

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN RIEGO Y DRENAJE**



**“RIEGO DEFICITARIO SOSTENIDO EN EL DESARROLLO DEL
GIRASOL (*Helianthus annuus*) Y EFICIENCIA DE USO DEL AGUA
EN LA MOLINA”**

Presentada por:

ALEX ENRIQUE SALAZAR SALTOS

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAESTRO
MAGISTER SCIENTIAE EN RIEGO Y DRENAJE**

Lima – Perú

2022

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN RIEGO Y DRENAJE**

**“RIEGO DEFICITARIO SOSTENIDO EN EL DESARROLLO DEL
GIRASOL (*Helianthus annuus*) Y EFICIENCIA DE USO DEL AGUA
EN LA MOLINA”**

Presentada por:

ALEX ENRIQUE SALAZAR SALTOS

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAESTRO
MAGISTER SCIENTIAE**

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

Ph.D. Absalón Vázquez Villanueva
PRESIDENTE

Mg.Sc. Miguel Sánchez Delgado
ASESOR

Mg.Sc. Luis Razuri Ramírez
MIEMBRO

Mg.Sc. Edgardo Alaluna Gutiérrez
MIEMBRO

ÍNDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. ANTECEDENTES	3
2.2. IMPORTANCIA DEL GIRASOL	4
2.3. SOLUCIÓN NUTRITIVA	5
2.4. CARACTERÍSTICAS FENOLÓGICAS	5
2.4.1. Fases del desarrollo fenológico	6
2.5. CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS	7
2.5.1. Densidad de siembra	7
2.5.2. Control de densidad	8
2.5.3. Temperatura	8
2.5.4. Fotoperiodo de luz	9
2.6. CARACTERÍSTICAS BOTÁNICAS	10
2.6.1. Clasificación sistemática del cultivo	10
2.6.2. Características morfológicas	10
2.7. AGUA	11
2.7.1. Estrés hídrico	11
2.7.2. Requerimiento hídrico del girasol	12
2.7.3. Objetivos para conseguir un buen girasol	13
2.7.4. Ejemplo de riego de abastecimiento en otros países	14
2.7.5. Programación de riego	14
2.7.6. Riego deficitario	14
2.7.7. Tipos o estrategias de riego deficitario	14
2.7.8. Periodos críticos del cultivo	16

2.7.9. Clima.....	16
2.7.10. Resistencia a la sequía	16
2.8. CONDUCTANCIA ESTOMÁTICA.....	18
2.8.1. Cámara de estado estacionario.....	18
III. MATERIALES Y MÉTODOS	20
3.1. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	20
3.1.1. Ubicación	20
3.1.2. Clima.....	20
3.2. DURACIÓN DEL ESTUDIO	22
3.3. MATERIALES Y EQUIPOS.....	22
3.3.1. Material Vegetal.....	22
3.3.2. Sistemas e insumos para riego	22
3.3.3. Equipos	22
3.3.4. Fertilizantes e insumos fitosanitarios	22
3.3.5. Otros.....	23
3.4. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	23
3.4.1. Caracterización del suelo	23
3.4.2. Caracterización del agua de riego	25
3.4.3. Preparación del terreno	25
3.4.4. Uso del tanque evaporímetro y registros agrometeorológico	25
3.4.5. Instalación y manejo del sistema de riego	26
3.4.6. Diseño y disposición experimental	27
3.4.7. Manejo del riego	30
3.4.8. Manejo del fertirriego	31
3.4.9. Controles fitosanitarios	33
3.4.10. Métodos de evaluación y datos tomados.....	34
3.4.11. Labores culturales	39

