



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y PECUARIAS

**REQUERIMIENTOS DE RIEGO EN CUATRO VARIEDADES DE MAÍZ
MEDIANTE EL CONCEPTO DE GRADOS DÍAS DESARROLLO**

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

LICENCIADO EN INGENIERÍA AGROHIDRÁULICA

PRESENTA

RODRIGO RODRIGUEZ GONZALEZ

DIRECTOR DE TESIS

M.C. GUILLERMO JESUITA PÉREZ MARROQUÍN

DIRECTOR EXTERNO

DR. RONALD E. ONTIVEROS CAPURATA

San Juan Acateno, Teziutlán, Puebla, México. Diciembre de 2022



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y PECUARIAS

**REQUERIMIENTOS DE RIEGO EN CUATRO VARIEDADES DE MAÍZ
MEDIANTE EL CONCEPTO DE GRADOS DÍAS DESARROLLO**

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

LICENCIADO EN INGENIERÍA AGROHIDRÁULICA

PRESENTA

RODRIGO RODRIGUEZ GONZALEZ

DIRECTOR DE TESIS

M.C. GUILLERMO JESUITA PÉREZ MARROQUÍN

DIRECTOR EXTERNO

DR. RONALD E. ONTIVEROS CAPURATA

ASESORES

M.C. FABIEL VÁZQUEZ CRUZ

DR. RAÚL BERDEJA ARBEU

San Juan, Acateno, Teziutlán, Puebla, México. Diciembre de 2022.

La presente tesis titulada: “Requerimientos de riego en cuatro variedades de maíz mediante el concepto de grados días desarrollo” y realizada por Rodrigo Rodríguez González, ha sido revisada y aprobada por el siguiente consejo particular, para obtener el título de:

LICENCIADO EN INGENIERÍA AGROHIDRÁULICA

Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias

Consejo Particular integrado por:

Firma

Director: M.C. Guillermo Jesuita Pérez Marroquín

Director externo: Dr. Ronald E. Ontiveros Capurata

Asesor: M.C. Fabiel Vázquez Cruz

Asesor: Dr. Raúl Berdeja Arbeu

San Juan Acateno, Teziutlán, Puebla, México. Diciembre de 2022.

El presente trabajo forma parte del Cuerpo Académico denominado: **BUAP CA-231 Manejo de Recursos Fitogenéticos** y de la Línea de Investigación: **Manejo y Conservación de Recursos Fitogenéticos de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias**. Dicho trabajo, fue financiado por con recursos propios.

Agradecimientos

A la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla por la formación profesional que me otorgo a lo largo de mi estancia en esta institución

Al Dr. Ronald Ontiveros por aceptarme como tesista y por el apoyo brindado durante mi trabajo de tesis

Al M.C. Guillermo Jesuita Pérez por aceptarme como tesista

A la Universidad Autónoma del Estado de Morelos por permitirme desarrollar mi experimento de tesis en sus instalaciones

Dedicatoria

A Dios y la vida por permitirme la dicha de concluir mis estudios universitarios

A mi madre Angela por la educación que me dio, sin la cual esto no hubiera sido posible

A mi hermana Geno por todo el apoyo económico y emocional brindado a lo largo de toda mi vida

A mi padre Sigfrido por el apoyo brindado durante estos años

A mi amigo Cristóbal por todo el aporte de conocimiento práctico y de vida durante estos años de conocerlo

A mis compañeros y amigos Edgar, Isac, Marcos y Elfego por la amistad brindada en los años de universidad

A mis amigos Alan, Ricardo, Pablo, Carlos, Eduardo, Diego y Mauricio por su amistad y las palabras de apoyo que en algún momento me brindaron

Índice general

Contenido	Página
ÍNDICE GENERAL	i
ÍNDICE DE CUADROS	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	iv
RESUMEN	v
ABSTRACT	vi
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	4
2.1. Objetivo general.....	4
2.2. Objetivos específicos.....	4
III. HIPÓTESIS	5
IV. REVISIÓN DE LITERATURA	6
4.1. Importancia cultural y económica del maíz.....	6
4.2. Generalidades del cultivo de maíz	7
4.2.1. Requerimientos edafoclimáticos	9
4.2.2. Densidad y época de siembra	10
4.2.3. Fertilización	10
4.3. Fenología del maíz.....	13
4.4. Grados días de desarrollo (GDD).....	17
4.5. Estimación de requerimientos de riego	17
4.5.1 Evapotranspiración (ET)	18
4.5.2. Métodos de cálculo de ET	20
4.5.3. Coeficiente del cultivo (K _c) y su estimación basándose en GDD.....	21
V. MATERIALES Y MÉTODOS	24
5.1. Localización	24
5.2. Materiales	24
5.6. Diseño experimental y análisis estadístico.....	26
5.3. Establecimiento del experimento	27
5.4. Fertilización y control de plagas y enfermedades.....	28

5.5. Calculo de requerimientos de riego	28
5.7. Variables respuesta	29
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	31
6.1. Parámetros climáticos y GDD.....	31
6. 2. Análisis de etapas fenológicas.....	32
6.2.1. Emergencia (VT)	32
6.2.2. Etapas vegetativas y reproductivas.....	33
6.3. Análisis estadístico de los tratamientos de riego.....	34
6.3.1. Variables agronómicas y concentración de nitrógeno.....	34
6.3.2. Análisis estadístico de etapas fenológicas	40
6.3.3. Análisis de rendimiento.....	43
6.4. Comparación de variedades en estudio.....	46
6.4.1. Variables agronómicas	46
6.4.2. Análisis de etapas fenológicas.....	48
6.4.3. Análisis de rendimiento.....	49
6.5. Análisis de la interacción variedad-riego	50
6.6. Volumen de riego y productividad del agua	52
VII. CONCLUSIONES	56
VIII. LITERATURA CITADA	57
IX. ANEXOS	63

Índice de cuadros

Contenido	Página
Cuadro 1: Dosis de fósforo (como pentóxido P ₂ O ₅) recomendadas según niveles de disponibilidad de fósforo en el suelo y el rendimiento esperado.....	12
Cuadro 2: Estadios fenológicos del maíz vegetativos (V) y reproductivos (R).....	13
Cuadro 3: Clasificación de las variedades de maíz según los GDD requeridos	17
Cuadro 4. Variedades de maíz utilizadas y características.....	25
Cuadro 5. Cuadro ANOVA de variables agronómicas	38
Cuadro 6. Comparación de medias por Tukey para variables agronómicas por tratamientos.....	39
Cuadro 7. Cuadro ANOVA de variables fenológicas	42
Cuadro 8. Comparación de medias por Tukey para variables fenológicas por tratamientos.....	43
Cuadro 9. Cuadro ANOVA de variables de rendimiento	45
Cuadro 10. Comparación de medias por Tukey para variables de rendimiento por tratamientos	46
Cuadro 11. Comparación de medias por Tukey para variables agronómicas de las variedades en estudio	47
Cuadro 12. Comparación de media por Tukey para variables fenológicas de las variedades en estudio	48
Cuadro 13. Comparación de medias por Tukey para variables de rendimiento de las variedades en estudio	49
Cuadro 14. Rendimientos y productividad del agua por nivel de riego aplicado.....	53
Cuadro 15. Rendimientos y productividad del agua de cada variedad	54

Índice de figuras

Contenido	Página
Figura 1. Hojas, tallo e inflorescencia.....	7
Figura 2. Inflorescencia femenina (espiga).....	8
Figura 3. Sistema radicular.....	9
Figura 4. Síntomas de deficiencia de Nitrógeno.....	11
Figura 5. Síntomas de deficiencia de fosforo.....	12
Figura 6. Proceso de VE, pasando a V1 y V2.....	14
Figura 7. Etapas fenológicas vegetativa.....	14
Figura 8. Fases del grano.....	16
Figura 9. Repartición de la evapotranspiración en evaporación y transpiración.....	18
Figura 10. ETo, ETc y ETcaj.....	19
Figura 11. Curva del coeficiente del cultivo.....	22
Figura 12. Localización de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, UAEM.....	24
Figura 13. Semillas de las variedades utilizadas.....	25
Figura 14. SPAD KONICA SPAD-502 Plus.....	26
Figura 15. Sensor datalogger marca HOBO MX2301.....	26
Figura 16. Croquis del experimento.....	27
Figura 17. Valores de temperaturass máximas, mínimas, humedad relativa y GDD diarios durante el experimento.....	31
Figura 18. Emergencia de las plantas en mactas del experimento.....	32
Figura 19. Porcentaje de emergencia de plantas por tratamiento y variedad.....	33
Figura 20. Etapas fenológicas de las diferentes variedades estudiadas.....	34
Figura 21. Altura de planta y diámetro de tallo en relación a los GDD acumulados.....	35
Figura 22. Altura final de planta.....	36
Figura 23. Numero de hojas por planta y concentración de nitrógeno en base a los GDD acumulados.....	37
Figura 24. Fotografía general del experimento tomada a los 80 DDS.....	41
Figura 25. Mazorcas de cada tratamiento.....	43
Figura 26. Volumen de riego por aplicación en cada tratamiento.....	53

RESUMEN

El cultivo de maíz representa el 76 % de los granos básicos sembrados del país, de los cuales el 20.9 % es cultivado bajo riego, con un rendimiento promedio de 8.73 t·ha⁻¹. En las zonas agrícolas, la escasez de agua y la baja precisión en el cálculo de requerimientos de riego ocasiona problemas de abastecimiento y disminución de rendimientos. Ante esta situación es necesario implementar métodos de cálculo que incrementen la productividad del agua. En este trabajo se estableció un experimento bajo invernadero con cultivo de maíz, manejando cuatro variedades (Zarco ZR-76, Armadillo, Delfín y Galileo 5000) y se calcularon los requerimientos de riego basados en el concepto de grados días desarrollo (GDD) y se aplicaron en tres tratamientos (100 %, 75 % y 50 %) y un testigo (riego convencional). El tratamiento 100 % obtuvo un rendimiento de 11.17 tn ha⁻¹ con un volumen total de 2 220 m³ ha⁻¹ de agua lo que significa una productividad de 5.03 Kg m³, una merma de 13.61 % del rendimiento y un ahorro de 12.01 % de agua en comparación con el riego convencional. Respecto a las variables agronómicas y fenología no se observaron diferencias estadísticas entre el tratamiento 100% y el riego convencional, mientras que los tratamientos 75% y 50% obtuvieron diferencias significativas en todas las variables respecto al riego convencional. Por lo anterior concluimos que el uso del concepto de GDD en el cálculo del riego para el cultivo de maíz es una buena alternativa para mejorar la productividad del agua con merma mínima del rendimiento.

Palabras claves: *Zea mays L.* productividad del agua, rendimiento, ahorro de agua.

ABSTRACT

Corn accounts for 76 % of the country's basic grains sown, of which 20.9 % is grown under irrigation, with an average yield of 8.73 t ha⁻¹. In agricultural areas, water scarcity and low precision in the calculation of irrigation requirements cause supply problems and reduced yields. In view of this situation, it is necessary to implement calculation methods that increase water productivity. In this work an experiment was established under greenhouse with corn cultivation, handling four varieties (Zarco ZR-76, Armadillo, Delfín and Galileo 5000) and irrigation requirements were calculated based on the concept of degree days development (GDD) and applied in three treatments (100 %, 75 % and 50 %) and a control (conventional irrigation). The 100 % treatment obtained a yield of 11.17 tn ha⁻¹ with a total volume of 2 220 m³ ha⁻¹ of water, which means a productivity of 5.03 kg m³, a 13.61 % decrease in yield and a saving of 12.01 % of water compared to conventional irrigation. With respect to the agronomic and phenology variables, no statistical differences were observed between the 100% treatment and conventional irrigation, while the 75% and 50% treatments obtained significant differences in all variables with respect to conventional irrigation. Therefore, we conclude that the use of the GDD concept in the calculation of irrigation for the maize crop is a good alternative to improve water productivity with minimal yield loss.

Key words: *Zea mays* L. water productivity, yield, water saving.

I. INTRODUCCIÓN

En toda actividad de producción, el agua es un recurso clave en el desarrollo, sin embargo, este no es un recurso ilimitado que podamos utilizar indiscriminadamente para nuestro beneficio sin causar problemas de escasez de agua. De acuerdo con FAO (2011) el sector agrícola es el mayor demandante de agua, utilizando en promedio el 70 % de este recurso. Las pérdidas de agua en la agricultura son principalmente de tres tipos: evapotranspiración, problemas por manejo de la infraestructura y por infiltración (Pedroza-González e Hinojosa-Cuellar, 2014) En conjunto se reportan pérdidas del 49 % durante el transporte del agua hasta la aplicación en parcela (Peinado-Guevara *et al.*, 2012). Por lo tanto, el uso eficiente de este recurso en las zonas agrícola es clave para lograr una seguridad alimentaria.

En México el uso eficiente del agua en el sector agrícola es fundamental para poder asegurar la producción alimentaria, así como, el trabajo de la sociedad vinculada al sector agrícola, principalmente en zonas áridas y semiáridas. Sin embargo, las sequías recurrentes y la competencia por el agua amenazan la producción agrícola; por tanto, es imprescindible que la agricultura de riego disminuya los volúmenes aplicados sin una merma significativa en los rendimientos.

En México, el maíz (*Zea mays L.*) es el principal cultivo anual con una producción de 7,472,356.82 hectáreas y un rendimiento promedio de 3.83 t·ha⁻¹ (SIAP, 2022). De esta superficie el 79.01% se cultiva en la modalidad de temporal y el restante bajo riego, la producción bajo temporal tiene un rendimiento promedio de 2.47 t·ha⁻¹ mientras que bajo riego se obtienen rendimientos promedio de 8.73 t·ha⁻¹ (SIAP, 2021). En las grandes zonas agrícolas bajo riego el maíz es el cultivo más demandante de agua sobre todo en aquellas etapas críticas, desde el punto de vista hídrico como son la floración y el jiloteo. Los requerimientos de riego de los cultivos varían, temporal y espacialmente, en función del clima, el manejo, de la fase de crecimiento y de la variedad del cultivo, pero en general se puede establecer que una hectárea de maíz bajo riego requiere aproximadamente entre 5000 y 8000 m³ de agua durante su ciclo (Doorenbos y Kassam, 1980).

La evapotranspiración del cultivo (ET_c) se refiere al agua que un cultivo pierde por acción conjunta de la transpiración y la evaporación directa del suelo, su valor es el producto de la evapotranspiración de referencia (ET_o) que se refiere al poder evaporante de la atmósfera en

una zona y época del año específicas sin tomar en cuenta características de un cultivo ni propiedades del suelo y el coeficiente del cultivo (K_c), el cual expresa los cambios en la vegetación y el grado de cobertura del suelo, por lo que indica la variación que existe en ET_c en las diferentes etapas fenológicas de un cultivo (Allen *et al.*, 2006). Desde hace varias décadas, diferentes autores han propuesto métodos para estimar el valor de ET_o , inicialmente, Doorenbos (1977) describió el método para el cálculo de ET_o de referencia mediante el tanque evaporímetro clase A, dicho método relaciona, a base ecuaciones matemáticas, la evaporación de un tanque evaporímetro clase A con la evapotranspiración de un cultivo de referencia, incluyendo para la estimación las características ambientales del lugar en el que se localice, posteriormente, Allen *et al.* (2006) describieron la ecuación FAO Penman-Monteith, haciendo más preciso el cálculo de la evapotranspiración, incorporando el concepto de coeficiente del cultivo (K_c), sin embargo, este método se requiere registros de variables climáticas que no en todos los casos están disponibles, lo que complica su uso en regiones con escasa información climática.

Una manera eficiente de estimar el K_c es introduciendo a su cálculo el concepto grados días desarrollo (GDD), el cual indica la cantidad de energía calorífica que un cultivo necesita para completar cada etapa fenológica de su ciclo (Ojeda-Bustamante *et al.*, 2006). En este sentido, primero Sammis *et al.* (1985) y luego Nielsen y Hinkle (1996) relacionaron los valores de GDD con el K_c para el cálculo de ET de diversos cultivos, entre ellos el maíz. Ojeda-Bustamante *et al.* (2004) describen un modelo para la calendarización de riego en el que incluye como una variable los GDD además de la profundidad de la raíz y un factor de abatimiento. La ventaja de los métodos basados en GDD es que requieren de variables que frecuentemente están disponibles como temperatura, por lo que los hace métodos prácticos y fácilmente aplicables.

Por lo anteriormente mencionado es indispensable idear y estudiar modelos que permitan calcular de manera práctica y eficiente los requerimientos de riego que se debe proporcionar al maíz en cada una de sus etapas de desarrollo, tomando en cuenta términos como ET, K_c y GDD.

En ese sentido, en el presente trabajo se estableció un experimento bajo invernadero con cuatro variedades de maíz y tres niveles de riego calculados mediante concepto de GDD a los

que se les dio seguimiento fenológico, con el objetivo de determinar si el método basado en GDD desarrollo es eficiente para el cálculo de requerimientos hídricos en el cultivo de maíz comparad con un riego convencional en el que no se realizó ningún cálculo.

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Evaluar el efecto de tres niveles de riego estimados mediante el método de grados días desarrollo (GDD) en el crecimiento y producción de cuatro variedades de maíz (Zarco ZR-76, Armadillo, Delfín y Galileo 5000) bajo condiciones de invernadero.

2.2. Objetivos específicos

1. Estimar los requerimientos de riego para el cultivo de maíz usando métodos empíricos y el concepto grados días desarrollo (GDD).
2. Establecer un experimento bajo invernadero con tres tratamientos de riego y cuatro variedades de maíz (Zarco ZR-76, Armadillo, Delfín y Galileo 5000).
3. Realizar el seguimiento de las variables agronómicas y fenología de cuatro variedades de maíz (Zarco ZR-76, Armadillo, Delfín y Galileo 5000).
4. Analizar la relación requerimientos de riego-fenología, requerimientos de riego-características agronómicas y productividad del agua de cuatro variedades de maíz.

III. HIPÓTESIS

Los requerimientos de riego estimados mediante el método de grados días desarrollo para el cultivo de maíz ofrecen un incremento del 10 % en la eficiencia del uso del agua sin afectar el rendimiento de cuatro variedades de maíz.

IV. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1. Importancia cultural y económica del maíz en México

La evidencia más antigua de la existencia del maíz, de unos 7 000 años de antigüedad, ha sido encontrada por arqueólogos en el valle de Tehuacán (México) pero es posible que hubiese otros centros secundarios de origen en América; tras el descubrimiento del continente americano por Cristóbal Colón, el grano fue introducido en Europa a través de España (FAO, 1993).

Existen testimonios culinarios del maíz en restos arqueológicos y manuscritos, como el códice Florentino o el Mendocino, que permiten concluir que se trataba de uno de los componentes de la dieta mesoamericana desde el Preclásico Medio (1200-400 a.C.) (López, 2007). Algunos usos probables en la época prehispánica eran la producción de harinas, pinole y granos reventados con calor hasta que explotaran, en la forma que hoy conocemos como “palomita de maíz” (Mera-Ovando, 2009). Con respecto a la tortilla, según Ortega-Paczka (2003), se sabe que ésta no era conocida al principio, aunque a la llegada de los españoles ya predominaba en la dieta mesoamericana. Hoy día, la tortilla es considerada como la base de la dieta del pueblo mexicano desde hace más de 3500 años (Paredes *et al.*, 2009).

