109,6667 | 8,21 | abcdefghi |
| Deficitario | V41 | 123,3333 | 2,96 | abcde |
| Deficitario | V40 | 114,6667 | 8,76 | abcdefghi |
| Deficitario | V4 | 122,3333 | 8,66 | abcde |
| Deficitario | V39 | 116,6667 | 4,66 | abcdefgh |
| Deficitario | V38 | 120,6667 | 7,96 | abcdef |
| Deficitario | V37 | 113,0000 | 9,01 | abcdefghi |
| Deficitario | V36 | 114,6667 | 8,21 | abcdefghi |
| Deficitario | V35 | 96,0000 | 3,60 | ghi |
| Deficitario | V34 | 121,6667 | 4,80 | abcdef |
| Deficitario | V33 | 109,6667 | 10,91 | abcdefghi |
| Deficitario | V32 | 114,6667 | 12,11 | abcdefghi |
| Deficitario | V31 | 117,6667 | 2,96 | abcdefgh |
| Deficitario | V30 | 109,3333 | 9,87 | abcdefghi |
| Deficitario | V3 | 106,6667 | 9,66 | abcdefghi |
| Deficitario | V29 | 121,3333 | 9,66 | abcdef |
| Deficitario | V28 | 117,0000 | 7,57 | abcdefgh |
| Deficitario | V27 | 123,0000 | 4,00 | abcde |
| Deficitario | V26 | 103,3333 | 3,28 | abcdefghi |
| Deficitario | V25 | 120,6667 | 10,33 | abcdef |
| Deficitario | V24 | 120,0000 | 11,00 | abcdefg |
| Deficitario | V23 | 113,3333 | 9,83 | abcdefghi |
| Deficitario | V22 | 114,3333 | 9,52 | abcdefghi |
| Deficitario | V21 | 121,6667 | 6,83 | abcdef |
| Deficitario | V20 | 110,6667 | 5,36 | abcdefghi |
| Deficitario | V2 | 108,6667 | 10,49 | abcdefghi |
| Deficitario | V19 | 124,6667 | 1,76 | abcd |
| Deficitario | V18 | 102,0000 | 3,05 | bcdefghi |

Tabla S2. Floración femenina (días tras la siembra), tras la realización del ANOVA a dos vías. Las letras diferentes presentan diferencias significativas ($P < 0,05$) en la interacción variedad y riego. (continuación).

| Riego | Variedad | Floración(días) | Error | Duncan |
|--------------|-----------------|------------------------|--------------|---------------|
| Deficitario | V17 | 121,6667 | 5,48 | abcdef |
| Deficitario | V16 | 107,6667 | 9,20 | abcdefghi |
| Deficitario | V15 | 103,0000 | 2,88 | abcdefghi |
| Deficitario | V14 | 101,6667 | 4,09 | cdefghi |
| Deficitario | V13 | 107,6667 | 9,20 | abcdefghi |
| Deficitario | V12 | 117,6667 | 6,88 | abcdefgh |
| Deficitario | V11 | 127,0000 | 2,64 | a |
| Deficitario | V10 | 101,3333 | 6,69 | defghi |
| Deficitario | V1 | 121,6667 | 8,35 | abcdef |

Anexo II: Análisis post-hoc de la altura de la planta

Tabla S3. Altura(cm) de la planta de maíz, tras la realización del ANOVA a dos vías, se muestran diferencias significativas ($P < 0,05$) en la interacción variedad y riego.