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES	40
4.1. COEFICIENTE DEL TANQUE CLASE A	40
4.2. COEFICIENTE DE CULTIVO	41
4.3. DOSIFICACIÓN HÍDRICA PARA LA CAMPAÑA	42
4.4. MANEJO DE HUMEDAD	45
4.5. EFECTO DEL RIEGO DEFICITARIO SOSTENIDO EN EL DESARROLLO DEL CULTIVO DEL GIRASOL EN LOS COMPONENTES DE ALTURA DEL CULTIVO, DIÁMETRO DE CAPITULO Y DEL TALLO EN CADA UNA DE LAS ETAPAS FENOLÓGICA	46
4.5.1. Altura del girasol	47
4.5.2. Diámetro tallo	48
4.5.3. Diámetro capitulo floral	49
4.6. GANANCIA DE BIOMASASECPOR EFECTO DEL RIEGO DEFICITARIO SOSTENIDO	51
4.7. EFICIENCIA DEL USO DEL AGUA EN EL CULTIVO DE GIRASOL	53
4.8. CONDUCTANCIA ESTOMÁTICA EN CADA FASE FENOLÓGICA DEL CULTIVO DE GIRASOL, CON EL EFECTO DEL RIEGO DEFICITARIO SOSTENIDO	54
V. CONCLUSIONES	56
VI. RECOMENDACIONES	58
VII. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICAS	59
VIII. ANEXOS	67

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Consumo de agua por el girasol en las distintas fases del cultivo.....	13
Cuadro 2: Resultados del análisis de suelo	24
Cuadro 3: Resultados de análisis de agua	25
Cuadro 4: Distribución de las 4 láminas de riego en la parcela experimental	28
Cuadro 5: Suplementos nutricionales	32
Cuadro 6: Agroquímicos utilizados	33
Cuadro 7: Grados de calidad para el girasol ornamental	39
Cuadro 8: Coeficiente del tanque evaporímetro (Kp), A en diversas condiciones	40
Cuadro 9: Valores hallados del Kp	41
Cuadro 10: Calendario de riego para las cuatro láminas de tratamientos	45
Cuadro 11: Altura del tallo del girasol (cm) en función de los tratamientos con riego	47
Cuadro 12: Diámetro del tallo del girasol (cm) en función de los tratamientos con riego... ..	49
Cuadro 13: Diámetro del capítulo floral del girasol (cm) en función de los tratamientos con riego	48
Cuadro 14: Biomasa seca del cultivo de girasol (g/l)	51
Cuadro 15: Eficiencia del uso de agua en el girasol (g/l)	55
Cuadro 16: Conductancia estomática (mmol m ² s ⁻¹) en la hoja del girasol (<i>Helianthus annuus</i>) medida al medio día (horas de mayor intensidad solar), en función de los tratamientos con riego sostenido	53

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación geográfica de la parcela de investigación – UNALM.....	20
Figura 2: Comportamiento climatológico: Humedad (%)	21
Figura 3: Comportamiento Climatológico: Velocidad del viento (m/s)	21
Figura 4: Comportamiento climatológico: Temperatura media (°C).....	21
Figura 5: Disposición de las cintas de goteo en una unidad experimental.....	26
Figura 6: Disposición de una unidad experimental.....	27
Figura 7: Distribución de los tratamientos en los módulos de la parcela.....	29
Figura 8: Insectos encontrados en la investigación.....	33
Figura 9: Cálculo de altura del cultivo de girasol	34
Figura 10: Toma de muestra de diámetro del tallo del cultivo de girasol.....	35
Figura 11: Toma de muestra de diámetro de capítulo del cultivo de girasol.....	35
Figura 12: Toma de muestra de humedad del suelo del cultivo de girasol.....	39
Figura 13: Coeficiente del cultivo de girasol	42
Figura 14: Evaporación potencial (ET _o) y Evapotranspiración (ET _c) del cultivo de girasol	43
Figura 15: Volumen de riego en L/Planta, aplicados en el cultivo de girasol ornamental...	46
Figura 16: Datos obtenidos a través del sensor TDR-15.	45
Figura 17: Promedio de la altura del cultivo de girasol en centímetros de los 4 tratamientos	48
Figura 18: Promedio del diámetro del tallo del cultivo de girasol en centímetros en los tratamientos	49
Figura 19: Promedios del diámetro de capítulo floral del cultivo de girasol en centímetros en los 4 tratamientos.....	50
Figura 20: Peso húmedo	52
Figura 21: Materia seca de los componentes del girasol.....	51
Figura 22: Promedio de Biomasa seca.....	53
Figura 23: Promedio de la eficiencia del uso de agua en el girasol (g/L).....	54
Figura 24: Distribución de la conductancia estomática	55