El maíz además de ser el grano con mayor consumo entre los mexicanos, representa en términos económicos un tema relevante tanto para los participantes del mercado como para la política pública, a raíz de la proporcionalidad de superficie sembrada que el grano representa, así como a la dependencia de importaciones para saciar el consumo interno, el posicionamiento en el mercado de grandes empresas y a las negociaciones internacionales que tienen repercusiones sobre el precio del grano (Venegas, 2016).

De acuerdo con el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera durante el periodo 2010-2020 se sembraron en promedio 9.9 millones de hectáreas de granos básicos (maíz, frijol, trigo y arroz), de los cuales el maíz representa el 76% del total, con un rendimiento promedio de 3.5 t ha⁻¹, dando como resultado una producción de maíz de 26.3 millones de toneladas, de los cuales el maíz blanco representa el 82.9%, el amarillo 10.3% y otros tipos de maíz el 6.8% del total de la producción (SIAP, 2021).

Con respecto a los precios de maíz blanco, este pasó de 2837.45 pesos t^{-1} en 2010 a 4187.75 pesos t^{-1} en 2020, teniendo una tasa de crecimiento media anual (TCMA) de 4%; en el caso de maíz amarillo, este pasó de 2587.74 pesos t^{-1} en 2010 a 4209.13 pesos t^{-1} en 2020, estimándose una TCMA de 5% (SIAP, 2021).

4.2. Generalidades del cultivo de maíz

La planta del maíz es una monocotiledónea anual de elevado porte, su ciclo vegetativo tiene un rango muy amplio según las variedades, encontrado algunas tan precoces con alrededor de 80 días, hasta las más tardías con alrededor de 200 días desde la siembra hasta la cosecha. En general las variedades de mayor rendimiento son de 100 a 140 días (Robles, 1982). La morfología del maíz se puede describir de la siguiente manera:

- Tallo: El tallo es una caña robusta de nudos bastantes gruesos, rellenos en su interior de un tejido medular esponjoso y su altura ordinaria es de 2.0 a 3.0 metros, con un mínimo de 1.5 metros en ciertas variedades muy precoces y un máximo de 4.0 a 5.0 metros en algunas variedades tropicales (Figura 1) (Salvador, 1993).



Figura 1. Hojas, tallo e inflorescencia masculina de la planta de maíz

Fuente: Hanway (1966)

- Hojas: Las hojas son largas de gran tamaño, lanceoladas, alternas, paralelinervias; se encuentran abrazadas al tallo y por el haz presentan vellosidades, los extremos de las

hojas son muy afiladas y cortantes (Figura 1); están constituidas por vaina, lígula, aurículas y lámina nacen de cada uno de los nudos aéreos, en forma alternada y disponiéndose en un ángulo de aproximadamente 110° respecto de la vaina (Golik *et al.*, 2018).

- Inflorescencia: El maíz es una planta monoica; es decir, tiene flores de un solo sexo que crecen en lugares separados de la planta; inicialmente, ambas inflorescencias tienen primordios de flores bisexuales, durante el proceso de desarrollo los primordios de los estambres en la inflorescencia axilar abortan y quedan así solo las inflorescencias femeninas (mazorca) (Figura 2). Del mismo modo, los primordios de gineceos en la inflorescencia apical abortan y quedan entonces solo inflorescencias masculinas (espiga) (Figura 1) (Dellaporta y Calderón-Urrea, 1994).



Figura 2. Inflorescencia femenina (espiga)

Fuente: Golik *et al.* (2018)

- Grano: Es el fruto de la planta, compuesto por una cariósida que consta de tres partes: la pared, el endosperma triploide y el embrión diploide; los granos se organizan en hileras cada una con 30 a 60 granos, una mazorca puede tener de 400 a 1000 granos (Ospina, 2015).
- Sistema radicular: Es fasciculado y su misión, además de absorción de agua y nutrientes, es aportar un perfecto anclaje a la planta (Figura 3), en algunos casos sobresalen unos nudos de las raíces a nivel del suelo y suele ocurrir en aquellas raíces secundarias o adventicias, su principal función es el anclaje de la planta, su composición es igual al de las raíces subterráneas que absorben, solo que son color

verde, su aparición se favorece con el aporque (Marot, 1998). El crecimiento radicular está determinado por factores genéticos y del medio. Entre los factores del medio se destacan las propiedades físicas y químicas del suelo, además de las variables que afectan el desarrollo aéreo del cultivo (Brouwer y Wit, 1968).



Figura 3. Sistema radicular
Fuente: Ritchie *et al.* (1993)

4.2.1. Requerimientos edafoclimáticos

- Suelo: El maíz se adapta muy bien a todos los tipos de suelo, pero en suelos de textura franca, franco-arcilloso y franco-limoso, con pH de 6,5 a 7,5 es donde se aprecia el mejor desarrollo. Requieren además suelos profundos, ricos en materia orgánica con buen drenaje para impedir el encharque y consecuente asfixia de las raíces (Yanez *et al.*, 2005).
- Temperatura: Este factor ejerce una influencia decisiva en la germinación de la semilla y tiene una gran importancia en los procesos vegetativos y reproductivos de la planta de maíz; a mayor intensidad del calor se acorta el periodo vegetativo del maíz. La germinación del maíz se puede iniciar a una temperatura de 4°C; durante la floración y la fructificación se hacen necesarios de 25°C a 30°C, pudiendo soportar más temperatura en los climas cálidos. Con el calor aumenta la transpiración de la planta, lo que hace que se formen con cierta rapidez los elementos que la constituyen (Díaz del Pino, 1964). De acuerdo con Paliwal (2001), el maíz en climas tropicales puede

soportar temperaturas mínimas de 10 °C y a partir de los 45 °C pueden aparecer problemas de mala absorción de nutrientes minerales y agua.

- Precipitación: Doorenbos y Kassam (1980), en su estudio dicen que el requerimiento hídrico del maíz es de 500-800 mm durante todo su ciclo, esto dependiendo de la variedad del maíz y de las condiciones climáticas del lugar. Recalcando que los requerimientos de riego de los cultivos varían, temporal y espacialmente, en función del clima, del manejo, de la fase y de la variedad del cultivo.

4.2.2. Densidad y época de siembra

La fecha de siembra es un factor determinante en el rendimiento de grano, ya que las diferentes temperaturas son un factor importante en el buen desarrollo del cultivo; si la siembra se realiza temprano, la planta estará expuesta a temperaturas bajas durante sus primeras etapas, lo que atrasara su desarrollo, por otro lado, si la siembra es tardía, las plantas estarán expuestas a altas temperaturas diurnas y nocturnas en la etapa de llenado de grano, que les aumenta sus tasas respiratorias y reduce su rendimiento de grano (Borbón *et al.*, 2011).

La densidad de siembra es un factor importante, ya que determina la capacidad del cultivo para capturar recursos, pudiendo llegar a afectar de manera importante la utilización de la radiación solar, del agua y los nutrientes.; la densidad óptima es aquella que produce el mayor rendimiento, es decir que el agregado de plantas adicionales no incrementa el rendimiento (Simón *et al.*, 2018). Se recomienda un distanciamiento de surcos de 75 a 80 centímetros en siembras con una hilera y camas de 100 centímetros con dos hileras, la densidad de siembra que se recomienda es de 100 mil plantas por hectárea independientemente del método de siembra que se utilice (Borbón *et al.*, 2011).

4.2.3. Fertilización

Una adecuada disponibilidad de nutrientes, especialmente a partir del momento en que los nutrientes son requeridos en mayores cantidades (aproximadamente cinco a seis hojas desarrolladas), asegura un buen crecimiento foliar y una alta eficiencia de conversión de la radiación interceptada (Golik y Fleitas, 2018).

- Fertilización nitrogenada: La deficiencia de nitrógeno (N) afecta el crecimiento, el desarrollo, el rendimiento y la calidad, en situaciones de baja disponibilidad de N la tasa de crecimiento del cultivo disminuye debido a una menor intercepción de la

radiación incidente y la eficiencia con que ésta se convierte en materia seca (eficiencia de conversión) (Golik y Fleitas, 2018). El maíz requiere alrededor de 20 a 25 kg/ha de nitrógeno (N) por cada tonelada de grano producida, por ejemplo, para producir 10 t ha⁻¹ de grano, el cultivo debería disponer de alrededor de 200 a 250 kg de N ha⁻¹ (Borbón *et al.*, 2011). La FAO (2002), recomienda dividir la dosis de fertilización nitrogenada en dos o tres aplicaciones. La falta de N en el maíz hace que las hojas tomen una coloración verde claro a amarillenta en forma de “V “, avanzando por la nervadura central del ápice hacia la base, debido a la merma en el contenido de clorofila (Figura 4). El síntoma de la escasez de N comienza en las hojas basales que movilizan el N hacia las más jóvenes (Golik y Fleitas, 2018).



Figura 4. Síntomas de deficiencia de Nitrógeno
Fuente: Golik y Fleitas (2018)

Fertilización fosfatada: Los síntomas de su deficiencia de fósforo (P) aparecen en las hojas basales, puesto que el P es un elemento móvil dentro de la planta. La falta de P disminuye la translocación de asimilados, acumulándose azúcares en hojas y tallos, los que generan antocianinas, que son pigmentos que producen las tonalidades morado o purpura en hojas y tallos (Figura 5) (Golik y Fleitas, 2018). De acuerdo con Borbón *et al.*, (2011), para un correcto manejo de la fertilización con fosforo se debe tener en cuenta que este no se comporta de la misma manera que el Nitrógeno, su movimiento y disponibilidad en el suelo depende en gran medida de la mineralogía del suelo, ya que esta afecta la difusión del fosforo; por otro lado, el pH también es un factor importante en la disponibilidad de este elemento, la mayor disponibilidad de P se da en pH entre 5.5 y 6.5. La cantidad de P se puede proponer de

acuerdo con la cantidad disponible en el suelo y con el rendimiento esperado (Cuadro 1). La aplicación de fósforo al cultivo debe hacerse en su totalidad junto con la primera aplicación de nitrógeno (FAO, 2002).



Figura 5. Síntomas de deficiencia de fósforo
Fuente: Golik y Fleitas (2018)

Cuadro 1. Dosis de fósforo (como pentóxido P_2O_5) recomendadas según niveles de disponibilidad de fósforo en el suelo y el rendimiento esperado

Rendimiento esperado Kg Ha ⁻¹	Niveles de P en el suelo				
	>5	5-9	9-13	13-20	<20
Kg.Ha ⁻¹ de P_2O_5					
7,000	71	58	49	37	-
10,000	89	76	67	56	-
13,000	107	95	86	73	-

Fuente: Borbón *et al.*, (2011)

- Fertilización con potasio: El potasio (K) mejora el régimen hídrico de la planta y aumenta su tolerancia a la sequía, heladas y salinidad. Las plantas bien provistas con K sufren menos de enfermedades (FAO, 2002). Este es un elemento de baja movilidad en el suelo, llega a las raíces por difusión, por tal motivo, al igual que ocurre con el fósforo, las cantidades de potasio a aplicar varían en función del potasio intercambiable en el suelo (Golik y Fleitas, 2018).

4.3. Fenología del maíz

Según Tenesaca (2015) la fenología es la descripción de cada una de las etapas de la vida de la planta. Estas etapas deben ser conocidas y distinguidas, porque cada una representa distintas funciones metabólicas, requerimientos de agua, temperatura, cantidad de nutrientes y balance de los mismos. Este ciclo comprende dos etapas bien definidas: desarrollo vegetativo (V) y desarrollo reproductivo (R) (Cuadro 2) (Fassio *et al.*, 1998).

Cuadro 2. Estadios fenológicos del maíz vegetativos (V) y reproductivos (R)

Clave	Etapa de desarrollo
VE	Emergencia
V1	Primera hoja
V2	Segunda hoja
VN	N hoja
VT	Espigamiento
R1	Floración femenina
R2	Ampolla
R3	Lechoso
R4	Masoso
R5	Dentado
R6	Madurez fisiológica

Fuente: Fassio *et al.* (1998)

Las etapas V se designan numéricamente V1, V2, V3...Vn, "n" es igual al número definitivo de hojas que tiene la planta; "n" generalmente fluctúa entre 16 y 22 dependiendo de la variedad y condiciones ambientales, pero para la floración se habrán perdido de 4 a 5 hojas de más abajo (Fassio *et al.*, 1998). La primera y última etapa de V se designan como VE (emergencia) y VT (Espigamiento) (Ritchie *et al.*, 1993).

- **VE:** Según Ritchie *et al.*, (1993) ocurre entre los cuatro o cinco días después de la siembra en condiciones cálidas, en condiciones más frescas puede requerir dos semanas o más. En esta etapa comienza el alargamiento de la radícula, posteriormente aparecen de tres a cuatro raíces seminales y por último se da la aparición del coleoptilo sobre la superficie del suelo (Figura 6) (Golik *et al.*, 2018).



Figura 6. Proceso de VE, pasando a V1 y V2
Fuente: Ritchie *et al.* (1993)

- V3: Durante esta etapa las hojas y brotes de espiga que la planta eventualmente producirá se inician, de V3 hasta aproximadamente V5, la iniciación de brotes de hojas y mazorcas es microscópicamente pequeña, la planta en la etapa V3 se ilustra a continuación (Figura 7) (Ritchie *et al.*, 1993).

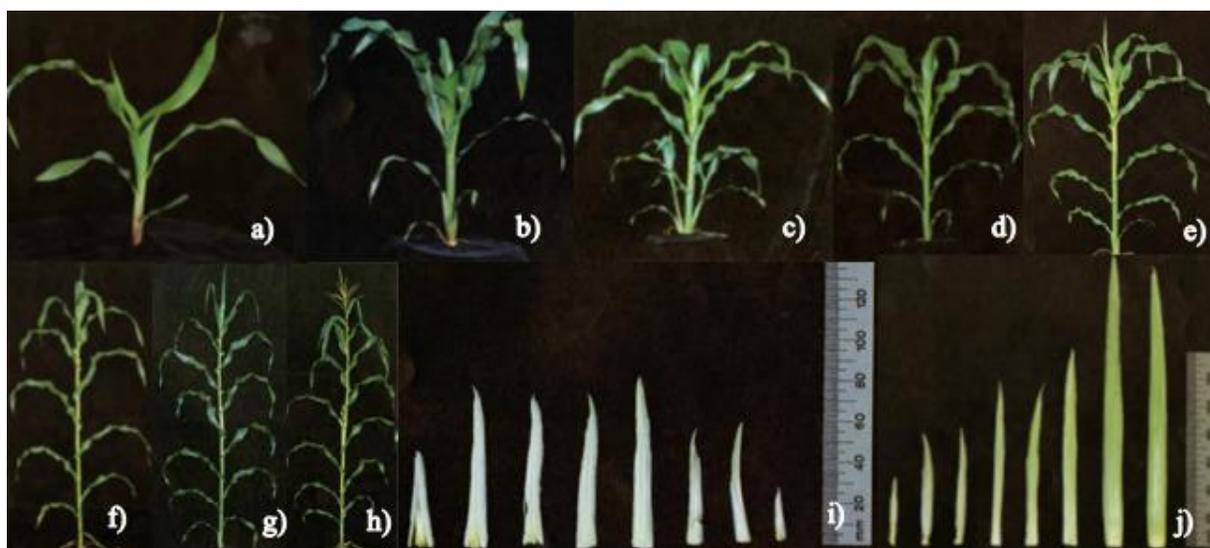


Figura 7. Etapas fenológicas vegetativas: a) V2, b) V6, c) Chupones, d) V9, e) V12, f) V15, g) V18, h) VT, i) Brotes de mazorca en V12 y j) brotes de mazorca en V15
Fuente: Ritchie *et al.* (1993)

- V6: En esta etapa el meristemo apical finaliza la diferenciación de hoja y comienza a formarse la espiga, también da inicio la elongación de entrenudos, la cual continúa hasta la aparición de estigmas (Golik *et al.*, 2018). También se comienzan a formar algunos brotes de mazorcas (Figura 7), además pueden desarrollarse los macollos

(chupones) que generalmente se forman en los nodos que se originan debajo de la superficie del suelo (Figura 7) (Ritchie *et al.*, 1993).

- V9: En este punto se comienza la diferenciación de los primordios florales de la yema axilar que dará origen a la mazorca, pasando lo mismo con el meristemo apical (Golik *et al.*, 2018)
- V12: Durante esta etapa, se comienzan a determinar el número de óvulos (granos potenciales) de los brotes de mazorca comenzados a formar desde V5 (Figura 7), de igual manera se establece el tamaño y el número de hileras de granos de la mazorca, mientras que el número de núcleos por fila se completara aproximadamente una semana después durante V17 (Ritchie *et al.*, 1993).
- V 15: La planta en V15 se da aproximadamente 10-12 días antes de la R1, esta etapa es el comienzo de periodo de mayor importancia de la planta ya que se desarrolla en términos de rendimiento de semilla, en esta etapa los brotes de mazorca superiores se desarrollan más que los brotes inferiores (Figura 7), siendo visibles en la etapa V17, por último, a partir de esta etapa los cambios de etapa de hoja ocurren cada uno o dos días (Ritchie *et al.*, 1993).
- V18: En esta etapa el desarrollo de los brotes de mazorcas sigue en desarrollo. Las raíces de refuerzo de los nódulos aéreos se desarrollan, ayudando a dar sostén a la planta y buscar agua y nutrientes en la superficie del suelo durante las etapas reproductivas (Ritchie *et al.*, 1993).
- VT: La etapa VT comienza con la aparición de la espiga, concluyendo cuando la última rama de la espiga es visible (Figura 7), el derrame de polen se da en sentido basípeto, es decir comienza en el eje principal y finaliza en las ramificaciones basales de la espiga (Golik *et al.*, 2018).
- R1: La etapa R1 da comienzo cuando los estigmas de los brotes son visibles fuera de su envoltura, los estigmas de las flores que son fecundadas cesan su crecimiento inmediatamente, mientras que los de las flores no fecundadas continúan creciendo hasta 15 días después de su aparición (Fischer y Palmer, 1984). Por otro lado, el óvulo o núcleo está casi completamente sumergido en el material de mazorca circundante y es de color blanco por fuera (Figura 8). El material interior del grano R1 es transparente y tiene muy poco líquido presente (Ritchie *et al.*, 1993).