| Riego | Variedad | Altura(cm) | Error | Duncan |
|--------|----------|------------|-------|-------------------|
| Normal | V1 | 138,21 | 7,14 | efghijklmnoqrstut |
| Normal | V10 | 148,42 | 7,06 | bcdefghijklmnñ |
| Normal | V11 | 126,92 | 4,64 | hijklmnoqrstuvwxy |
| Normal | V12 | 135,60 | 4,08 | efghijklmnoqrstuv |
| Normal | V13 | 111,60 | 6,26 | noqrstuvwxy |
| Normal | V14 | 152,33 | 7,71 | bcdefghijklm |
| Normal | V15 | 106,39 | 14,30 | qrstuvwxyz |
| Normal | V16 | 139,55 | 4,38 | defghijklmnoqrstu |
| Normal | V17 | 116,40 | 7,27 | lmnoqrstuvwxy |
| Normal | V18 | 113,75 | 3,84 | mnoqrstuvwxy |
| Normal | V19 | 127,96 | 3,83 | hijklmnoqrstuvwxy |
| Normal | V2 | 119,76 | 9,94 | jklmnoqrstuvwxy |
| Normal | V20 | 165,71 | 3,96 | abcdefgh |
| Normal | V21 | 158,64 | 5,70 | abcdefghij |
| Normal | V22 | 156,54 | 7,56 | bcdefghijk |
| Normal | V23 | 138,75 | 4,20 | efghijklmnoqrstut |
| Normal | V24 | 108,96 | 10,91 | noqrstuvwxy |
| Normal | V25 | 126,11 | 15,34 | jklmnoqrstuvwxy |
| Normal | V26 | 132,59 | 6,88 | ghijklmnoqrstuvw |
| Normal | V27 | 129,17 | 3,03 | hijklmnoqrstuvwxy |
| Normal | V28 | 121,35 | 6,92 | jklmnoqrstuvwxy |
| Normal | V29 | 146,33 | 4,24 | bcdefghijklmnoqp |
| Normal | V3 | 114,42 | 5,98 | mnoqrstuvwxy |
| Normal | V30 | 145,93 | 4,81 | cdefghijklmnoqr |
| Normal | V31 | 127,50 | 5,0 | hijklmnoqrstuvwxy |
| Normal | V32 | 136,54 | 7,62 | efghijklmnoqrst |
| Normal | V33 | 173,00 | 8,86 | abcde |
| Normal | V34 | 129,20 | 8,46 | hijklmnoqrstuvwxy |
| Normal | V35 | 139,60 | 3,97 | defghijklmnoqrstu |
| Normal | V36 | 128,50 | 8,12 | hijklmnoqrstuvwxy |
| Normal | V37 | 193,80 | 63,76 | a |
| Normal | V38 | 137,04 | 5,66 | efghijklmnoqrst |
| Normal | V39 | 112,67 | 5,50 | noqrstuvwxy |
| Normal | V4 | 150,00 | 5,94 | bcdefghijklm |
| Normal | V40 | 134,33 | 6,98 | fghijklmnoqrstuv |

Tabla S3. Altura(cm) de la planta de maíz, tras la realización del ANOVA a dos vías, se muestran diferencias significativas ($P<0,05$) en la interacción variedad y riego. (continuación)

| Riego | Variedad | Altura(cm) | Error | Duncan |
|--------------|-----------------|-------------------|--------------|-----------------------|
| Normal | V42 | 178,64 | 9,85 | abc |
| Normal | V43 | 118,27 | 5,94 | klmnñopqrstuvwxyz |
| Normal | V44 | 168,33 | 12,36 | abcdefg |
| Normal | V45 | 118,68 | 8,12 | klmnñopqrstuvwxyz |
| Normal | V46 | 162,69 | 45,87 | abcdefghi |
| Normal | V47 | 137,41 | 9,16 | efghijklmnñopqrstu |
| Normal | V48 | 120,50 | 5,45 | jklmnñopqrstuvwxyz |
| Normal | V49 | 112,00 | 6,09 | nñopqrstuvwxyz |
| Normal | V5 | 183,15 | 4,16 | ab |
| Normal | V50 | 111,90 | 8,09 | nñopqrstuvwxyz |
| Normal | V51 | 147,35 | 4,92 | bcdefghijklmnñopq |
| Normal | V52 | 139,26 | 4,68 | efghijklmnñopqrstut |
| Normal | V53 | 116,83 | 8,42 | lmñopqrstuvwxyz |
| Normal | V54 | 141,67 | 8,30 | cdefghijklmnñopqrsu |
| Normal | V55 | 155,00 | 4,59 | bcdefghijkl |
| Normal | V56 | 177,41 | 6,78 | abcd |
| Normal | V6 | 140,36 | 4,43 | defghijklmnñopqrsu |
| Normal | V7 | 136,25 | 6,12 | efghijklmnñopqrstu |
| Normal | V8 | 110,20 | 10,22 | ñopqrstuvwxyz |
| Normal | V9 | 172,62 | 10,45 | abcdef |
| Deficitario | V1 | 130,00 | 8,08 | ghijklmnñopqrstuvwxyz |
| Deficitario | V10 | 121,00 | 6,64 | jklmnñopqrstuvwxyz |
| Deficitario | V11 | 139,60 | 36,13 | defghijklmnñopqrsu |
| Deficitario | V12 | 108,80 | 4,33 | opqrstuvwxyz |
| Deficitario | V13 | 110,33 | 4,56 | ñopqrstuvwxyz |
| Deficitario | V14 | 126,15 | 5,71 | jklmnñopqrstuvwxyz |
| Deficitario | V15 | 147,86 | 3,34 | bcdefghijklmnñop |
| Deficitario | V16 | 123,48 | 3,24 | jklmnñopqrstuvwxyz |
| Deficitario | V17 | 92,17 | 4,74 | yz |
| Deficitario | V18 | 144,33 | 3,27 | cdefghijklmnñopqrsu |
| Deficitario | V19 | 115,79 | 3,36 | lmñopqrstuvwxyz |
| Deficitario | V2 | 144,83 | 4,56 | cdefghijklmnñopqrsu |
| Deficitario | V20 | 164,07 | 3,30 | abcdefghi |
| Deficitario | V21 | 111,11 | 7,04 | nñopqrstuvwxyz |
| Deficitario | V22 | 132,86 | 7,10 | ghijklmnñopqrstuvw |
| Deficitario | V23 | 108,46 | 4,72 | opqrstuvwxyz |
| Deficitario | V24 | 112,14 | 6,32 | nñopqrstuvwxyz |
| Deficitario | V25 | 122,73 | 10,25 | jklmnñopqrstuvwxyz |