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Parámetros meteorológicos considerados: temperatura máxima y mínima, velocidad y dirección del viento y humedad relativa (HR).	67
Anexo2: Análisis estadístico.....	69
Anexo 3: Resultados del laboratorio.....	71
Anexo 4: Panel fotográfico.....	72

ÍNDICE DE ACRONIMOS

%	Porcentaje
%CC	Capacidad de campo volumétrico
%PMP	Punto de marchitez permanente volumétrico
°C	Grados centígrados
bar	Bares
CE	Conductividad eléctrica
CH	Contenido de humedad
cm	Centímetros
cm ²	Centímetros cuadrados
DDS	Días después de la siembra
DRH	Departamento de Recursos Hídricos
dS/m	Decisimens por metro
DT	Diámetro de tallo
DVP	Déficit de presión de vapor
ET	Evapotranspiración
ETc	Evapotranspiración de cultivo
ETo	Evapotranspiración de referencia
FIA	Facultad de Ingeniería Agrícola
g	Gramos
Kc	Coefficiente de cultivo
km/h	Kilometro hora
kp	Coefficiente del tanque clase A
l/m ²	Litros por metro cuadrado

LASMAF	Laboratorio de agua, suelo, medio ambiente y fertirriego
m	Metro
m.s.n.m.	Metros sobre el nivel del mar
m ²	Metro cuadrado
m ³	Metros cúbicos
m ³ ha ⁻¹	Metros cúbicos por hectárea
mm	Milímetros
mmols m ² s ⁻¹	Milimols metro cuadrado por segundo
NR	Necesidades de riego
ppm	Partes por millón
PRD	Riego parcial y alternante
RDC	Riego deficitario controlado
RDS	Riego deficitario sostenido
RH	Humedad Relativa
UNALM	Universidad Nacional Agraria La Molina

RESUMEN

En la presente investigación se evaluó el riego deficitario sostenido en el desarrollo del girasol (*Helianthus annuus*) y determinación de la eficiencia de uso del agua en La Molina. Se realizó en base a cuatro componentes de altura, longitud diámetro de capitulo y del tallo en cada una de las etapas fenológicas, además se evaluó la ganancia de biomasa seca por efecto del riego deficitario sostenido, y de esta manera determinar la eficiencia del uso del agua en el cultivo del girasol, así mismo determinar la conductancia estomática en cada fase fenológica. El estudio se fundamentó en un diseño bloque completo al azar, azar donde los bloques fueron los 7 periodos fenológicos generados en el tiempo por el desarrollo del cultivo de girasol, siendo cada bloque un periodo fenológico, con fines de muestreo se instalaron cinco módulos en el terreno, dentro de cada módulo se distribuyeron 4 tratamientos (100% ETo-T1 T, 80% ETo – T2, 70% ETo – T3 y 60% ETo – T4) al azar para cada unidad experimental formada por 90 plantas de girasol. Es así que dio como resultado, con el tratamiento de la lámina de riego de 80% altura promedio 100.15 cm, diámetro de tallo promedio 1.28 cm y diámetro de capitulo promedio 8.84cm, resultados similares al tratamiento de 100% en cuanto al tratamiento del 60% se obtuvo valores menores en altura de 100% y 80%. Así mismo la ganancia de biomasa seca por defecto del riego deficitario sostenido se identificó los tratamientos con las láminas de riego de 80% y 100% más eficientes con 372.83 y 366.91 g/l respectivamente ($P<0.05$), seguido de las láminas de 70% y 60% con 293.34 y 296.54 g/l respectivamente ($P<0.05$), relacionado a mayor peso de biomasa seca mayor vida post cosecha.

Palabra clave: riego deficitario, ganancia de biomasa seca, girasol, fase fenológica.