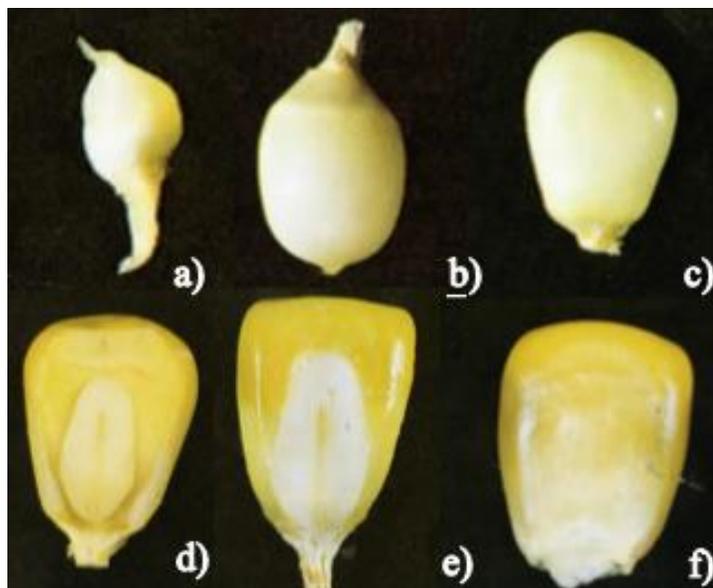


Figura 8. Fases del grano a) grano en R1, b) grano en R2, c) grano en R3, d) grano en R4, e) grano en R5 y f) grano en R6

Fuente: Ritchie *et al.* (1993)

- R2: Durante esta etapa se da inicio al llenado del grano, teniendo una acumulación de materia seca muy baja, de igual manera se inició a la división celular que producirá las células endospermicas (Fischer y Palmer, 1984). En esta etapa los granos son blancos por fuera y en forma de ampolla (Figura 8), el líquido interior del endospermo es claro y el embrión se puede observar si se disecciona el grano (Ritchie *et al.*, 1993).
- R3: En caso de maíz amarillo, el grano ahora es amarillo por fuera y el fluido interior es de un color blanco lechoso debido a la acumulación de almidón (Figura 8); aunque el embrión sigue en desarrollo en esta etapa, ahora es fácil de ver al diseccionar el grano (Ritchie *et al.*, 1993).
- R4: Durante esta etapa la acumulación de almidón es mayor lo que causa que el líquido del endospermo adopte una consistencia pastosa, en esta etapa, usualmente, se han formado cuatro hojas embrionarias y el grano ha aumentado considerablemente de tamaño (Figura 8) (Ritchie *et al.*, 1993).
- R5: En esta etapa los granos comienzan a secarse iniciando en la parte superior, donde una pequeña capa de almidón aparece junto con una abolladura en el grano del lado opuesto del embrión; a medida que la madurez del grano avanza, la capa de almidón duro y la línea avanzarán hacia la base del grano (Figura 8) (Ritchie *et al.*, 1993).

- R6: En esta etapa el grano y la mazorca en general ha alcanzado su máxima acumulación de materia seca, por lo que el almidón duro ha llegado hasta la base del grano (Figura 8) (Ritchie *et al.*, 1993).

4.4. Grados días de desarrollo (GDD)

Los grados días de desarrollo (GDD) son una medida indirecta del crecimiento y desarrollo de plantas e insectos, y representan la integración de la temperatura ambiental entre dos temperaturas limitantes, las cuales definen el intervalo en el cual un organismo se encuentra activo. Fuera de este intervalo el organismo no presenta un desarrollo apreciable o puede morir (Ojeda-Bustamante *et al.*, 2006). En la ecuación 1 se describe el cálculo de los GDD.

$$\begin{aligned} \text{°}Di &= \bar{T}i - T_{Cmin} \text{ si } \bar{T}i < T_{Cmax} \\ \text{°}Di &= T_{Cmax} - T_{Cmin} \text{ si } \bar{T}i \geq T_{Cmax} \\ \text{°}Di &= 0 \text{ si } \bar{T}i \leq T_{Cmin} \end{aligned} \quad 1)$$

Dónde: $\bar{T}i$ es la temperatura media diaria (°C), T_{Cmin} y T_{Cmax} son las temperaturas mínima y máxima dentro de las cuales se desarrolla el cultivo descrita por Ojeda- Bustamante (2004). De acuerdo con Neild y Newman (1987) La acumulación diaria de los GDD es una variable de gran valor predictivo para el manejo del riego. La maduración de las variedades comerciales de maíz varía de 1,150 a 1,760 para valores acumulados GDD. Las variedades se pueden clasificar por los requerimientos acumulados de GDD (Cuadro 3)

Cuadro 3. Clasificación de las variedades de maíz según los GDD requeridos

Acumulación de GDD	Clasificación
1150-1315	Ciclo corto
1315-1590	Ciclo intermedio
1590-1760	Ciclo largo

Fuente: Neild y Newman (1987)

4.5. Estimación de requerimientos de riego

De acuerdo con Pereira *et al.* (2010) el cálculo de los requerimientos hídricos para un cultivo debe hacerse como la combinación óptima de las necesidades hídricas del cultivo, características del suelo, almacenamiento y conducción de agua y la aplicación de riego en las parcelas, con sus condicionamientos técnico-económicos y sociales. Para que esto se cumpla

debe haber un balance entre el agua utilizada por el cultivo y el agua aplicada, haciendo que se cumpla con el balance de humedad descrito en la ecuación 2.

$$(\Delta S + \Delta V) = (P + I + GW) - (Qr + DP + ET) \quad 2)$$

Dónde: ΔS es la variación de la reserva de agua en el suelo, ΔV es el incremento de agua incorporada en las plantas, P es la precipitación, I la dosis de riego, GW es el flujo acumulado de ascensión capilar en un intervalo de tiempo, Qr es la escorrentía superficial en el mismo periodo de tiempo, DP es el flujo acumulado de drenaje por percolación profunda y ET es la evapotranspiración del cultivo (Pereira *et al.*, 2010).

4.5.1 Evapotranspiración (ET)

Se conoce como evapotranspiración (ET) a la combinación de dos procesos separados por los que el agua se pierde a través de la superficie del suelo por evaporación y por otra parte mediante transpiración del cultivo. La evapotranspiración depende de factores climáticos, el tipo de cultivo, la variedad del mismo y el manejo que se dé al cultivo (Allen *et al.*, 2006). La evaporación y la transpiración ocurren simultáneamente por lo que no es fácil distinguir entre ambos procesos, en las primeras etapas del cultivo, el agua se pierde principalmente por evaporación directa del suelo, pero con el desarrollo del cultivo, el aumento de su área foliar y finalmente la cobertura total del suelo, la transpiración se convierte en el proceso principal (Figura 9) (Allen *et al.*, 2006).

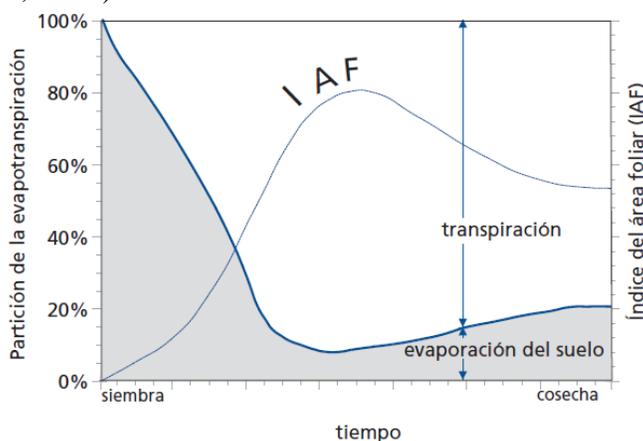


Figura 9. Repartición de la evapotranspiración en evaporación y transpiración durante el periodo de crecimiento de un cultivo anual

Fuente: Allen *et al.* (2006)

La evapotranspiración se divide en tres conceptos diferentes, evapotranspiración de referencia (ET_0), evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar (ET_C) y evapotranspiración del cultivo bajo condiciones no estándar (ET_{Caj}) (Allen *et al.*, 2006).

- **Evapotranspiración de referencia (ET_0):** Es La tasa de evapotranspiración de una superficie de referencia, que ocurre sin restricciones de agua, dicha superficie de referencia es un cultivo hipotético de pasto con características específicas, ET_0 solo se relaciona con parámetros climáticos (Figura 10) (Allen *et al.*, 2006).

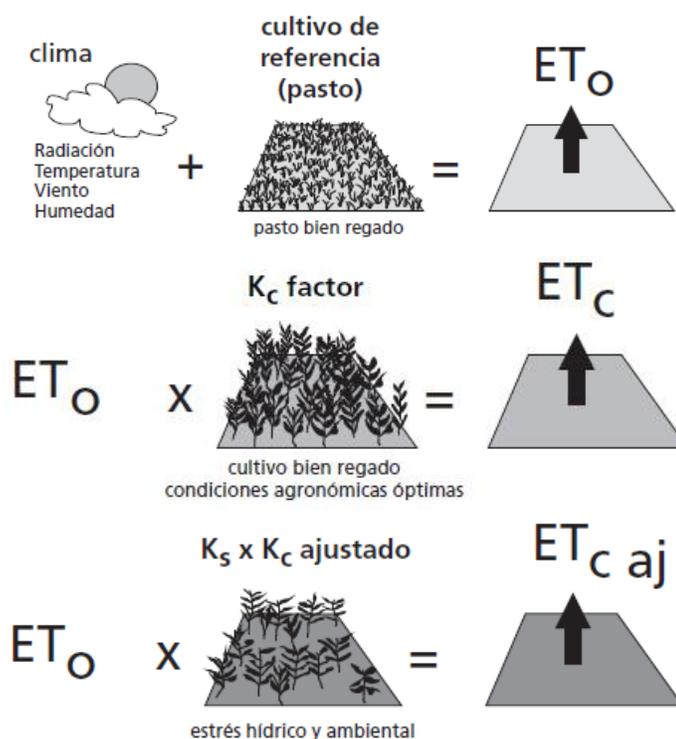


Figura 10. ET_0 , ET_C y ET_{caj}

Fuente: Allen *et al.* (2006)

- **Evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar (ET_C):** Se refiere a la evapotranspiración de cualquier cultivo cuando se encuentra exento de enfermedades, con buena fertilización y que se desarrolla en parcelas amplias, bajo óptimas condiciones de suelo y agua, y que alcanza la máxima producción de acuerdo a las condiciones climáticas (Figura 10) (Allen *et al.*, 2006).
- **Evapotranspiración del cultivo bajo condiciones no estándar (ET_{Caj}):** Evapotranspiración de cultivos que crecen bajo condiciones ambientales y de manejo diferentes de las condiciones estándar debido a condiciones no óptimas como son la

presencia de plagas y enfermedades, salinidad del suelo, baja fertilidad del suelo y limitación o exceso de agua (Figura 10) (Allen *et al.*, 2006).

4.5.2. Métodos de cálculo de ET

- Cálculo de ET_o : Existen diferentes métodos para el cálculo de la evapotranspiración de referencia, a continuación, se describen algunos.

1. **Penman-Monteith FAO56.** Es el método recomendado por la FAO (ecuación 3) (Allen *et al.*, 2006).

$$ET_o = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1+0.34U_2)} \quad 3)$$

Dónde: ET_o es la evapotranspiración de referencia (mm d⁻¹); R_n , radiación neta en la superficie del cultivo (MJ m⁻² d⁻¹); G , flujo del calor de suelo (MJ m⁻² d⁻¹); U_2 , velocidad del viento (m s⁻¹); e_a , presión real de vapor (kPa); e_s , presión de vapor de saturación; Δ , pendiente de la curva de variación de la presión (kPa °C⁻¹); T , temperatura promedio (°C); γ , constante psicométrica (kPa °C⁻¹); Z , elevación sobre el nivel medio del mar; λ , calor latente de vaporización (MJ kg⁻¹) (Allen *et al.*, 2006).

2. **Hargreaves.** Es un método desarrollado para condiciones ambientales del estado de California, Estados Unidos e ideal para trabajar cuando solo se cuenta con datos de temperatura (Hargreaves y Samani, 1985) (ecuación 4).

$$ET_o = 0.0135 * KT * Ra * (T + 17.8) * (T_{max} - T_{min})^{0.5} \quad 4)$$

Dónde: Ra es la radiación solar entrante de onda corta (mm d⁻¹); T_{max} , la temperatura máxima (°C); T_{min} , la temperatura mínima (°C); KT , 0,162 por regiones internas y 0,19 para regiones costeras (Hargreaves y Samani, 1985).

3. **Jensen-Haise** (ecuación 5) (Allen *et al.*, 1990)

$$ET_o = R_s * (0.0252 * T + 0.078) \quad 5)$$

Dónde: R_s es la radiación solar entrante de onda corta (mm d⁻¹); T , temperatura promedio (°C) (Allen *et al.*, 1990).

4. **Priestley and Taylor** Este método es una versión acortada de la ecuación penman-monteith (ecuación 6) (Priestley y Taylor, 1972).

$$ET_o = 1.26 * \left(\frac{\Delta}{\Delta + \gamma}\right) * (R_n - G) \quad 6)$$

Dónde: Δ es la pendiente de la curva de variación de la presión (kPa °C⁻¹); R_n , radiación neta en la superficie del cultivo (MJ m⁻² d⁻¹); G , flujo del calor de suelo (MJ m⁻² d⁻¹), γ , constante psicométrica (kPa °C⁻¹) (Priestley y Taylor, 1972).

- Cálculo de ET bajo condiciones estándar (ET_c): Considerando que no existen limitaciones en el desarrollo del cultivo debido a estrés hídrico o salino, densidad del cultivo, plagas y enfermedades, presencia de malezas o baja fertilidad, el valor de ET_c es calculado a través del enfoque del coeficiente del cultivo, donde los efectos de las condiciones del tiempo atmosférico son incorporados en ET_o y las características del cultivo son incorporadas en el coeficiente K_c, (ecuación 7) (Allen *et al.*, 2006).

$$ET_c = K_c * ET_o \quad 7)$$

- Cálculo de ET bajo condiciones no estándar (ET_{c_{aj}}): Cuando la energía potencial del agua del suelo cae por debajo de cierto valor umbral, se dice que el cultivo se encuentra estresado. Los efectos del estrés hídrico son incorporados al multiplicar el coeficiente basal del cultivo por el coeficiente de estrés hídrico (ecuación 8) (Allen *et al.*, 2006).

$$ET_c = (K_s * K_{cb} + K_e) ET_o \quad 8)$$

Dónde: K_s, coeficiente de estrés hídrico; K_{cb}, Coeficiente basal del cultivo; K_e, coeficiente de evaporación del suelo. K_s toma valores de <1 si existe estrés hídrico y de 1 si no existe dicho estrés (Allen *et al.*, 2006); la ecuación también puede simplificarse (ecuación 9).

$$ET_c = K_s * K_{cb} * ET_o \quad 9)$$

4.5.3. Coeficiente del cultivo (K_c) y su estimación basándose en GDD

El coeficiente del cultivo (K_c) expresa los cambios en la vegetación y en el grado de cobertura del suelo. Esta variación del coeficiente K_c a lo largo del crecimiento del cultivo está representada por la curva del coeficiente del cultivo (Figura 11), la cual generalmente suele presentar 3 etapas conocidas como K_c inicial, K_c medio y K_c final (Allen *et al.*, 2006).

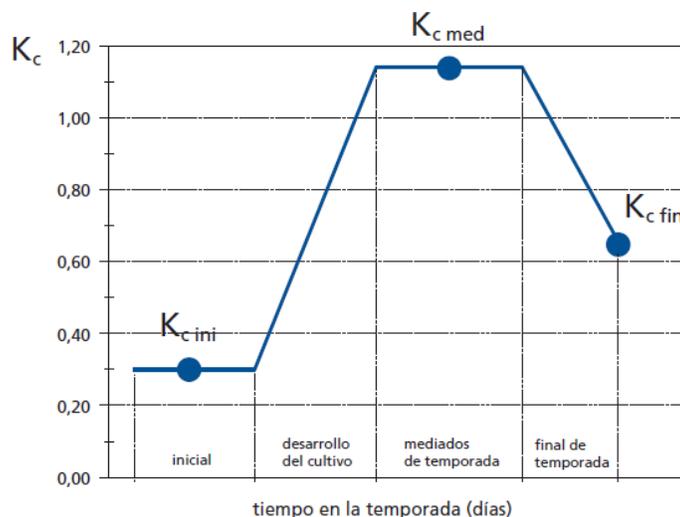


Figura 11. Curva del coeficiente del cultivo.

Fuente: Allen *et al.* (2006)

El K_c de un cultivo puede obtenerse de valores tabulados de K_c dados por la FAO para poder calcular la ET_c de diferentes cultivos.

- Obtención de K_c por el método de grados días de desarrollo: El coeficiente del cultivo K_c puede ser calculado en base a los grados días de desarrollo de los cultivos (Nielsen y Hinkle (1996) y Sammis *et al.* (1985). Ojeda-Bustamante *et al.* (2004) y Ojeda-Bustamante *et al.* (2006) Trabajaron en condiciones de campo abierto calculando los requerimientos hídricos de maíz y papa, ellos además de utilizar los grados días de desarrollo como una variable para el cálculo de requerimientos hídricos también tomaron en cuenta la profundidad de raíz de los cultivos. A continuación, se describen los métodos de cálculo de K_c por el método de Nielsen y Hinkle y el método de Sammis.

1. **Nielsen y Hinkle.** Es un método que se compone de tres ecuaciones que forman rectas según la cantidad de grados días de desarrollo acumulados, formando en su conjunto la curva característica del K_c (ecuación 10).

$$X \leq 0.12: K_c = 0.15$$

$$0.12 < X < 0.44: K_c = -0.18 + 2.738 * X \quad (10)$$

$$0.44 \leq X \leq 0.81: K_c = 1.02$$

$$X > 0.81: K_c = 3.208 - 2.698 * X$$

Dónde: X es la fracción de los GDD requeridos para la maduración (Nielsen y Hinkle, 1996)

2. **Sammis.** Es una ecuación cubica que describe la evapotranspiración a medida que los grados días de desarrollo se acumulan (ecuación 11).

$$K_C = B_0 + B_1 \sum G + B_2 \sum G^2 + B_3 \sum G^3 \quad 11)$$

Dónde: G son los grados días de desarrollo, $B_0=1.20E-1$, $B_1=1.68E-3$, $B_2=-2.46E-7$, $B_3=-4.37E-10$ (Sammis *et al.*, 1985).

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Localización

El experimento se realizó en el invernadero de la Facultad de Ciencias Agropecuarias (18°58'51" N, 99°13'58.89" O, alt. 1866 m) de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos, ubicada en el municipio de Cuernavaca, Morelos, México (Figura 12). En esta región se presentan dos tipos de climas predominantes, el clima templado subhúmedo con lluvias en verano de mayor humedad C(W2) y el clima semi cálido subhúmedo con lluvias en verano de humedad media ACW1. La temperatura media anual es de 21.1°C con una precipitación media anual que oscila entre los 800 y los 1,500 mm. Las temperaturas máximas se presentan en abril y mayo con valores que van de los 24°C a los 28°C, mientras que las temperaturas mínimas se dan entre diciembre y enero con valores menores a los 10 °C (INAFED, 2018).