Tabla S3. Altura(cm) de la planta de maíz, tras la realización del ANOVA a dos vías, se muestran diferencias significativas ($P<0,05$) en la interacción variedad y riego. Continuación).

| Riego | Variedad | Altura(cm) | Error | Duncan |
|--------------|-----------------|-------------------|--------------|-----------------------|
| Deficitario | V26 | 117,73 | 5,88 | klmnñopqrstuvwxyz |
| Deficitario | V27 | 107,83 | 3,92 | pqrstuvwxyz |
| Deficitario | V28 | 118,95 | 5,61 | klmnñopqrstuvwxyz |
| Deficitario | V29 | 96,82 | 3,50 | wxyz |
| Deficitario | V3 | 121,43 | 4,67 | jklmnñopqrstuvwxyz |
| Deficitario | V30 | 147,95 | 5,49 | bcdefghijklmnño |
| Deficitario | V31 | 131,00 | 4,02 | ghijklmnñopqrstuvwxyz |
| Deficitario | V32 | 91,60 | 5,21 | z |
| Deficitario | V33 | 115,83 | 8,04 | lmnñopqrstuvwxyz |
| Deficitario | V34 | 112,50 | 6,79 | nñopqrstuvwxyz |
| Deficitario | V35 | 131,54 | 4,63 | ghijklmnñopqrstuvw |
| Deficitario | V36 | 107,86 | 6,49 | pqrstuvwxyz |
| Deficitario | V37 | 100,00 | 7,34 | tuvwxyz |
| Deficitario | V38 | 128,33 | 5,8 | hijklmnñopqrstuvwxyz |
| Deficitario | V39 | 119,26 | 5,00 | klmnñopqrstuvwxyz |
| Deficitario | V4 | 130,43 | 5,46 | ghijklmnñopqrstuvwxyz |
| Deficitario | V40 | 100,74 | 3,53 | stuvwxyz |
| Deficitario | V41 | 119,60 | 4,63 | jklmnñopqrstuvwxyz |
| Deficitario | V42 | 135,52 | 2,5 | efghijklmnñopqrstuv |
| Deficitario | V43 | 112,08 | 5,24 | nñopqrstuvwxyz |
| Deficitario | V44 | 114,12 | 10,74 | mnñopqrstuvwxyz |
| Deficitario | V45 | 98,70 | 3,82 | uvwxyz |
| Deficitario | V46 | 119,20 | 3,87 | klmnñopqrstuvwxyz |
| Deficitario | V47 | 127,67 | 10,19 | hijklmnñopqrstuvwxyz |
| Deficitario | V48 | 140,00 | 6,70 | defghijklmnñopqrsu |
| Deficitario | V49 | 130,00 | 3,08 | ghijklmnñopqrstuvwxyz |
| Deficitario | V5 | 114,29 | 3,57 | mnñopqrstuvwxyz |
| Deficitario | V50 | 93,93 | 4,69 | wxyz |
| Deficitario | V51 | 152,71 | 6,33 | bcdefghijklm |
| Deficitario | V52 | 105,67 | 3,05 | rstuvwxyz |
| Deficitario | V53 | 143,60 | 6,50 | cdefghijklmnñopqrsu |
| Deficitario | V54 | 141,25 | 5,60 | cdefghijklmnñopqrsu |
| Deficitario | V55 | 55,00 | 5,31 | Aa |
| Deficitario | V56 | 141,67 | 5,89 | cdefghijklmnñopqrsu |
| Deficitario | V6 | 119,38 | 9,37 | klmnñopqrstuvwxyz |
| Deficitario | V7 | 116,09 | 9,12 | lmnñopqrstuvwxyz |