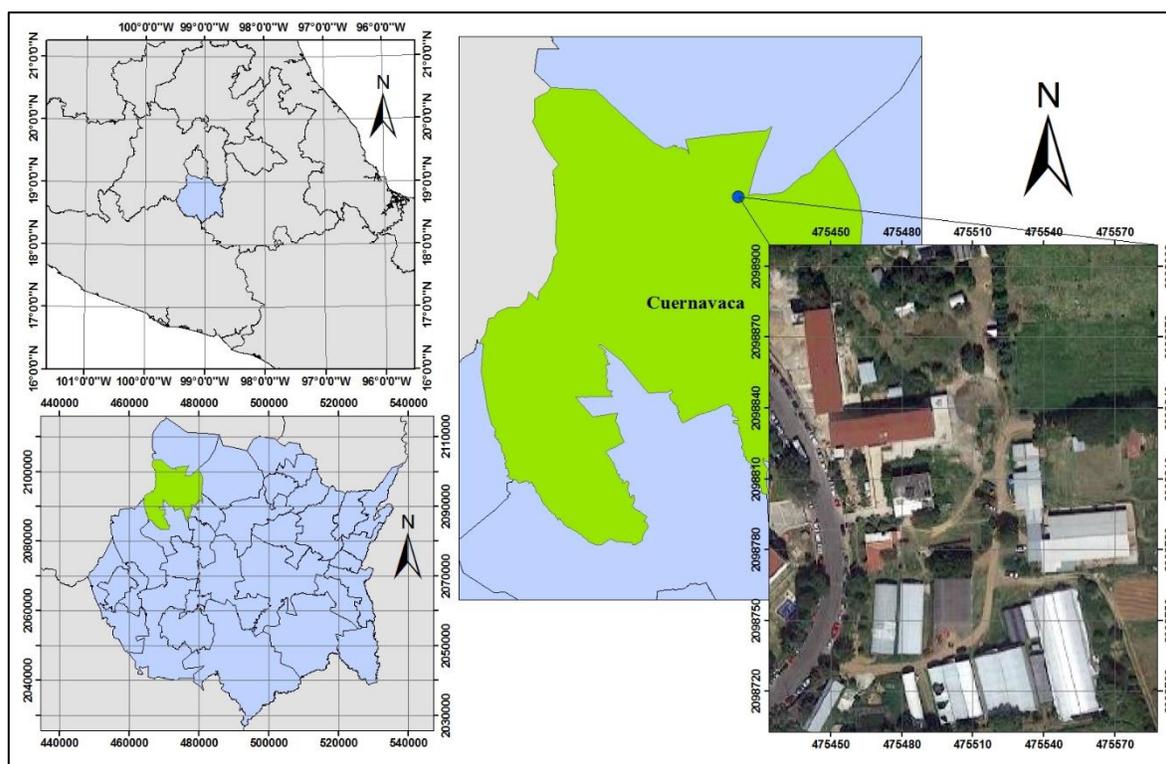


Figura 12. Localización de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, UAEM

5.2. Materiales

Material vegetal. Se utilizaron cuatro variedades de maíz, Armadillo, Delfín, Zarco ZR-76 y galileo 5000 (Figura 13) a continuación se describen las características de las variedades utilizadas (Cuadro 4)



Figura 13. Semillas de las variedades utilizadas

Cuadro 4. Variedades de maíz utilizadas y características

Variedad	Marca	Procedencia	Características
Armadillo	ASGROW	Sinaloa	<ul style="list-style-type: none"> • Ciclo intermedio • Altura: 260 A 270 cm • Días a cosecha: 185-190 • Días a floración: 85-88
Delfín	ASGROW	Sinaloa	<ul style="list-style-type: none"> • Ciclo intermedio • Altura: 175-180 cm • Días a cosecha: 180-190 • Días a floración: 89-92
Zarco ZR-76	ZARCO	Morelos	<ul style="list-style-type: none"> • Ciclo intermedio • Altura: 250-260 cm • Días a madurez fisiológica: 120 • Días a floración: 60
Galileo 5000	CERES	Sinaloa	<ul style="list-style-type: none"> • Ciclo intermedio • Altura: 268 cm • Días a cosecha: 172-175 • Días a floración: 70-73

Fuente: ASGROW (2022), Semillas Zarco, (2022) y CERES, (2022).

Medio de cultivo y materiales de medición. Como macetas se utilizaron bolsas de polietileno de 20 x 35 cm, el sustrato utilizado fue suelo del lugar de estudio, al que se le agregó humus de lombriz en una relación 3:1; la altura de planta se tomó con un flexómetro de la marca PRETUL® y el diámetro de tallo se midió con un vernier digital. Por último, el

contenido de clorofila en las hojas de las plantas se tomó con SPAD de la marca KONICA MINOLTA® modelo SPAD-502 Plus (Figura 14).



**Figura 14. SPAD KONICA
SPAD-502 Plus**

Medición de variables climáticas. Se registraron la temperatura máxima, mínima y media y humedad cada 30 minutos durante el desarrollo del cultivo. Para tomar dichos registros se instaló un sensor equipado con un datalogger de la marca HOBO® modelo MX2301, (Figura 15). Los datos se descargaban directamente a un dispositivo móvil vía Bluetooth.



**Figura 15. Sensor datalogger
marca HOBO MX2301**

5.6. Diseño experimental y análisis estadístico

El experimento se estableció bajo un diseño completamente al azar en un arreglo factorial, el cual tuvo tres tratamientos de riego a diferentes niveles, 100 %, 75 %, 50 %, que fueron obtenidos según el cálculo de la evapotranspiración del cultivo, utilizando la metodología de los GDD y un testigo al que se aplicó un riego convencional (RC),

generalmente con volúmenes mayores que el tratamiento 100 %. Se establecieron seis repeticiones por tratamiento y como unidad experimental se utilizó una maceta que contenía una planta. El experimento se distribuyó como se indica en la Figura 16.

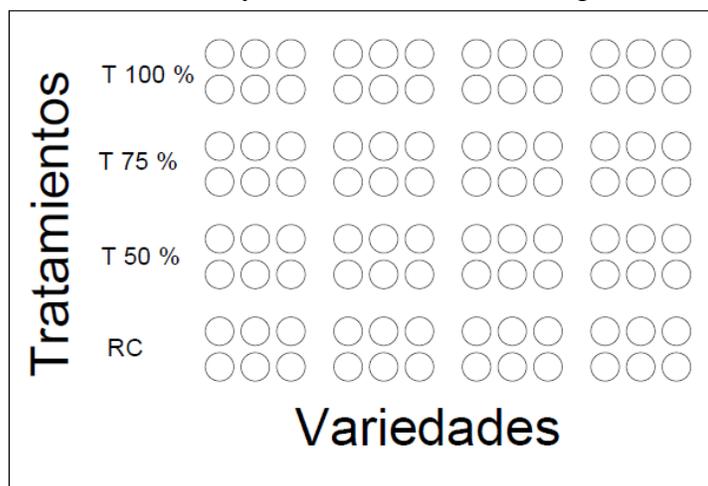


Figura 16. Croquis del experimento, T 100 %= Riego al 100 %; T 75 %= riego al 75 %; T 50 %= riego al 50 %; RC= riego convencional

Para el análisis estadístico se utilizó software SAS versión 9.0 del año 2002, con el cual se hizo un análisis de varianza ANOVA y una comparación de medias por el método de Tukey ($\alpha=0.05$).

5.3. Establecimiento del experimento

Un día antes de la siembra cada maceta se regó con una dosis de un litro de agua, la siembra se hizo el día 6 de abril del 2022 sembrando tres semillas por maceta. Posterior a la siembra se aplicó un riego base de 500 ml por maceta a todos los tratamientos.

Después del establecimiento del experimento, para asegurar la sobrevivencia de todos los tratamientos, se mantuvieron por un tiempo tres plantas por maceta, hasta que se consideró fuerte para sobrevivir con mayor facilidad, a los 45 días después de la siembra en el tratamiento de 100 % y el testigo se eliminaron dos plantas de cada maceta, esto para evitar la competencia por recursos y permitir un buen desarrollo; en los tratamientos de 75 % y 50 % se eliminaron dos plantas hasta los 52 días después de la siembra.

5.4. Fertilización y control de plagas y enfermedades

Como fuente de nutriente se aplicó fertilizante triple 16 en solución, cubriendo el requerimiento de 220 unidades de nitrógeno, según lo recomendado por Joaquín *et al.* (2011), esto para todos los tratamientos. Para cumplir con dicha dosis se aplicó una dosis de 6.22 g de fertilizante por maceta dividido en cuatro aplicaciones de 1.55 g por maceta, esta cantidad de fertilizante se diluyó en la cantidad de agua a aplicar en el riego. La primera aplicación de fertilizante se hizo cuando las plantas del testigo y el tratamiento 100 % se encontraban en la etapa V3, la segunda cuando las plantas de ambos tratamientos estaban en etapa V5. La tercera dosis fue aplicada al inicio de la floración, etapa VT de los tratamientos testigo y 100 %, y la cuarta dosis se aplicó durante la floración, a inicios de la etapa R1. Para cubrir la necesidad de micro elementos se hicieron tres aplicaciones del fertilizante foliar Bayfolan®, la primera aplicación a los 43 días después de la siembra, la segunda a los 63 días después de la siembra y la tercera a los 91 días después de la siembra, en todos los casos la dosis fue de 10 ml L⁻¹, esto según la ficha técnica del producto.

Como medida preventiva de la plaga de chapulines (*Sphenarium purpurascens*) se aplicó el producto comercial SIROC 20®, cuyo ingrediente activo es cipermetrina, la aplicación se realizó a los 56 días después de la siembra, cuando la presencia de la plaga apenas comenzaba, a una dosis de 2 ml L⁻¹ según lo recomienda el fabricante.

5.5. Cálculo de requerimientos de riego

Evapotranspiración de referencia (ET_o). Previo al experimento, se calculó los valores de ET_o para la zona de estudio utilizando datos climáticos históricos horarios de un periodo de dos años con los métodos de Hargreaves (Ecuación 2) y el método de Priestley (Ecuación 4), que, según Ortiz (2020) mostraron ser eficientes bajo condiciones de datos climáticos limitados en el cálculo de ET_o. Una prueba estadística de “Student” concluyó que ambos métodos no tienen diferencias significativas, por lo que se decidió utilizar el valor promedio de ambos métodos como valor de la ET_o para los cálculos de riego.

Cálculo de grados días de desarrollo (GDD). Para el cálculo de grados días de desarrollo se utilizó la ecuación 1 simplificada por Ojeda-Bustamante *et al.* (2006), utilizando 10 y 30

como temperaturas mínima y máxima dentro de las cuales la planta de maíz se desarrolla (Neild y Newman, 1987).

Cálculo del coeficiente del cultivo (Kc). El cálculo de Kc se realizó mediante el método de Sammis *et al.* (1985) (Ecuación 11) y el método de Nielsen y Hinkle (Ecuación 10), ambos métodos basados en la utilización de los GDD, como valor de Kc para el cálculo de riego se utilizó el valor mayor entre ambos métodos, esto para asegurar que las necesidades hídricas del cultivo se cubrieran por completo.

Cálculo de requerimientos de riego. Para la estimación de ETc, se utilizó el método descrito por (Allen *et al.*, 2006), para cultivos desarrollados en condiciones estándar, (ecuación 7), por otra parte, el riego al 100 % se refiere a la reposición total de la ETc calculada, en base a este volumen de riego se estimaron los niveles de riego al 75 % y 50 %; el riego convencional no tuvo ningún método de cálculo, solo se regó a consideración del regador.

5.7. Variables respuesta

Las variables respuesta evaluadas en el experimento fueron: los datos climáticos, temperatura máxima (T-MAX), temperatura mínima (T-MIN), temperatura media (T-MED) y humedad relativa (HR); fueron registrados cada 30 minutos durante el ciclo del cultivo; fenología, las etapas fenológicas vegetativas se registraron semanalmente, mientras que las etapas reproductivas se registraron cada 10 días, la identificación de cada etapa se hizo en base a la descripción realizada por Ritchie *et al.* (1993); la altura total de planta (cm), que se midió con un flexómetro de la superficie del suelo hasta la punta de la espiga como lo indica el manual del SNICS (2014); altura a la mazorca (cm), medida de la superficie del suelo al entrenudo de inserción de la primera mazorca como lo sugiere SNICS (2014); diámetro de tallo (mm), se midió a la altura del segundo entrenudo con un vernier; número de hojas por planta (hojas), se contaron semanalmente, contando solamente las hojas completamente extendidas; concentración de N en la hoja (% de nitrógeno) se midió con un dispositivo portátil de medición de clorofila (SPAD), la conversión de unidades SPAD a concentración de nitrógeno se hizo con la ecuación obtenida por Rhezali y Aissaoui (2021), $\%N=0.073(\text{SPAD})-0.98$. longitud de mazorca (cm), se midió de la base hasta el ápice de la mazorca como lo indica SNICS (2014); diámetro de mazorca (cm), se midió en la parte media de cada mazorca

según lo sugerido por SNICS (2014); peso de la mazorca (g), se pesó cada mazorca por separado en una balanza digital; por último, se estimó la productividad del agua en base al rendimiento en mazorca del cultivo.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Parámetros climáticos y GDD

La temperatura máxima promedio diaria (T-MAX) durante el experimento fue de 33.33 °C, la temperatura mínima promedio diaria (T-MIN) de 13.95 °C y la temperatura media (T-MED) diaria fue de 21.28 °C; el comportamiento estos parámetros climáticos en relación a los días después de la siembra se muestra en la Figura 17.

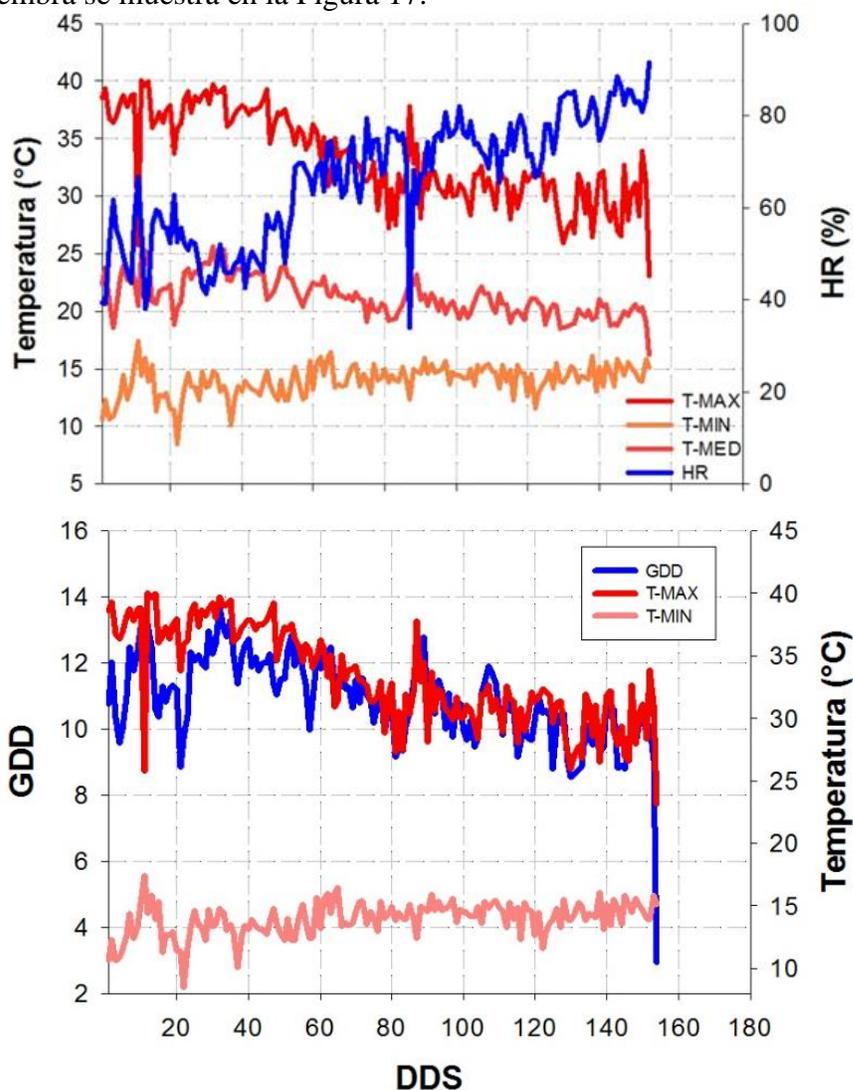


Figura 17. Valores de temperaturas máximas, mínimas, medias, humedad relativa y GDD diarios

Se puede apreciar que aproximadamente entre los 60 y 65 DDS la temperatura disminuye, mientras que la humedad relativa se incrementa desde los 150 DDS, lo anterior debido al comienzo de la temporada de lluvias. Esta tendencia en el descenso de la temperatura repercutió en la acumulación de GDD (Figura 17), ya que este parámetro depende

directamente las temperaturas. La acumulación promedio diaria de GDD fue de 10.87, el máximo de 13.69 GDD, mientras que el mínimo de 8.53 GDD, el acumulado final en la cosecha fue de 1610.96 GDD.

6. 2. Análisis de etapas fenológicas

6.2.1. Emergencia (VT)

La emergencia no se dio de manera uniforme, en la Figura 18 se aprecia como en un mismo tratamiento hay plantas que ya desarrollaron su primera hoja, también hay plantas recién emergidas y macetas en las que aún no emerge ninguna planta. El primer registro se hizo a los 10 días de la siembra cuando se habían acumulado 126.54 GDD y el máximo porcentaje de emergencia se registró a los 17 días después de la siembra, a los 206.44 GDD acumulados.



Figura 18. Emergencia de plantas en macetas del experimento para el tratamiento de riego 75 % a los 10 DDS y 126.54 GDD

En la Figura 19 se graficaron los porcentajes de emergencia de las diferentes variedades en cada uno de los tratamientos, podemos observar que el tratamiento del 100 % tuvo un mayor porcentaje de emergencia en los dos registros que se hicieron con 66.7 % y 86.1 % respectivamente, mientras que el tratamiento más bajo fue el del 75 % con 45.8 % y 79.2 % de emergencia, el porcentaje máximo promedio de emergencia para el tratamiento 100 % fue de 86.11 % de las plantas, mientras que en el tratamiento 75 % solo emergieron el 79.17 %.

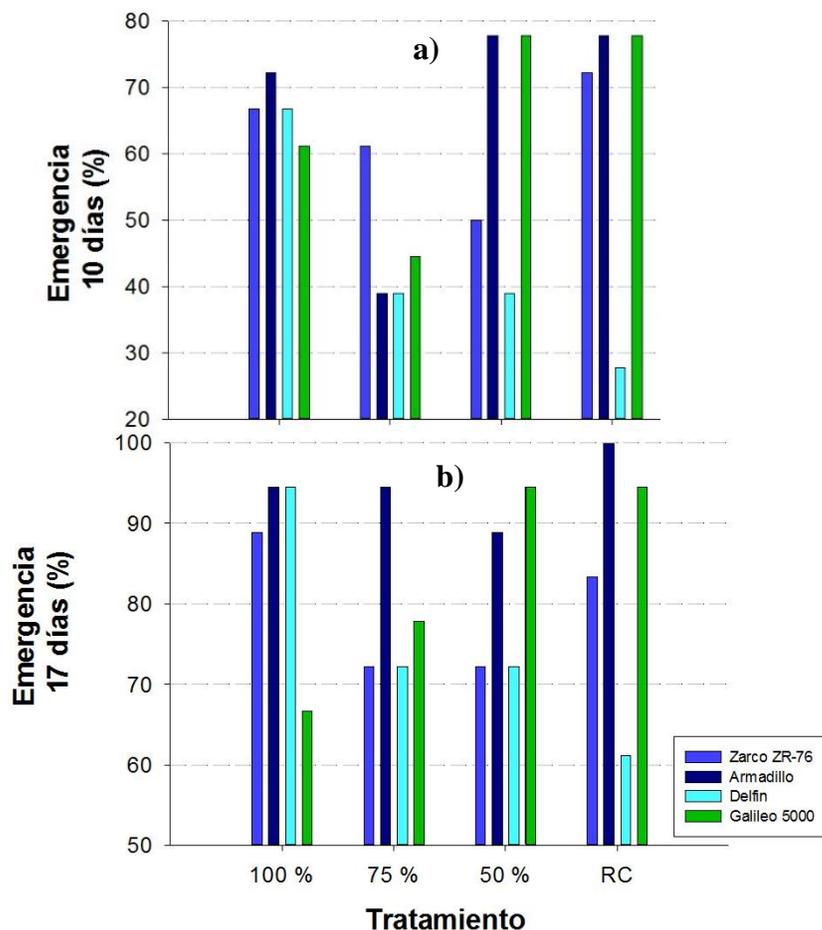


Figura 19. Porcentaje de emergencia a) 10 DDS y b) 17 DDS

La variedad Armadillo tuvo un mayor porcentaje de emergencia, con un promedio de 66.6 % de emergencia y 94.4 % a los 17 DDS; Con relación a los tratamientos Armadillo osciló entre 66.7 % y 94.4 %; por su parte la variedad Delfín fue la que tuvo un menor porcentaje de emergencia en los tratamientos y osciló entre 43.1 % y 74.9 %. Esto nos indica que la variedad Armadillo tiene mejor capacidad para emergencia en suelos arcillosos. Un análisis más detallado de los resultados por tratamiento será descrito en el capítulo Análisis de etapas fenológicas.

6.2.2. Etapas vegetativas y reproductivas

La fenología de las diferentes variedades se muestra en la Figura 20, en general se puede observar que sin importar la variedad los tratamientos 100 % y el testigo tuvieron un desarrollo más precoz, con menos cantidad de GDD para completar cada una de sus etapas fenológicas y su ciclo completo. En cuanto al comportamiento por variedad Armadillo, Delfín y Galileo 5000 Presentaron comportamiento similar en la fenología; el tratamiento 50 % requirió en promedio 200 GDD más para poder completar cada etapa fenológica, el Anexo 1

muestra detalladamente la duración de la fenología en cada variedad y tratamiento en días después de la siembra (DDS) y grados días desarrollo (GDD).

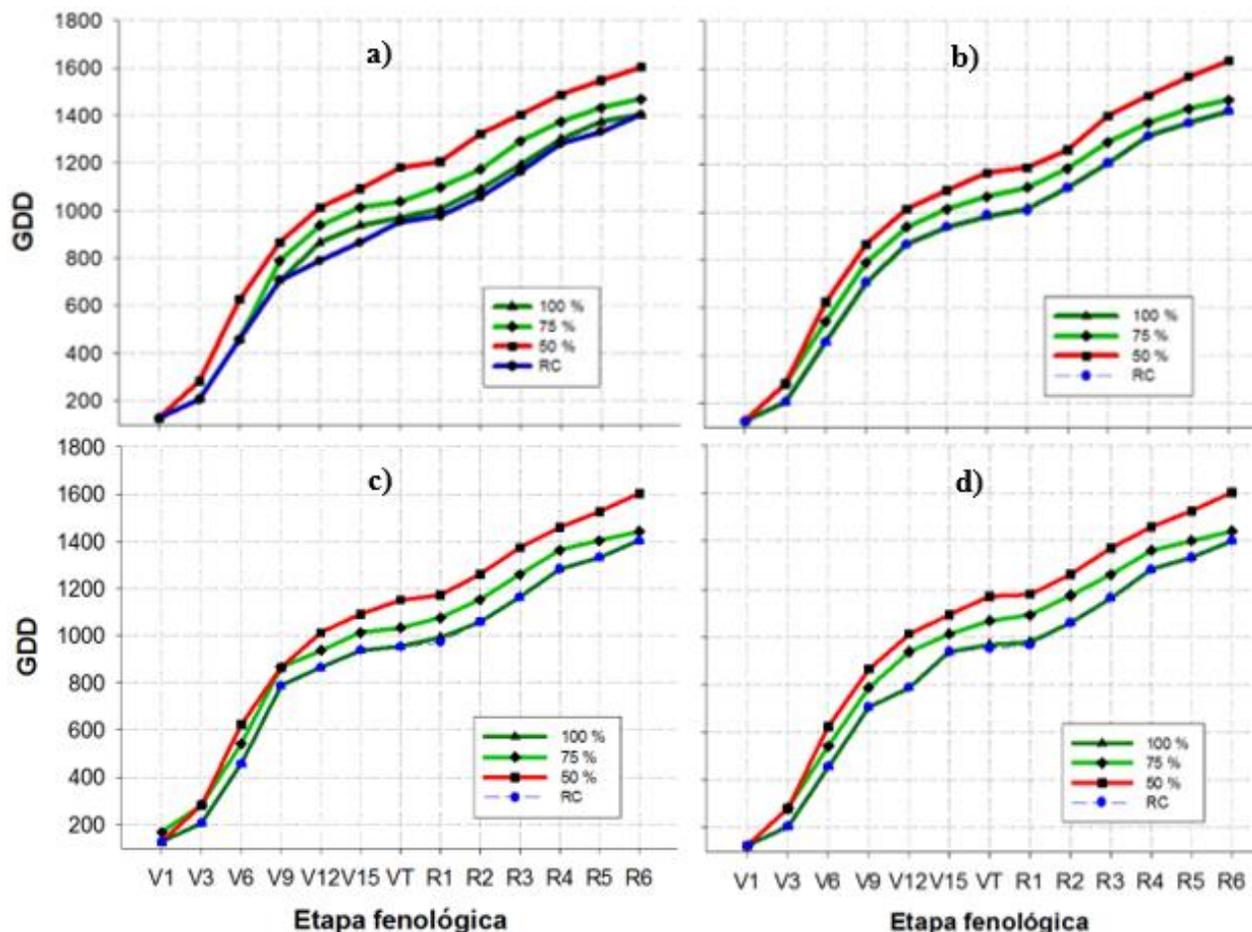


Figura 20. Etapas de las variedades estudiadas, a) Zarco ZR-76; b) Armadillo; c) Delfín; d) Galileo 5000

6.3. Análisis estadístico de los tratamientos de riego

6.3.1. Variables agronómicas y concentración de nitrógeno

Las variables agronómicas estudiadas (altura de planta, diámetro de planta, altura de mazorca, concentración de nitrógeno y el número de hojas por planta) mostraron resultados diferentes en cuanto al tratamiento de riego; en relación con la altura de planta, el riego convencional y el tratamiento al 100 % fueron superiores a los tratamientos 75 % y 50 % durante todo el periodo de estudio, el crecimiento más rápido de la planta se dio entre los 800 GDD y 1000 GDD acumulados, durante la floración del cultivo (Figura 21); en promedio, las alturas finales de los tratamientos riego convencional y riego al 100 % fueron 15.69 % mayores que el tratamiento de riego al 75 % y 22.24 % mayores que el tratamiento al 50 %, la

variedad más afectada en cuanto a la altura de planta fue Zarco ZR-76 con diferencias más marcadas, comparada con el resto de variedades (Figura 22), en las que, si bien, hubo diferencias, el desarrollo de las variedades se vio afectado en menor medida por el estrés hídrico.

El diámetro de tallo se desarrolló de mejor manera en los tratamientos de riego convencional y riego al 100 % con valores promedio de 27.08 mm y 26.28 mm respectivamente, por otro lado, ambos tratamientos alcanzaron un crecimiento máximo de tallo aproximadamente a los 950 GDD acumulados, mientras que el tratamiento de riego al 50 % se retrasó, alcanzando su valor máximo promedio de 24.29 mm aproximadamente a los 1030 GDD (Figura 21).

Por otro lado, la altura de mazorca siguió un comportamiento similar a las alturas de las plantas, desarrollándose el brote de mazorca a mayor altura en los tratamientos de riego convencional y riego al 100 % y disminuyendo su altura en los tratamientos 75 % y 50 %.

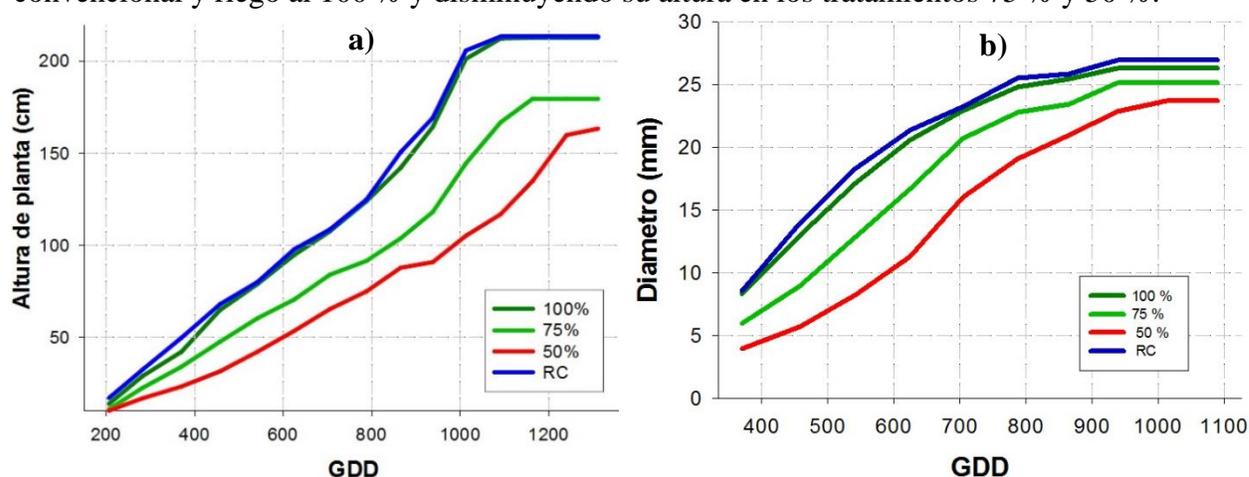


Figura 21. Altura de planta y diámetro de tallo en base a los GDD acumulados; a) altura de planta; b) diámetro de tallo

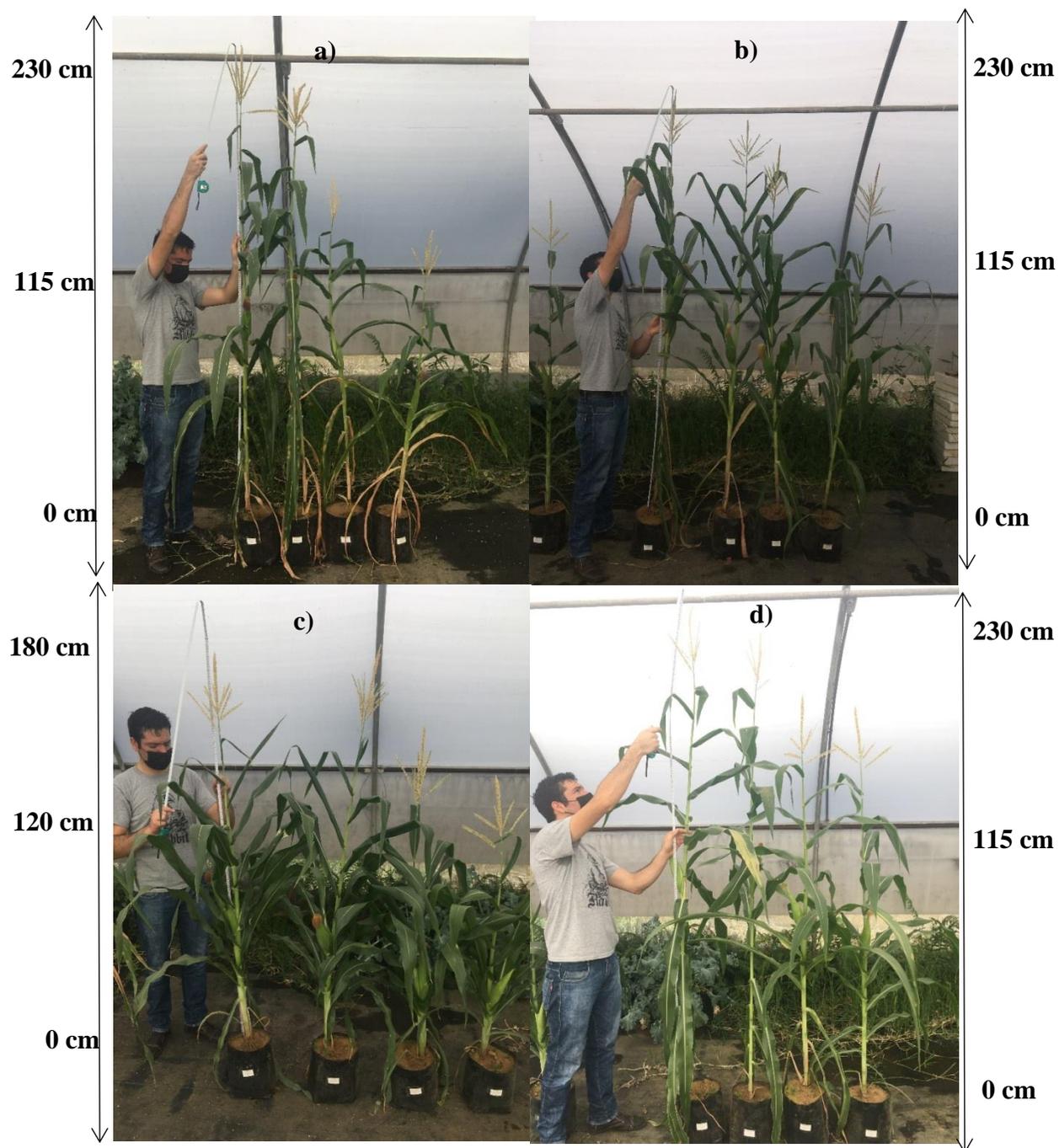


Figura 22. Altura final de planta, de izquierda a derecha, riego convencional, riego al 100 %, riego al 75 % y riego al 50 %; a) variedad Zarco ZR-76; b) variedad Armadillo; c) variedad Delfín; d) variedad Galileo 5000

El número de hojas varió en función del nivel de riego aplicado, mientras que los tratamientos de riego convencional y riego al 100 % desarrollaron en promedio 20 hojas, alcanzando su máximo número de hojas aproximadamente a los 964.9 GDD, mientras que los tratamientos de riego al 75 % y 50 % desarrollaron entre 18 y 19 hojas por planta, alcanzando este máximo a los 1050.68 GDD y 1165.96 GDD respectivamente, esta diferencia en el número de hojas se comenzó a marcar más aproximadamente a partir de los 700 GDD acumulados (Figura 23).

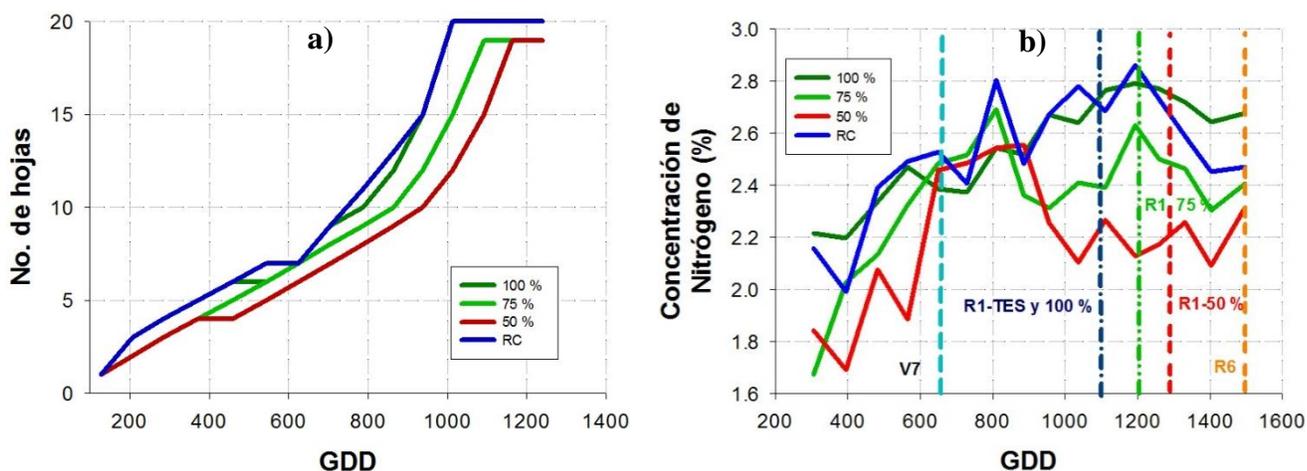


Figura 23. Número de hojas por planta y concentración de nitrógeno en base a los GDD acumulados; a) número de hojas por planta; b) concentración de nitrógeno

La concentración de nitrógeno se hizo en tres etapas del desarrollo del cultivo, el primer análisis se hizo con datos colectados durante la etapa V7 en cada tratamiento, mientras que el segundo con datos de la etapa R1, el último se hizo con datos de la etapa R6; la concentración de nitrógeno se diferenció más entre tratamientos a partir de los 1000 GDD acumulados, siendo más alta en los tratamientos de riego convencional y riego al 100 % (Figura 23).

Los análisis de varianza (ANOVA) de las variables agronómicas arrojaron diferencias altamente significativas entre los diferentes tratamientos, a excepción de la concentración de nitrógeno en la primera etapa (V7); la variable altura de mazorca tuvo un coeficiente de variación mayor al resto de las variables (9.87 %), por el contrario, la variable de concentración de nitrógeno en la primera etapa fue la más baja en cuanto al coeficiente de variación (6.35 %), en cuanto al error presente entre los datos, la variable altura de planta presentó el error más alto, con un valor de 164.19, mientras que el error más bajo se presentó en la variable de concentración de nitrógeno en la tercera etapa con un valor de 0.05 (Cuadro 5).

Cuadro 5. Cuadro ANOVA de variables agronómicas

Variables	Fuente de variación				
	Cuadrado medio de la Variedad	Cuadrado medio del tratamiento de riego	Cuadrado medio de interacción Variedad*Riego	Cuadrado medio del Error	CV(%)
AP (cm)	15365.26**	12720.05**	614.92**	164.19	6.62
DT (mm)	353.65**	40.68**	4.17 ns	2.86	6.57
AM (cm)	12274.92**	4408.67**	90.09 ns	47.89	9.87
NPE (%)	0.0138 ns	0.0175 ns	0.0316 ns	0.0239	6.35
NSE (%)	0.371**	0.991**	0.05 ns	0.0378	7.83
NTE (%)	0.291**	0.28**	0.074 ns	0.05	9.13
NH (hojas)	0.704 ns	13.41**	1.15 ns	0.65	4.19

** , Diferencias altamente significativas; ns, diferencias no significativas; AP= altura de planta; DT= diámetro de tallo; AM= altura de mazorca; NPE= concentración de nitrógeno primera etapa; NSE= concentración de nitrógeno segunda etapa; NTE= concentración de nitrógeno tercera etapa; NH= número de hojas;

El riego convencional y el tratamiento al 100 % presentaron alturas promedio mayores, 212.95 cm y 212.72 cm respectivamente, siendo estadísticamente iguales, mientras que el tratamiento 50 % presentó una altura de planta menor que el resto de tratamientos. A continuación, se presenta la comparación de medias por el método de Tukey (Cuadro 6).

El riego convencional y el tratamiento 100 % desarrollaron un mayor tamaño del diámetro, alcanzando una media de diámetro del tallo de 27.08 mm y 26.28 mm respectivamente, sin tener diferencias significativas entre ellos y teniendo una diferencia significativa con la media del tratamiento 50 % que fue de 24.29 mm (Cuadro 6).