Tabla S3. Altura(cm) de la planta de maíz, tras la realización del ANOVA a dos vías, se muestran diferencias significativas ($P < 0,05$) en la interacción variedad y riego. (continuación).

| Riego | Variedad | Altura(cm) | Error | Duncan |
|-------------|----------|------------|-------|------------------|
| Deficitario | V8 | 92,35 | 6,88 | xyz |
| Deficitario | V9 | 125,40 | 5,74 | klmñopqrstuvwxyz |

Anexo III : Estudio bioclimático de la zona de ensayo

Informe bioclimático

Datos generales de la estación:

Nombre: Mansilla mayor (LE-02)

Longitud: 5° 26' 31"

Latitud: 42° 30' 31"

Altitud: 788,0 m

Capacidad de campo: 100 mm

Coefficiente de escorrentía: 10 %

Valores climatológicos normales

Nº de años de la serie: 20

P anual: 436,0 mm

T media anual: 10,2 °C

T media anual de las máximas diarias: 17,6 °C

T media anual de las mínimas diarias: 3,4 °C

T máxima absoluta: 40,0 °C

T mínima absoluta: -21,0 °C

| | ene | feb | mar | abr | may | jun | jul | ago | sep | oct | nov | dic |
|--------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| P (mm) | 33.0 | 31.0 | 32.0 | 48.0 | 42.0 | 35.0 | 15.0 | 17.0 | 23.0 | 69.0 | 48.0 | 43.0 |
| T media (°C) | 2.0 | 3.0 | 6.0 | 9.0 | 13.0 | 17.0 | 19.0 | 18.0 | 15.0 | 11.0 | 6.0 | 3.0 |
| T media máx. (°C) | 8.0 | 10.0 | 13.0 | 16.0 | 21.0 | 25.0 | 28.0 | 27.0 | 24.0 | 18.0 | 12.0 | 9.0 |
| T media mín. (°C) | -2.0 | -2.0 | -0.0 | 2.0 | 5.0 | 9.0 | 10.0 | 9.0 | 7.0 | 4.0 | 0.0 | -1.0 |

| | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|-------|-----------|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| T máx. (°C) | 19.0 | 20.0 | 25.0 | 28.0 | 31.0 | 36.0 | 38.0 | 40.0 | 34.0 | 30.0 | 22.0 | 20.0 |
| T mín. (°C) | -12.0 | - 11.0 | - 13.0 | -6.0 | -2.0 | 0.0 | 3.0 | 2.0 | -0.0 | -4.0 | -8.0 | -21.0 |

Siendo P la precipitación y T la temperatura

Índices bioclimáticos

Factor de pluviosidad de Lang: 42.9 (zona húmeda de estepa y sábana)

Índice de aridez de Martonne: 21.6 (clima subhúmedo)

Índice de Dantín-Revenga: 2,3 (zona semiárida)

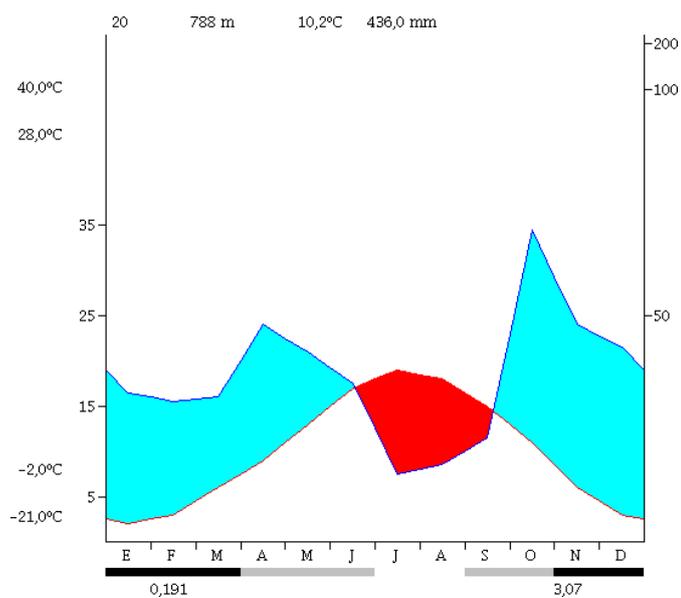
Índice de Vernet: -6,7 (clima mediterráneo)

Índice de Bagnouls-Gausson (CORINE): 45,8

Índice de Fournier (CORINE): 4.2

Piso bioclimático de Rivas Martínez: Clima mediterráneo Supramediterráneo
– Seco

Climodiagrama de Walter-Lieth:



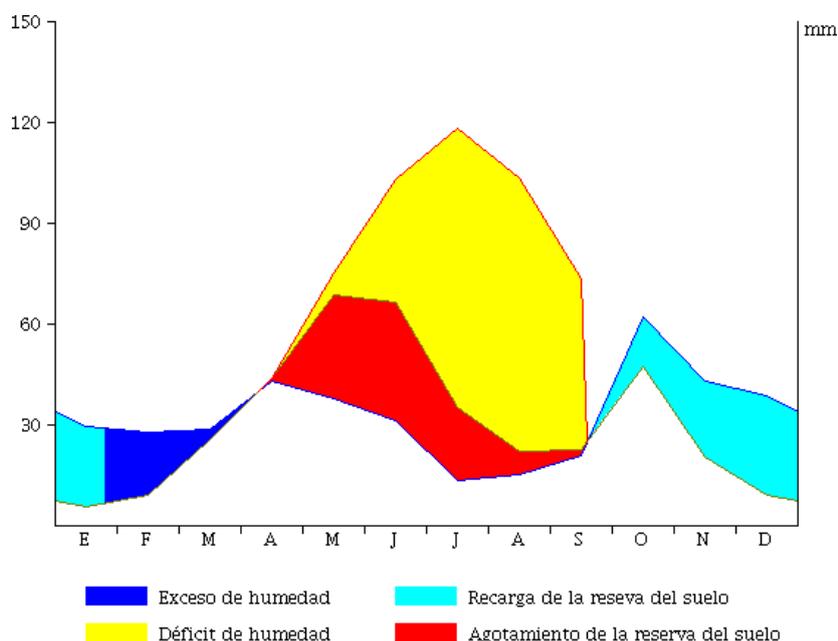
Clasificación climática de Thornthwaite

Balance hídrico:

| | ene | feb | mar | abr | may | jun | jul | ago | sep | oct | nov | dic |
|------------------------|------|-------|-------|------|------|-------|-------|-------|------|------|------|------|
| T media (°C) | 2.0 | 3.0 | 6.0 | 9.0 | 13.0 | 17.0 | 19.0 | 18.0 | 15.0 | 11.0 | 6.0 | 3.0 |
| ETP (mm) | 5.9 | 9.3 | 25.6 | 44.0 | 75.2 | 102.9 | 118.4 | 103.5 | 73.5 | 47.3 | 20.4 | 8.9 |
| Pe (mm) | 29.7 | 27.9 | 28.8 | 43.2 | 37.8 | 31.5 | 13.5 | 15.3 | 20.7 | 62.1 | 43.2 | 38.7 |
| R (mm) | 94.1 | 100.0 | 100.0 | 99.2 | 68.3 | 33.4 | 11.7 | 4.8 | 2.9 | 17.7 | 40.5 | 70.3 |
| ETR (mm) | 5.9 | 9.3 | 25.6 | 44.0 | 68.8 | 66.3 | 35.2 | 22.2 | 22.7 | 47.3 | 20.4 | 8.9 |
| S (mm) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 6.4 | 36.6 | 83.2 | 81.4 | 50.8 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| D (mm) | 0.0 | 12.7 | 3.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |

Siendo:

- ETP la evapotranspiración potencial
- Pe la precipitación efectiva
- R reserva de agua en el suelo
- ETR la evapotranspiración real
- S el déficit de agua
- D exceso de agua



Índice de humedad: -38.2 (clima semiárido *D*)

Índice de eficacia térmica: 634.8 (clima mesotérmico *B'1*)

Índice de exceso de agua: 2.5 (poco o ningún exceso de agua *d*)

Concentración en verano de la eficacia térmica: 51.2% (moderada concentración *b'4*)

ET_o Hargreaves

| | ene | feb | mar | abr | may | jun | jul | ago | sep | oct | nov | dic |
|-------------------------------|----------|------|------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------|------|------|
| ET_o (mm) | 24. 5 | 35.8 | 65.1 | 95. 9 | 141. 6 | 164. 2 | 185. 0 | 159. 8 | 110. 1 | 66.2 | 34.2 | 23.0 |

ET_o FAO Penman-Monteith

| | ene | feb | mar | abr | may | jun | jul | ago | sep | oct | nov | dic |
|-------------------------------|----------|------|------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------|------|------|
| ET_o (mm) | 28. 4 | 40.0 | 67.7 | 95. 4 | 139. 3 | 159. 4 | 181. 4 | 159. 0 | 114. 0 | 69.0 | 37.3 | 27.0 |

Radiación y humedad estimadas de las diferencias térmicas

Velocidad del viento $U_2 = 2 \text{ m/s}$

Diagrama bioclimático de Montero de Burgos:

ETP por Thornthwaite