De acuerdo con los análisis de varianza, la única etapa en la que todos los tratamientos fueron estadísticamente iguales es a los 648.96 GDD correspondiente a V7, mientras que en R1 y R6 los tratamientos presentaron diferencias significativas, siendo el riego convencional y el tratamiento 100 % los de mayor concentración de nitrógeno con porcentajes de 2.78 % y 2.64 %, respectivamente para la concentración en la segunda etapa y valores de 2.47 y 2.67 respectivamente en la concentración de la tercer etapa, esto en comparación con el tratamiento

de riego al 50 % que en ambos análisis obtuvo los valores de concentración de nitrógeno más bajos (Cuadro 6).

El riego convencional alcanzó una altura de mazorca más alta con una media de 83.50 cm, y fue igual estadísticamente con el tratamiento 100 % que tuvo una media de altura a la mazorca de 79.70 cm, el tratamiento con una altura más baja de la mazorca fue el 50 % con una media de 52.78 cm (Cuadro 6).

El tratamiento 100 % desarrolló un número mayor de hojas, con un promedio de 19.75 hojas por planta, siendo estadísticamente igual con el riego convencional y el riego al 75 % que tuvieron valores medios de 19.69 hojas por planta y 19.29 hojas por planta respectivamente; el tratamiento 50 % desarrolló un número menor de hojas, con un promedio de 18.04 hojas por planta (Cuadro 6).

Cuadro 6. Comparación de medias por Tukey para variables agronómicas por tratamientos

NR	Variable respuesta						
	AP (cm)	DT (mm)	NPE (%)	NSE (%)	NTE (%)	AM (cm)	NH
RC	212.95 a*	27.08 a	2.42 a	2.78 a	2.47 ab	83.50 a	19.69 a
100%	212.72 a	26.28 ab	2.39 a	2.64 a	2.67 a	79.70 a	19.75 a
75%	179.52 b	25.10 bc	2.47 a	2.39 b	2.40 b	62.62 b	19.29 a
50%	165.57 c	24.29 c	2.45 a	2.12 c	2.31 b	52.78 c	18.04 b

*Medias con literales diferentes dentro de columnas son estadísticamente diferentes ($\alpha=0.05$).

NR= nivel de riego; RC= riego convencional

Los resultados obtenidos en el presente experimento se asemejan a los resultados obtenidos por Sebastián (2013), que encontró que las variedades de maíz tratadas con un riego en el que se repone el 100 % de la evapotranspiración de la planta, tienen un mayor crecimiento en comparación con las plantas en las que se repone un porcentaje menor de la ET total. De acuerdo con Duan *et al.* (2007) la disminución en la altura se debe a que las plantas modifican su estructura cuando son sometidas a algún tipo de estrés, esto repercute directamente en el índice de desarrollo, disminuyendo considerablemente aspectos como la altura de planta y grosor de tallos.

Arrazate *et al.* (2008) obtuvieron resultados que respaldan el presente trabajo, coincidiendo en una disminución en el diámetro del tallo al someter la planta de maíz a un estrés hídrico. De acuerdo con Vásquez y Ruiz (1993), el diámetro del tallo de la planta de maíz depende de las condiciones edafoclimáticas con las que se cuente, esto explicaría la reducción del tamaño del tallo en el tratamiento de 50 %, debido al déficit de agua.

Según Rorie *et al.* (2011), la concentración óptima de nitrógeno en la hoja en la etapa R1 oscila entre 2.76 % y 3.5 %, con base en los resultados obtenidos en este experimento se observa que el riego influye fuertemente en dicha concentración, siendo más baja en los tratamientos con menor riego, esto a pesar de que todos los tratamientos se fertilizaron de la misma manera.

Cakir (2004) analizó los efectos de la deficiencia de agua en el cultivo de maíz, encontrando que durante el desarrollo vegetativo se producen pérdidas del 28 al 32 % de biomasa, lo que explica la pérdida de altura de la planta y con ello la disminución de las alturas de la mazorca en el tratamiento de riego al 50 %.

El número de hojas de este experimento se asemejó a los resultados obtenidos por Arrazate *et al.* (2008) que observaron una disminución del número de hojas y con ello el índice de área foliar a medida que el estrés hídrico era mayor en las plantas de maíz.

6.3.2. Análisis estadístico de etapas fenológicas

De manera general las etapas fenológicas se describieron en el apartado 6.2 de análisis de etapas fenológicas, en este apartado se describe el análisis estadístico en el que solo se tomaron en cuenta las etapas de emergencia, floración, jiloteo y madurez fisiológica; midiendo el tiempo en GDD acumulados desde la siembra hasta cada una de las etapas analizadas; en este sentido podemos decir, de manera general que la emergencia fue la etapa en la que se presentó una diferencia entre tratamientos; por otra parte, la floración, el jiloteo y la madurez fisiológica se presentaron primero en los tratamientos de riego convencional y riego al 100 %, en la Figura 24 se puede apreciar que a los 80 DDS donde los tratamientos de 100 % y RC están en la etapa de floración, los tratamientos de riego 75 % y 50 % aún no presentan la floración, de la misma manera que presentan una altura de planta menor. El análisis de varianza (ANOVA) de las variables relacionadas con la fenología del cultivo indica que la

variable fenológica con mayor variación entre los datos recabados fue los grados días desarrollo a la emergencia presentando un valor de 21.86 % de coeficiente de variación, mientras que los grados días desarrollo a madurez fisiológica tuvo la variación más baja, teniendo un coeficiente de variación de 0.007 % (Cuadro 7).

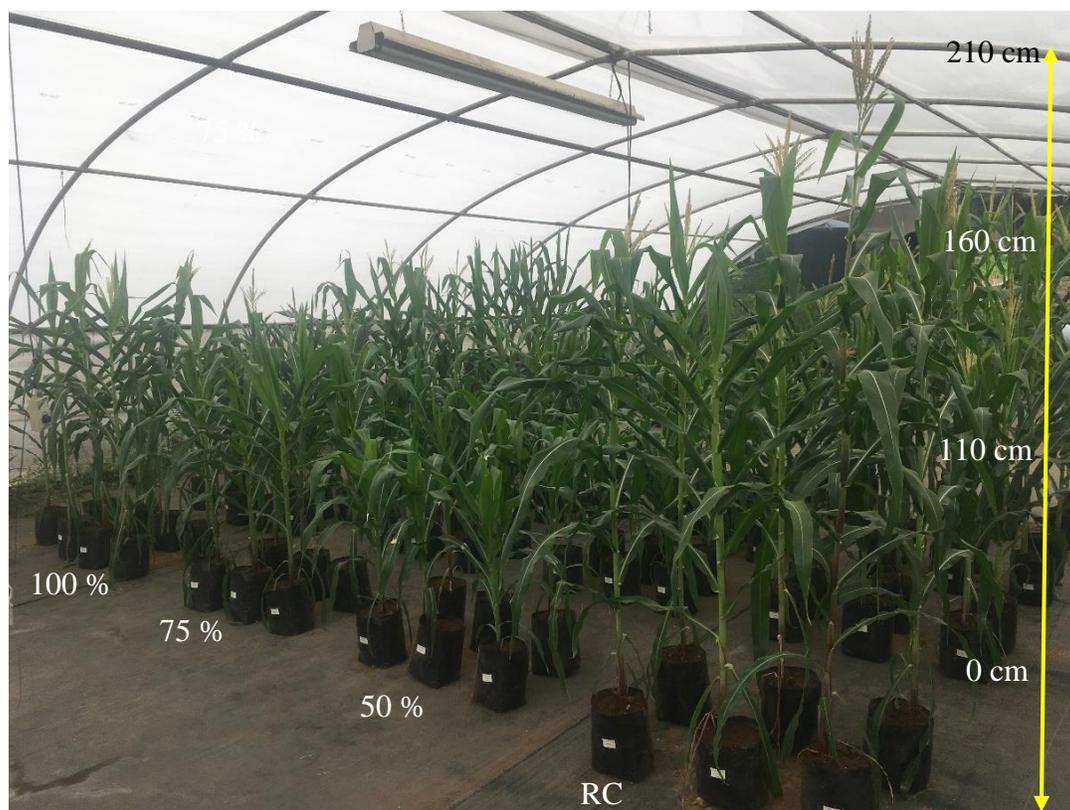


Figura 24. Fotografía general del experimento tomada a los 80 DDS donde se observa diferencia en la aparición de la floración según los tratamientos de riego

Cuadro 7. Resultados del ANOVA para etapas fenológicas

Variables	Fuente de variación				
	Cuadrado medio de la Variedad	Cuadrado medio del tratamiento de riego	Cuadrado medio de interacción Variedad*Riego	Cuadrado medio del Error	CV(%)
GDE	4520.79*	5409.65*	2330.03 ns	1196.31	21.86
GDFM	2944.64**	217839.14**	917.18*	429.66	1.99
GDJ	3122.83**	627563.17**	549.60 ns	696.00	2.48
GDM	4171.18**	209262.22**	254.73**	0.010	0.007

*, **, Diferencias significativas y diferencias altamente significativas respectivamente; ns, diferencias no significativas; GDE= grados días a emergencia; GDFM= grados días a floración masculina; GDJ= grados días a jiloteo; GDM= grados días a madurez fisiológica

La emergencia se presentó primero en el tratamiento de riego convencional, con un promedio de 146.52 GDD, por lo contrario, el tratamiento 75 % presentó una emergencia más tardía a los 179.81 GDD; la floración ocurrió primero en los tratamientos con un nivel de riego mayor, con menos acumulación de energía térmica, el riego convencional y el tratamiento 100 % fueron los primeros en llegar a la floración siendo iguales estadísticamente, estos tratamientos necesitaron en promedio 962.03 GDD y 967.77 GDD respectivamente, el tratamiento del 50 % de riego fue el más afectado sufriendo un retraso y alcanzando la floración hasta los 1184.49 GDD; en cuanto al jiloteo, los tratamientos de riego convencional y el riego al 100 % fueron los primeros en jilotear, con un promedio de 979.51 GDD y 998.30 GDD respectivamente y siendo el tratamiento 50 % el más atrasado, jiloteando hasta los 1184.49 GDD. La etapa fenológica de madurez ocurrió primero en los tratamientos riego convencional y el 100 % con un promedio de 1407.19 y 1407.23 GDD respectivamente y fueron estadísticamente similares, el tratamiento con mayor retraso fue el de riego 50 % con un promedio de 16010.96 GDD requeridos para alcanzar la madurez (Cuadro 8).

Cuadro 8. Comparación de medias por Tukey para variables fenológicas por tratamientos

NR	Variable respuesta			
	GDE	GDFM	GDJ	GDM
RC	146.52 b	962.03 a	979.51 a	1407.19 a
100%	156.46 ab	967.77 a	998.30 a	1407.23 a
75%	179.81 a	1050.68 b	1091.30 b	1455.07 b
50%	149.85 b	1165.96 c	1184.49 c	1610.96 c

*Medias con literales diferentes dentro de columnas son estadísticamente diferentes ($\alpha=0.05$). GDE= grados días a emergencia; GDFM= grados días a floración masculina; GDJ= grados días a jiloteo; GDM= grados días a madurez

De acuerdo con Abendroth *et al.* (2011), en condiciones óptimas, en el cultivo de maíz se puede observar una emergencia uniforme aproximadamente a los 100 GDD acumulados, nuestros resultados mostraron emergencia completa de plantas aproximadamente a los 206.44 GDD, posiblemente por la formación de costra en la capa superior del suelo en algunas macetas; que según (Nielsen, 2015) pueden causar la muerte de las plantas ya que las hojas se desarrollan bajo el suelo sin poder tener contacto con la luz del sol, evitando producción de fotosintatos.

En cuanto al tiempo a floración, jiloteo y madurez fisiológica, se observó un retraso de entre 10 y 20 días en promedio en los tratamientos con estrés hídrico comparado con los tratamientos de 100 % y RC que es similar a lo reportado por Arrazate *et al.* (2008), donde plantas con estrés sufrieron un retraso promedio de 20 días en comparación con las plantas sin estrés.

6.3.3. Análisis de rendimiento

El tamaño de la mazorca, así como su peso se vieron afectados fuertemente por el nivel de riego aplicado en cada tratamiento independientemente de la variedad (), los tratamientos de riego al 100 % y RC tuvieron mejor desarrollo presentando longitudes de mazorca promedio de 13.65 cm, diámetro promedio de 5.19 y peso promedio de 12.05 t ha

¹, mientras que los valores más bajos en cuanto longitud, diámetro y peso de mazorca se presentaron en el tratamiento 50 % con promedios de 10.04 cm, 4.36 cm y 6.13 t ha⁻¹.



Figura 25. Mazorcas de cada tratamiento; a) variedad Zarco ZR-76; b) variedad Armadillo; c) variedad Delfín; d) variedad Galileo 5000

De acuerdo con el análisis ANOVA, se presentaron diferencias altamente significativas en las tres variables analizadas tanto entre tratamientos como entre variedades, hubo mayor variación de datos en la variable peso de mazorca con un valor de coeficiente de variación de 18.86 %,

mientras que en el diámetro de mazorca hubo menos variación con un valor de coeficiente de variación de 6.07 % (Cuadro 9)

Cuadro 9. Cuadro ANOVA de variables de rendimiento

Variables	Fuente de variación				CV(%)
	Cuadrado medio de la Variedad	Cuadrado medio del tratamiento de riego	Cuadrado medio de interacción Variedad*Riego	Cuadrado medio del Error	
LM (cm)	8.88**	81.634**	6.97**	2.1	11.9
DM (cm)	4.52**	4.58**	0.25**	0.086	6.07
PM (cm)	23046.54**	69038.47**	2875.48**	876.77	18.86

**, Diferencias altamente significativas; ns, diferencias no significativas; LM= longitud de mazorca; DM= diámetro de mazorca y PM= peso de mazorca

De acuerdo con la comparación de medias de Tukey, en la longitud de mazorca se formaron tres grupos estadísticos, RC y el tratamiento 100 % presentaron mejores resultados con longitudes promedio de 14.14 cm y 13.17 cm respectivamente, el tratamiento con una longitud de mazorca más pequeña fue el del 50 % con una longitud promedio de 10.04 cm. En el diámetro de mazorca se formaron dos grupos estadísticos, el tratamiento de riego al 100 % obtuvo un mayor diámetro de mazorca con una media de 5.20 cm y fue igual estadísticamente con el riego convencional que tuvo un promedio de 5.18 cm, por otro lado, el tratamiento de riego al 50 % obtuvo el diámetro de mazorca más pequeño con un promedio de 4.36 cm. Por último, en cuanto al peso de mazorca, se formaron tres grupos estadísticos; el tratamiento RC obtuvo un mayor peso de la mazorca con una producción promedio por hectárea de 12.93 t ha¹, en segundo lugar, estuvo el tratamiento de riego al 100 % con una media de 11.17 t ha¹, mientras que el tratamiento más bajo en peso de mazorca fue el de riego al 50 % con una media de 6.13 t ha¹ (Cuadro 10).

Cuadro 10. Comparación de medias por Tukey para variables de rendimiento por tratamientos

Nivel de riego	Variable respuesta		
	LM (cm)	DM (cm)	PM (t ha ⁻¹)
RC	14.14 a*	5.18 a	12.93 a
100%	13.17 a	5.20 a	11.17 b
75%	11.27 b	4.57 b	7.28 c
50%	10.04 c	4.36 b	6.13 c

*Medias con literales diferentes dentro de columnas son estadísticamente diferentes ($\alpha=0.05$). RC= riego convencional; LM=longitud de mazorca; DM=diámetro de mazorca; PM=peso de mazorca

Los resultados obtenidos en este trabajo pueden respaldarse con los resultados obtenidos por Giménez (2012), que, al aplicar diferentes láminas de riego, observó una reducción en los rendimientos de maíz en aquellos tratamientos que fueron sometidos a láminas de riego menores y, por tanto, tuvieron periodos de estrés hídrico; de acuerdo con Cakir (2004), esto ocurre debido a que al someter a un constante estrés hídrico al cultivo disminuye el área foliar y en consecuencia se afecta el número de granos, esto debido a que al disminuir el área foliar se disminuye también la actividad fotosintética de la planta (Banziger *et al.*, 2012).

6.4. Comparación de variedades en estudio

6.4.1. Variables agronómicas

De acuerdo con el análisis de varianza (Cuadro 5), las variedades mostraron diferencias altamente significativas en todas las variables analizadas, a excepción de la concentración de nitrógeno en la primera etapa analizada (V7) y en el número de hojas desarrolladas por planta.

La variedad que desarrolló una mayor altura fue Armadillo con un promedio de 219.00 cm, mientras que la más baja fue Delfín con un promedio de 158.48 cm; por otra parte, la variedad con tallos más desarrollados fue Delfín con un promedio de tallo de 31.35 mm mientras que Zarco ZR-76 desarrollo tallos de menor tamaño que en promedio fueron de 22.30 mm (Cuadro 11).

La concentración de nitrógeno en las diferentes variedades fue igual en el primer análisis, realizado en la etapa vegetativa V7, mientras que en las etapas reproductivas R1 y R6 la

variedad Delfín superó al resto de las variedades en estudio con promedios de 2.72 % y 2.69 % respectivamente (Cuadro 11).

La altura de mazorca fue mayor en la variedad Armadillo, con una media de 86.17 cm y fue estadísticamente igual con las variedades Galileo 500 y Zarco ZR-76, la variedad Delfín tuvo la altura de mazorca más baja con una media de 36.77 cm, esto debido a que es una variedad de porte bajo. En cuanto al número de hojas, todas las variedades fueron igual estadísticamente con un promedio de 19 hojas por planta (Cuadro 11).

Cuadro 11. Comparación de medias por Tukey para variables agronómicas de las variedades en estudio

Variedad	Variable respuesta						
	AP (cm)	DT (mm)	NPE (%)	NSE (%)	NTE (%)	AM (cm)	NH
Zar	193.23 b	22.30 c	2.40 a	2.50 b	2.44 ab	80.80 a	19.16 a
Arma	219.00 a	24.30 b	2.42 a	2.33 b	2.37 b	86.17 a	19.37 a
Del	158.48 c	31.35 a	2.44 a	2.72 a	2.69 a	36.77 b	19.08 a
Gal	198.25 b	24.03 b	2.48 a	2.37 b	2.35 b	77.75 a	19.08 a

* Medias con literales diferentes dentro de columnas son estadísticamente diferentes ($\alpha=0.05$). Zar= variedad Zarco ZR-76; Arma= variedad Armadillo; Del= variedad Delfín; Gal= variedad Galileo 5000

Esta diferencia en las alturas de las variedades fue debido a las características naturales de cada variedad, de acuerdo a las fichas técnicas de las variedades utilizadas Armadillo es la más alta con alturas entre 260 cm a 270 cm, mientras que Delfín tiene una arquitectura optimizada de porte bajo con aturas de 175 cm a 180 cm (ASGROW, 2022). Por su parte, la ficha técnica de la variedad Delfín indica que la variedad cuenta con tallos robustos que la hacen resistente a acame del cultivo (ASGROW, 2022) lo que explica que haya superado al resto de variedades en el tamaño del diámetro de tallo.

Sebastián (2013), estudió cuatro variedades diferentes bajo diferentes niveles de riego y observó que no todas las variedades se desarrollaron de la misma manera, teniendo diferentes características agronómicas, esto sustenta los resultados obtenidos en el presente experimento y ratifica que, a pesar de ser el mismo cultivo, las variedades tienen diferentes características

agronómicas que se incrementan cuando se aplican diferentes tratamientos de riego y el cultivo sufre estrés hídrico.

6.4.2. Análisis de etapas fenológicas

De acuerdo con el análisis de varianza (ANOVA), entre las variedades, los valores de GDD a la emergencia del cultivo tuvo diferencias significativas, mientras que, los GDD a la floración masculina, jiloteo y madurez fisiológica las diferencias fueron altamente significativas (Cuadro 7)

La variedad que mostró una emergencia más rápida fue Armadillo, que en promedio emergió a los 159.79 GDD, mientras que la más tardada fue la variedad Delfín con un promedio de 173.15 GDD requeridos; con respecto a la floración y el jiloteo, la variedad más precoz fue Delfín con un promedio de 1022.98 GDD a floración y 1053.27 GDD a jiloteo, mientras que la variedad más tardía fue Armadillo con un promedio de 1049.72 GDD a floración y 1077.12 GDD a jiloteo; El tiempo a madurez fue más corto en la variedad Zarco ZR-76 que requirió un promedio de 1456.60 GDD, mientras que la variedad más tardía fue Armadillo, la cual requirió de una acumulación promedio de 1486.43 GDD (Cuadro 12).

Cuadro 12. Comparación de media por Tukey para variables fenológicas de las variedades en estudio

Variedad	Variable respuesta			
	GDE	GDFM	GDJ	GDM
Zar	159.79 ab	1034.59 ab	1065.01 ab	1456.60 a
Arma	139.86 b	1049.72 a	1077.12 a	1486.43 c
Del	173.15 a	1022.98 b	1053.27 b	1462.27 b
Gal	159.84 ab	1039.15 a	1053.23 b	1462.27 b

* Medias con literales diferentes dentro de columnas son estadísticamente diferentes ($\alpha=0.05$). Zar= variedad Zarco ZR-76; Arma= variedad Armadillo; Del= variedad Delfín; Gal= variedad Galileo 5000; GDE= grados días a emergencia; GDFM= grados días a floración masculina; GDJ= grados días a jiloteo; GDM= grados días a madurez

Arrazate *et al.* (2008) compararon cuatro variedades diferentes de maíz en condiciones de restricción de agua y obtuvieron que las variedades se comportaron de manera diferente en

respuesta al estrés hídrico, cumpliendo con su fenología a distintos tiempos, esto respalda los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación, indicando que el tiempo en que se completa el ciclo fenológico depende en gran medida de la variedad que se elija.

6.4.3. Análisis de rendimiento

Según el análisis ANOVA, entre las variedades en estudio, las tres variables de rendimiento tuvieron diferencias estadísticas altamente significativas (Cuadro 9).

En las tres variables evaluadas, con respecto al rendimiento, se formaron tres grupos estadísticos, presentando mejores resultados en la variedad Armadillo, mientras que los resultados más bajos se presentaron en la variedad Zarco ZR-76; la variedad Armadillo obtuvo promedios de 12.70 cm, 5.27 cm y 186.25 g en longitud de mazorca, diámetro de mazorca y peso de mazorca respectivamente, por otro lado, la variedad con valores más bajos fue Zarco ZR-76 con medias de longitud de mazorca, diámetro de mazorca y peso de mazorca de 11.42 cm, 4.26 cm y 6.76 t ha⁻¹ respectivamente (Cuadro 13).

Cuadro 13. Comparación de medias por Tukey para variables de rendimiento de las variedades en estudio

Variedad	Variable respuesta		
	LM (cm)	DM (cm)	PM (t ha ⁻¹)
Armadillo	12.70 a	5.27 a	11.17 a
Delfín	12.64 a	5.05 b	10.16 ab
Galileo 5000	11.91 ab	4.73 c	9.44 b
Zarco ZR-76	11.42 b	4.26 d	6.76 c

*Medias con literales diferentes dentro de columnas son estadísticamente diferentes ($\alpha=0.05$).

Sebastián (2013), quien también evaluó el rendimiento de diferentes variedades de maíz sometidas a diferentes niveles de riego, observando que las variedades tuvieron diferentes rendimientos, por lo que podemos decir que el rendimiento del cultivo depende de la variedad que se maneje, independientemente del manejo agronómico que se dé.

6.5. Análisis de la interacción variedad-riego

El análisis de la interacción variedad-riego en las variables agronómicas mostró que la altura de planta alcanzó valores más altos en las interacciones de riego convencional y riego al 100 % con las variedades Armadillo, Zarco ZR-76 y Galileo 500, siendo estadísticamente iguales, con medias de altura de 200 cm a 230 cm; por otro lado, las interacciones de riego al 75 % y 50 % con la variedad Delfín mostraron la altura de planta más baja con medias de 149.58 cm y 124.91 cm respectivamente (Anexo 2). En cuanto al diámetro de tallo, la variedad Delfín desarrollo tallos muy robustos en todas las interacciones, con valores de 30.48 mm, en el caso de la interacción Delfín con riego al 50 %, hasta valores de 32.70 mm en la interacción Delfín con un riego convencional; las interacciones de riego al 50 % con la variedad armadillo y Zarco ZR-76 desarrollaron tallos más raquíuticos con diámetros de 21.10 mm y 21.36 mm respectivamente (Anexo 2). La altura de la mazorca se comportó de manera similar a la altura de la planta, siendo más alta en las interacciones de riego convencional y riego al 100 % con las variedades Armadillo, Zarco ZR-76 y Galileo 5000, con valores promedio de 90 cm hasta 100.66 cm, mientras que las alturas más bajas se presentaron en el riego al 75 % y 50 % con la variedad Delfín con alturas de 30.66 cm y 25.08 cm respectivamente.

La concentración de nitrógeno no tubo diferencias significativas en ninguna de las interacciones en el análisis de la etapa vegetativa V7, por otro lado, en la etapa R1, las interacciones con una mayor concentración de nitrógeno fueron el riego al 100 % y el riego convencional con la variedad Delfín con valores de 2.99 % y 2.95 % respectivamente, mientras que la interacción de riego al 50 % con la variedad Zarco ZR-76 tuvo una concentración de nitrógeno más baja con un valor de 1.93 %; en la última etapa analizada (R6), la interacción en la que la concentración de nitrógeno fue mayor fue riego al 100 % con la variedad Delfín, mientras que la más baja fue riego al 50% con la variedad Galileo 5000 con valores de 3.05 % y 2.14 % respectivamente (Anexo 2).

Con respecto al número de hojas desarrolladas, las interacciones entre el riego convencional y el riego al 100 % con todas las variedades en estudio desarrollaron más hojas por planta con un promedio de 20 hojas, mientras que la interacción del riego 50 % con las variedades Zarco ZR-76 y Galileo 5000 desarrollaron menor número de hojas con un promedio de 17 hojas por planta (Anexo 2).

En cuanto al tiempo a la emergencia del cultivo no se presentaron diferencias significativas entre ninguna de las interacciones, estando todas dentro del mismo periodo de tiempo entre la siembra y la emergencia (Anexo 3); por otro lado, el tiempo transcurrido de la siembra a la floración masculina fue más corto en las interacciones de riego convencional y riego al 100 % con todas las variedades estudiadas, en las cuales se requirió de menos GDD para que se presentara la floración, las medias de estas interacciones estuvo entre 952.00 GDD y 990.93 GDD; en contraparte, la interacción del riego al 50 % con cada una de las variedades alargó el tiempo en el que se presentó la floración masculina, requiriendo de una acumulación mayor de GDD con promedios entre 1151.17 GDD y 1180.25 GDD (Anexo 3). El jiloteo se apareció primero en las interacciones entre riego convencional y riego al 100 % con medias de GDD acumulados de entre 971.94 GDD y 1015.32 GDD (Anexo 3). El tiempo a madurez fisiológica siguió el mismo patrón, presentándose primero en las interacciones de riego convencional y riego al 100 % con las variedades Zarco ZR-76, Galileo 500 y Delfín con acumulados promedios de 1402.04 GDD, mientras que la interacción de riego al 50 % con la variedad Armadillo fue la más tardía presentándose la madurez fisiológica hasta un promedio de 1632.45 GDD acumulados (Anexo 3).

En general los mejores resultados en cuanto a las variables de rendimiento se presentaron en las interacciones de riego convencional y riego al 100 % con cada una de las variedades en estudio, sin que estas presentaran diferencias significativas. La longitud de mazorca fue mayor en las interacciones de riego convencional con la variedad Armadillo y riego convencional con variedad Delfín con medias de 14.41 cm y 14.25 cm respectivamente, la longitud de mazorca más baja se presentó en la interacción de riego al 50 % con la variedad Zarco ZR-76 con un promedio de 8.00 cm (Anexo 4). En relación con el diámetro de mazorca las interacciones de riego al 100 % y riego convencional con la variedad Delfín presentaron los valores más altos, ambos con una media de 5.54 cm, seguidos, mientras que el valor de diámetro más bajo se registró para la interacción de riego al 50 % con la variedad Zarco ZR-76 con una media de 3.58 cm (Anexo 4). El peso de mazorca fue mayor en la interacción de riego convencional con la variedad Delfín con un peso medio por hectárea de 14.79 t ha⁻¹; el peso más bajo se obtuvo en la interacción de riego al 50 % con la variedad Zarco ZR-76 con una media por hectárea de 2.50 t ha⁻¹ (Anexo 4).

Por otro lado, se puede observar que, la variedad armadillo tiene una mejor tolerancia al estrés hídrico, al obtener rendimientos con diferencias no significativas entre los tratamientos de riego al 100 % y riego al 50 %, con rendimientos medios por hectárea de 11.15 t ha⁻¹ y 10.10 t ha⁻¹ respectivamente, por su parte, la variedad Zarco ZR-76 se vio más afectada por el estrés hídrico al disminuir su rendimiento drásticamente de 9.06 t ha⁻¹ en el tratamiento de riego al 100 % a 2.50 t ha⁻¹ en el tratamiento de riego al 50 % (Anexo 4).

Se observó que los mejores resultados en cuanto al desarrollo del cultivo, fenología y rendimiento, independientemente de la variedad, se obtuvieron en las interacciones que involucraron el riego convencional y el tratamiento de riego 100 %, mostrando plantas con mejor porte y ciclos fenológicos más cortos, con rendimientos promedios de entre 10 y 12 t ha⁻¹, en comparación con los tratamientos de riego al 75 % y 50 % en los que las plantas se mostraron raquílicas con ciclos fenológicos alargados y rendimientos de entre 2 y 7 t ha⁻¹. Por otro lado, se observó que la variedad Armadillo tiene una mejor resistencia al estrés hídrico, al no verse afectada significativamente al pasar de un riego al 100 % a un riego al 50 % con rendimientos promedios de 11.15 y 10.10 t ha⁻¹ respectivamente, mientras que la variedad Zarco ZR-76 mostró una resistencia menor a condiciones de sequía, pasando de un rendimiento de 9.06 t ha⁻¹ con un riego al 100 % a un rendimiento de 2.50 t ha⁻¹ al disminuir el riego al 50 %.

6.6. Volumen de riego y productividad del agua

El volumen de riego se comportó de manera similar en todos los tratamientos, tuvo un incremento acelerado hasta los 500 GDD aproximadamente a una razón que osciló entre 0.147 y 0.295 m³ GDD⁻¹, posterior a este rápido aumento, los requerimientos se mantuvieron relativamente estables, a una razón de entre 0.085 y 0.170 m³ GDD⁻¹ hasta los 850 GDD, a partir de donde se presenta un aumento a una razón de entre 0.075 y 0.150 m³ GDD⁻¹ hasta llegar a su máximo aproximadamente a los 1100 GDD, con un valor de 165 m³ ha⁻¹, lo que coincidió con las etapas fenológicas VT, R1 y R2; posteriormente a esto los requerimientos hídricos comienzan a disminuir paulatinamente hasta alcanzar valores que oscilan entre 70 y 141 m³ ha⁻¹ (Figura 26).

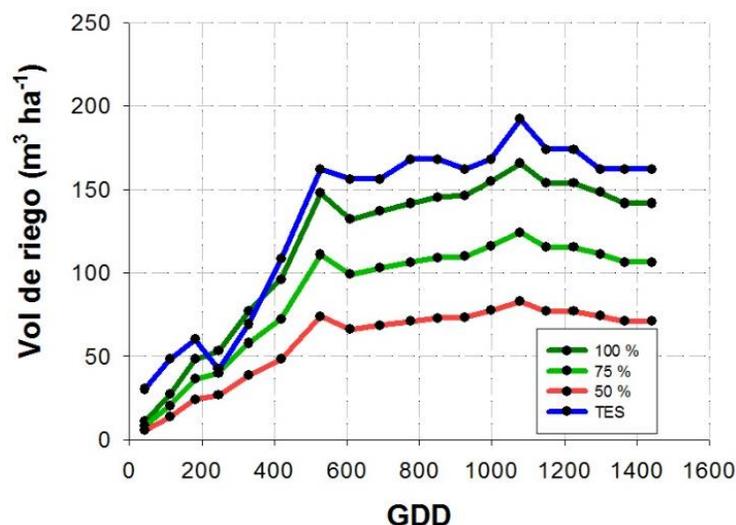


Figura 26. Volumen de riego por aplicación en cada tratamiento

A pesar de la diferencia significativa en los rendimientos entre los tratamientos 100 % y 50 %, el tratamiento de riego al 50 % tuvo una mejor productividad del agua de riego (5.52 Kg m^{-3}), mientras que la productividad en el 100 % menor (5.03 Kg m^{-3}) (Cuadro 14).

Cuadro 14. Rendimientos y productividad del agua por nivel de riego aplicado

Nivel de riego	Riego total ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$)	Ahorro de agua (%)	Rendimiento (t ha^{-1})	Productividad del agua (Kg m^{-3})
RC	2523	0	12.93	5.12
100 %	2220	12.01	11.17	5.03
75 %	1664.97	34.01	7.28	4.37
50 %	1110	56.00	6.13	5.52

Los resultados son consistentes con los obtenidos por Zwart y Bstiaanssen (2004) al experimentar con diferentes niveles de riego, mejores valores de productividad del agua en los tratamientos con un riego deficitario que los tratamientos con un riego completo, por su parte Zamora-Salgado (2011), quienes experimentaron con diferentes niveles de riego calculados en base a la evapotranspiración, observaron que no necesariamente por cubrir el 100 % de la evapotranspiración, esto se traducirá en una productividad del agua mayor lo que coincide con los resultados obtenidos en este estudio ya que al cubrir el 100 % de la evapotranspiración de

la planta, incluso proporcionando dosis mayores al 100 %, la productividad fue menor que en el tratamiento al 50 %. Según Doorembos y Kassam (1979) esto puede ser aprovechado durante las primeras etapas de crecimiento vegetativo para promover un crecimiento rápido y profundo del sistema radicular y cubrir completamente las necesidades hídricas del cultivo en las etapas críticas

La productividad del agua fue diferente en cada una de las variedades estudiadas, la variedad con una mejor productividad del agua al aplicar un riego al 100 % fue la variedad Delfín, que produjo 5.79 Kg m³, mientras que la variedad Zarco ZR-76 tuvo la productividad más baja produciendo 4.08 Kg m³, en cuanto a la aplicación de riego al 50 %, la variedad armadillo incrementó su productividad a 9.10 Kg m³, mientras que en la variedad Zarco ZR-76 alcanzó la productividad más baja, al producir 2.25 Kg m³, reafirmando así la baja tolerancia de la variedad al estrés hídrico, tal como se expresó en el análisis de la interacción variedad-riego (Cuadro 15).

Cuadro 15. Rendimientos y productividad del agua de cada variedad

Variedad	Nivel de riego	Riego total (m ³ ha ⁻¹)	Rendimiento (t ha ⁻¹)	Productividad del agua (Kg m ⁻³)
Zarco	100 %	2220	9.06	4.08
	50 %	1110	2.50	2.25
Armadillo	100 %	2220	11.15	5.02
	50 %	1110	10.10	9.10
Delfín	100 %	2220	12.86	5.79
	50 %	1110	5.48	4.93
Galileo	100 %	2220	11.61	5.22
	50 %	1110	5.84	5.26

Con la variedad Delfín se puede obtener una mejor productividad del agua con un riego al 100 % sin afectar significativamente el rendimiento en comparación con un riego convencional en el que el riego sea mayor, sin embargo, para situaciones en las que el riego

sea deficitario, la variedad Armadillo es ideal, al tener una productividad más alta con un riego al 50 %.

Entre variedades se presentaron diferencias en cuanto al rendimiento y la productividad del agua, resultados similares fueron observados por Sebastián (2013), quien estudio diferentes variedades de maíz con diferentes niveles de riego y observo variabilidad entre los rendimientos y la productividad del agua dentro de cada variedad analizada; lo que indica que cada variedad de maíz se comporta de manera diferente al ser sometida al estrés hídrico dependiendo de la tolerancia al estrés hídrico que la variedad tenga.

VII. CONCLUSIONES

- El cálculo de los requerimientos de riego mediante el método de grados días desarrollo (GDD) permitió hacer más eficiente el uso del agua de riego, otorgando un ahorro de $303 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ del tratamiento 100 % respecto a un riego convencional, lo que represento un ahorro de 12.01 % de agua utilizada, con una merma en el rendimiento del 13.61 % en y sin afectar significativamente las variables agronómicas y fenológicas
- La fenología del maíz se ve afectada al aplicar niveles de riego menores de 75 % y 50 % de la evapotranspiración, con pérdidas de hasta 50.3 % del rendimiento y con un aumento significativo de los requerimientos de energía térmica para completar el ciclo fenológico.
- Las características agronómicas del cultivo están estrechamente relacionadas con el nivel de riego que se aplique al cultivo ya que afectan el crecimiento con diferencias significativas en altura, número de hojas y diámetro de tallos en los tratamientos de 75 y 50%.
- La productividad del agua tiende a aumentar con niveles de riego bajos, pudiendo llegar a aumentar hasta un 55 % en tratamientos con riego al 50 %, sin embargo, una productividad alta no asegura un rendimiento alto del cultivo de maíz.

VIII. LITERATURA CITADA

- Abendroth L. J., R. W. Elmore M. J. Boyer and S. K. Marlay. 2011. Corn Growth and Development. Iowa State University. Ames, Iowa. 49 p
- Allen R. G., Pereira L. S., Raes D., y Smith M. 2006. Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Roma: FAO.
- Arrazate C. H. A., Galán J. D. M., López C. T., Castañeda C. L., y Iñiguez J. C. 2008. Respuesta a altos niveles de estrés hídrico en maíz. Revista Agronomy Mesoamerican, 27-37.
- ASGROW. (2022).Ficha técnica Disponible en: <https://www.asgrow.com.mx/es-mx/productos/maiz.html>. Consultado el: 03/05/2022.
- Banziger M., Edmeades G. O., Beck, D. L., y Bellon M. R. 2012. Mejoramiento para aumentar la tolerancia a sequía y a deficiencia de nitrógeno en el maíz: De la teoría a la práctica. CIMMYT.
- Borbón G. A., González G. D., Macías C. J., Pérez M. J., Cortez M. E., Ureta T. J., Astengo C. H. Y Valdez A. J. 2011. Recomendaciones para el cultivo de maíz durante el ciclo otoño-invierno en el estado de Sinaloa. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Folleto técnico No.56. Culiacán, Sinaloa, México.
- Brouwer R. y Wit C. 1968. A simulation model of plant growth with special attention to root growth and its consequences. Institute for Biological and Chemical Research on Field Crops And Herbage. Wageningen, Países Bajos.
- Cakir R. 2004. Effect of water stress at different development stages on vegetative and reproductive growth of corn. Field Crops Research 89: 1 - 16.
- CERES. 2022. Ficha técnica. Disponible en: <https://agroshow.info/productos/cultivos/semillas/cereales/galileo-5000/>. Consultado el: 03/05/2022.
- Dellaporta S. L., & Calderon-Urrea A. 1994. The sex determination process in maize. Science 266(5190): 1501-1505.

- Díaz del Pino A. 1964. El maíz: cultivo, fertilización, cosecha. 2 Ed. Editorial Trucco. México, DF.
- Doorenbos J. Kassam A. H. 1979. Yield response to water. Irrigation and Drainage. Paper N° 33. FAO, Rome. 193 p.
- Doorenbos J., y Kassam A. H. 1980. Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos. Roma: FAO.
- Duan B., Yang Y., Lu Y., Korpelainen H., Berninger F., Li C. 2007. Interactions between drought stress, ABA and genotypes in *Picea asperata*. J. Exp. Bot., 58: 3025-3036.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 1993. El maíz en la nutrición humana. Disponible en: <https://www.fao.org/3/t0395s/T0395S00.htm#Contents>. Consultado el: 17/05/2022.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2002. Los Fertilizantes y Su USO una Guía de Bolsillo para los Oficiales de Extension. Food & Agriculture Org.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2011. El Estado de los Recursos de Tierras y Aguas del Mundo para la Alimentación y la Agricultura. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Roma, Italia. pp: 23-49.
- Fassio A., Carriquiry A., Yojo C, Romero A. 1998. Maíz: aspectos sobre fenología. INIA. Montevideo, Uruguay.
- Fischer K.S. & Palmer F.E. 1984. Tropical maize. *In*: The physiology of tropical field crops. P.R. Goldsworthy & N.M. Fisher (Eds.). pp. 213-248.
- Giménez L. 2012. Producción de maíz con estrés hídrico provocado en diferentes etapas de desarrollo. Agrocienia (Uruguay) 16(2): 92-102.

- Nielsen D. C., & Hinkle S. E. 1996. Field evaluation of basal crop coefficients for corn based on growing degree days, growth stage, or time. *Transactions of the ASAE* 39(1) 97-103.
- Nielsen RL. 2015. Requisitos para la germinación y emergencia uniforme del maíz. Departamento de Agronomía, Universidad de Perdue, West Lafayette, Indiana, EE . UU.
- Ojeda-Bustamante W., E. Sifuentes D. C. Slack and M. Carrillo. 2004. Generalization of irrigation scheduling parameters using the growing degree concept: application to a potato crop. *Irrigation and Drainage* 53: 251-261.
- Ojeda-Bustamante W., Sifuentes-Ibarra E., & Unland-Weiss, H. 2006. Integral programming for corn irrigation in northern Sinaloa, Mexico. *Agrociencia* 40(1), 13-25.
- Ortega-Paczka R. 2003. La diversidad del maíz en México. *In: Sin Maíz No Hay País. G* Esteva, C Marielle (eds). *Culturas Populares de México*. D.F., México. pp:123-154.
- Ortiz R. 2020. Métodos de cálculo para estimar la evapotranspiración de referencia para el Valle de Tumbaco. *Siembra* 7(1): 1-10.
- Ospina J. 2015. Manual Técnico del Cultivo de Maíz Bajo Buenas Prácticas Agrícolas. Colombia, Medellín. 150. p.
- Paliwal R. L. 2001. El maíz en los trópicos: Mejoramiento y producción (No. 28). FAO. Roma, Italia
- Paredes López O., Guevara Lara F., y Bello Pérez L. A. 2009. La nixtamalización y el valor nutritivo del maíz. *Ciencias, Revistas UNAM*. 92(092): 60-70.
- Pedroza-González E, Hinojosa-Cuéllar G. 2014. Manejo y Distribución del Agua en Distritos de Riego: Breve Introducción Didáctica. 2ª ed. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Morelos, México.
- Peinado-Guevara Manuel V., Camacho-Castro, C., Bernal-Dominguez, D., Delgado-Rodriguez, O. & Jose Peinado-Guevara, H. 2012. Conservation program works as an alternative irrigation districts in sustainable water management of agricultural use. *Revista ra ximhai* 8(2): 367-379.

- Pereira L. S., De Juan J. A., Picornell M. R. & Tarjuelo J. M. 2010. El riego y sus tecnologías. Albacete, España: Centro Regional de Estudios del Agua-Universidad de Castilla-La Mancha.
- Priestley, C., & Taylor, R. 1972. On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters. *Atmospheric Physics* 100(2): 81-92.
- Rhezali, A.; Aissaoui, A.E. 2021. Feasibility Study of Using Absolute SPAD Values for Standardized Evaluation of Corn Nitrogen Status. *Nitrogen* 2: 298–307.
- Ritchie S. W., Hanway J. J., Benson G. O., Herman J. C., & Lupkes S. J. 1993. How a corn plant develops. Spec. Rep. 48. Iowa State Univ. Coop. Ext. Serv., Ames.
- Robles S. R., (1982). Producción de Granos y Forrajes. Editorial Limusa. México.
- Rorie R. L., Purcell L. C., Karcher D. E., & King C. A. 2011. The assessment of leaf nitrogen in corn from digital images. *Crop Science*, 51(5), 2174-2180.
- Salvador R. A. (1993). Factibilidad de la utilización de un paquete tecnológico para el cultivo de maíz TMF (temporal, mejorado, fertilizado) en el estado de Jalisco, México. Tesis de licenciatura. Guadalajara, Jalisco.
- Sammis T., Mapel C., Lugg D. G., Lansford R. R., & McGuckin, J. T. 1985. Evapotranspiration crop coefficients predicted using growing-degree-days. *Transactions of the ASAE* 28(3): 773-0780.
- Sebastián P. M. 2013. producción de tres híbridos de maíz bajo riego por goteo. Tesis de maestría. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México.
- Semillas Zarco. 2022. Ficha técnica. Disponible en: <https://semillazarco.com.mx/productos/zr-76/>. Consultado el: 03/05/2022.
- SIAP (Servicio de Información Agrícola y Pesquera). 2022. Anuario estadístico de la producción agrícola. Disponible en: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>. Consultado el 14/02/2022.

- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2021. Producción agrícola. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119>
- SNICS (Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas). 2014. Guía técnica para la descripción varietal de maíz (*Zea mays* L.). SAGARPA-SNICS. México.
- Simón M. R.; Schierenbeck M.; Dietz J. I.; Fleitas M.C. 2018. Maíz: Época y densidad de siembra. *In*: Cereales de verano Simón M. R. y Golik S. I. Universidad Nacional de la Plata Buenos Aires, Argentina. pp. 41-56.
- Tenesaca C. 2015. Fenología y profundidad radical del cultivo de girasol (*Helianthus annuus*) var. sunbright en el sector Querochaca, cantón Cevallos, provincia de Tungurahua. Tesis de licenciatura. Universidad Técnica de Ambato. Ambato, Ec.
- Vásquez G., J. y Ruiz G., O. M. 1993. Influencia de cultivos antecesores y métodos de control de malezas sobre la cenosis de las malezas, crecimiento, desarrollo y rendimiento de los cultivos de maíz (*Zea mays* L.), Sorgo (*Sorghum bicolor* L.), Moench) y Pepino (*Cucumis sativus* L.). Tesis. UNA Managua-Nicaragua.
- Venegas G. M. D. R. S. 2016. Producción y comercialización del maíz en México, cobertura de riesgo con derivados. Artículo UNAM. En línea: <http://ru.iiec.unam.mx/3444/1/084-Venegas.pdf>. Consultado 06/06/2022.
- Yanez C. Zambrano J. Caicedo M. Heredia, J. 2005. “Inventario Tecnológico del Programa del Maíz”. INIAP-EESC.
- Zamora-Salgado, S., Ruiz-Espinoza, F. H., Beltrán-Morales, F. A., Fenech-Larios, L., Murillo-Amador, B., Loya-Ramírez, J., y Troyo-Diéguéz, E. 2011. Régimen hídrico del maíz en una zona árida, determinado en porcentajes de evaporación. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 13(2): 181-186.
- Zwart S. J. Bstiaanssen W. G. M. 2004. Review of measured crop water productivity values for irrigated wheat, rice, cotton and maize. *Agricultural Water Management* 69(2): 115-133.

IX. ANEXOS

Anexo 1. Tiempo transcurrido a cada etapa fenológica por tratamiento y variedad

Var	E. Fen	Tratamientos								
		100%		75%		50%		TES		
		DDS	GDD	DDS	GDD	DDS	GDD	DDS	GDD	
Zarco	V1	10	126.55	10	126.55	10	126.55	10	126.55	
	V3	17	206.45	17	206.45	24	282.36	17	206.45	
	V6	38	457.28	38	457.28	52	624.64	38	457.28	
	V9	59	705.08	66	787.58	73	865.14	59	705.08	
	V12	73	865.14	80	937.66	87	1012.29	66	787.58	
	V15	80	937.66	87	1012.29	94	1090.74	73	865.14	
	VT	82-85	968.58	85-92	1037.56	101-107	1180.25	78-84	952.00	
	R1	83-90	1004.75	88-100	1096.83	102-109	1205.08	81-88	976.72	
	R2	94	1090.74	102	1172.53	116	1321.16	91	1058.08	
	R3	104	1193.30	114	1292.29	124	1402.05	101	1163.06	
	R4	1014	1301.44	121	1372.30	133	1487.06	112	1281.75	
	R5	121	1372.30	127	1433.12	139	1545.98	117	1330.89	
	R6	124	1402.05	131	1468.04	145	1602.91	124	1402.05	
	Armadillo	V1	10	126.55	10	126.55	10	126.55	10	126.55
		V3	17	206.45	24	282.36	24	282.36	17	206.45
V6		38	457.28	45	542.10	52	624.64	38	457.28	
V9		59	705.08	66	787.58	73	865.14	59	705.08	
V12		73	865.14	80	937.66	87	1012.29	73	865.14	
V15		80	937.66	87	1012.29	94	1090.74	80	937.66	
VT		83-85	981.01	90-94	1063.99	98-104	1162.98	83-88	990.93	
R1		83-88	1015.31	93-97	1103.27	100-106	1185.58	85-89	1004.34	
R2		95	1101.82	103	1182.22	110	1259.98	95	1101.82	
R3		105	1204.72	114	1292.29	124	1402.05	105	1204.72	
R4		116	1318.63	121	1372.30	133	1487.06	116	1318.63	
R5		121	1372.30	127	1433.12	141	1566.95	121	1372.30	
R6		126	1422.63	131	1468.04	148	1632.45	126	1422.63	

Continuación de anexo 1

Var	E. Fen	Tratamientos								
		100%		75%		50%		TES		
		DDS	GDD	DDS	GDD	DDS	GDD	DDS	GDD	
Delfín	V1	10	126.55	13	166.50	10	126.55	10	126.55	
	V3	17	206.45	24	282.36	24	282.36	17	206.45	
	V6	38	457.28	45	542.10	52	624.64	38	457.28	
	V9	66	787.58	73	865.14	73	865.14	66	787.58	
	V12	73	865.14	80	937.66	87	1012.29	73	865.14	
	V15	80	937.66	87	1012.29	94	1090.74	80	937.66	
	VT	80-84	953.64	85-92	1033.80	98-103	1151.17	81-82	953.34	
	R1	83-88	993.67	90-96	1074.62	100-104	1172.87	83-85	971.95	
	R2	91	1058.08	100	1152.78	110	1259.98	91	1058.08	
	R3	101	1163.06	110	1259.98	121	1372.30	101	1163.06	
	R4	112	1281.75	120	1361.81	130	1459.28	112	1281.75	
	R5	117	1330.89	124	1402.05	137	1525.63	117	1330.89	
	R6	124	1402.05	128	1442.10	145	1602.91	124	1402.05	
	Galileo	V1	10	126.55	10	126.55	10	126.55	10	126.55
		V3	17	206.45	24	282.36	24	282.36	17	206.45
V6		38	457.28	45	542.10	52	624.64	38	457.28	
V9		59	705.08	66	787.58	73	865.14	59	705.08	
V12		66	787.58	80	937.66	87	1012.29	66	787.58	
V15		80	937.66	87	1012.29	94	1090.74	80	937.66	
VT		82-87	967.88	89-95	1067.41	101-105	1169.45	79-85	951.87	
R1		83-86	979.50	90-97	1090.51	101-104	1177.88	81-84	965.05	
R2		91	1058.08	102	1172.53	110	1259.98	91	1058.08	
R3		101	1163.06	110	1259.98	121	1372.30	101	1163.06	
R4		112	1281.75	120	1361.81	130	1459.28	112	1281.75	
R5		117	1330.89	124	1402.05	137	1525.63	117	1330.89	
R6		124	1402.05	128	1442.10	145	1602.91	124	1402.05	

Var, variedad; E fen, etapa fenológica; DDS, días después de la siembra; GDD, grados días desarrollo

Anexo 2. Comparación de medias por Tukey para variables agronómicas para interacción variedad-riego

Interacción	Variable respuesta						
	AP (cm)	DT (mm)	AM (cm)	NPE (%)	NSE (%)	NTE (%)	NH
Arm*100	232.50 a	25.48 bc	93.33 ab	2.37 a	2.37 bcd	2.34 b	20 a
Zar*RC	232.20 a	23.26 bcd	98.10 a	2.34 a	2.89 ab	2.36 b	19.80 a
Arm*RC	229.33 a	26.75 b	100.66 a	2.42 a	2.64 abc	2.44 ab	19.66 a
Gal*100	220.83 a	25.16 bc	89.16 ab	2.31 a	2.57 abc	2.60 ab	20 a
Zar*100	216.66 a	22.90 cd	92.66 ab	2.35 a	2.61 abc	2.70 ab	19.66 a
Gal*RC	215.00 a	24.98 bc	90.00 ab	2.45 a	2.62 abc	2.46 ab	20 a
Arm*50	208.83 ab	21.10 d	71.41 cd	2.52 a	2.07 ccd	2.36 b	18.33 abc
Arm*75	205.33 abc	23.90 bcd	79.25 bc	2.36 a	2.26 cd	2.34 b	19.50 ab
Gal*75	187.58 bcd	23.21 bcd	70.33 cd	2.67 a	2.16 cd	2.21 b	18.50 abc
Del*100	180.91 cd	31.60 a	43.66 fg	2.50 a	2.99 a	3.05 a	19.33 ab
Del*RC	178.50 cde	32.70 a	47.66 ef	2.46 a	2.95 ab	2.61 ab	19.33 ab
Zar*75	175.58 def	22.68 cd	70.25 cd	2.41 a	2.56 abc	2.29 b	19.83 a
Gal*50	169.58 def	22.76 cd	61.50 de	2.47 a	2.12 cd	2.14 b	17.83 bc
Zar*50	152.33 ef	21.36 d	53.50 ef	2.49 a	1.93 d	2.41 ab	17.33 c
Del*75	149.58 fg	30.63 a	30.66 gh	2.44 a	2.57 abc	2.76 ab	19.33 ab
Del*50	124.91 g	30.48 a	25.08 h	2.33 a	2.38 bcd	2.34 b	18.33 abc

* Medias con literales diferentes dentro de columnas son estadísticamente diferentes ($\alpha=0.05$).

RC= riego convencional; NR= nivel de riego; AP= altura de planta; DT= diámetro de tallo; AM= altura de mazorca; NPE= concentración de nitrógeno primera etapa; NSE= concentración de nitrógeno segunda etapa; NTE= concentración de nitrógeno tercera etapa; NH= número de hojas; Zar= Zarco ZR-76; Arm=Armadillo; Del=Delfín; Gal=Galileo 5000

Anexo 3. Comparación de medias por Tukey para variables fenológicas para interacción variedad-riego

Interacción	Variable respuesta			
	GDE	GDFM	GDJ	GDM
Arm*100	126.55 a	981.01 c	1015.32 c	1422.63 e
Zar*RC	126.55 a	952.00 c	976.72 c	1402.04 f
Arm*RC	139.87 a	990.93 c	1004.34 c	1422.63 e
Gal*100	179.81 a	967.88 c	979.50 c	1402.04 f
Zar*100	179.65 a	968.58 c	1004.75 c	1402.21 f
Gal*RC	139.87 a	951.87 c	965.05 c	1402.04 f
Arm*50	126.55 a	1162.98 a	1185.58 a	1632.45 a
Arm*75	166.5 a	1063.99 b	1103.27 b	1468.03 c
Gal*75	179.81 a	1067.41 b	1090.51 b	1442.10 d
Del*100	139.87 a	953.64 c	993.68 c	1402.04 f
Del*RC	179.81 a	953.34 c	971.94 c	1402.04 f
Zar*75	179.81 a	1037.56 b	1096.83 b	1468.03 c
Gal*50	139.87 a	1169.45 a	1177.88 a	1602.90 b
Zar*50	153.18 a	1180.25 a	1205.09 a	1602.90 b
Del*75	193.13 a	1033.80 b	1074.63 b	1442.10 d
Del*50	179.81 a	1151.17 a	1172.87 a	1602.90 b

*Medias con literales diferentes dentro de columnas son estadísticamente diferentes ($\alpha=0.05$).

GDE= grados días a emergencia; GDFM= grados días a floración masculina; GDJ= grados días a jiloteo; GDM= grados días a madurez fisiológica; Zar= variedad Zarco ZR-76; Arma= variedad Armadillo; Del= variedad Delfín; Gal= variedad Galileo 5000

Anexo 4. Comparación de medias por Tukey para variables de rendimiento para interacción variedad-riego

Interacción	Variable respuesta		
	LM (cm)	DM (cm)	PM (t ha ⁻¹)
Arm*100	12.58 abcd	5.45 a	11.15 abcde
Zar*RC	14.16 ab	4.68 cd	10.38 bcdef
Arm*RC	14.41 a	5.40 ab	13.61 ab
Gal*100	12.91 abc	5.12 abc	11.61 abcd
Zar*100	14.05 ab	4.71 cd	9.06 defg
Gal*RC	13.75 abc	5.11 abc	12.94.83 abc
Arm*50	11.25 bcde	5.17 abc	10.10 bcdef
Arm*75	12.58 abcd	5.07 abc	9.82 cdef
Gal*75	11.25 bcde	4.43 de	7.37 fgh
Del*100	13.16 abc	5.54 a	12.86 abc
Del*RC	14.25 a	5.54 a	14.79 a
Zar*75	8.91 ef	3.96 ef	4.40hi
Gal*50	9.75 def	4.25 de	5.84 ghi
Zar*50	8.00 f	3.58 f	2.50 i
Del*75	12.33 abcd	4.82 bcd	7.53 efgh
Del*50	10.83 cdef	4.29 de	5.48 ghi

* Medias con literales diferentes dentro de columnas son estadísticamente diferentes ($\alpha=0.05$). RC= riego convencional; LM=longitud de mazorca; DM=diámetro de mazorca; PM=peso de mazorca; Zar= variedad Zarco ZR-76; Arma= variedad Armadillo; Del= variedad Delfín; Gal= variedad Galileo 5000