ABSTRACT

In the present investigation, the sustained deficit irrigation in the development of the sunflower (*Helianthus annuus*) and the determination of the water use efficiency in La Molina were evaluated. It was carried out based on four components of height, length, diameter of the capitulum and of the stem in each one of the phenological stages, in addition, the gain of dry biomass due to the effect of sustained deficit irrigation was evaluated, and in this way to determine the efficiency of the use of the water in sunflower cultivation, likewise determine the stomatal conductance in each phenological phase. The study was based on a randomized complete block design, where the blocks were the 7 phenological periods generated in time by the development of the sunflower crop, each block being a phenological period, for sampling purposes 5 modules were installed in the field, within each module 4 treatments (100% ETo-T1 T, 80% ETo - T2, 70% ETo - T3 and 60% ETo - T4) were randomly distributed for each experimental unit consisting of 90 sunflower plants. This is how it resulted, with the treatment of the irrigation sheet of 80% average height 100.15 cm, average stem diameter 1.28 cm and average chapter diameter 8.84 cm, similar results to the 100% treatment regarding the treatment of 60 %, lower values were obtained in height of 100% and 80%. Likewise, the dry biomass gain by default of the sustained deficit irrigation was identified with the treatments with the irrigation sheets of 80% and 100% more efficient with 372.83 and 366.91 g / l respectively ($P < 0.05$), followed by the sheets of 70 % and 60% with 293.34 and 296.54 3 g / l respectively ($P < 0.05$), related to a higher weight of dry biomass, a longer post-harvest life.

Keywords: deficit irrigation, dry biomass gain, sunflower, phenological phase.

I. INTRODUCCIÓN

La población mundial crece a ritmo acelerado, lo que obliga al sector agrícola a estar en búsqueda constante de alternativas que aseguren el desarrollo de estrategias para la producción agraria, estas son determinantes para garantizar la calidad de vida de la población a futuro, tenemos que producir mucho más en el mismo espacio de suelo utilizando los recursos disponibles para una mejor eficiencia y sostenibilidad la cual sea amigable con el medio ambiente.

El girasol (*Helianthus annuus L.*) es un cultivo originario de América del Norte, donde actualmente se encuentra la forma silvestre de la especie; se utiliza especialmente para la producción de aceite y derivados, pero en los últimos años ha tendido un incremento como cultivo ornamental (MAG 2010). El cultivo de girasol ornamental ha ido incrementándose poco a poco debido al atractivo de sus pétalos, tamaño del capítulo y su conservación post cosecha, es por eso, que se debe incrementar no solo su producción, si no también optimizar sus labores culturales, a fin de obtener más capítulos de calidad, siendo eficientes con el manejo de los recursos. La producción de girasol ornamental no está difundida, salvo algunas localidades del país (Vranceanu 1977).

En la actualidad el cien por ciento de la agricultura está en la costa y el cuarenta por ciento de la agricultura de la sierra peruana es con riego; sin embargo, es muy reducido el porcentaje que adopta técnicas modernas de sistemas de irrigación, en un contexto de escasez de agua que se agrava por el proceso de calentamiento global que ha generado cambios climáticos que vienen afectando las fuentes principales de agua de riego (glaciares y lluvias en la sierra). Una de las principales limitaciones para la adopción de riego tecnificado es su alto costo relativo a los costos de producción agropecuarios promedio nacional (Zegarra y Orihuela 2005).

Los limitados servicios básicos y productivos sumados al desarrollo institucional del sector agrario provocan la migración del campo a la ciudad, por lo tanto, la agricultura del ciclo

veintiuno se enfoca en la búsqueda de nuevas alternativas en las prácticas de manejo que puedan llegar a ser usadas por los productores para hacer de sus sistemas productivos cada vez más sostenibles y no migren.

Para la prevención de situaciones de estrés hídrico y baja productividad se tiene la necesidad de incrementar la eficiencia y racionalización del recurso, mejorando así la productividad del agua, la cual se mide mediante la cantidad de producción que se obtiene por unidad de agua aplicada (Gliessman Stephen 2007).

Desde la antigüedad este cultivo ha sido usado como una planta de jardín y maceta. La demanda del girasol ornamental a nivel mundial ha ido en aumento. En la actualidad hay una buena oferta de nuevos cultivares para uso ornamental en países latinoamericanos, por la diversidad de variedades, formas y colores.

Para Collaguazo y Toapanta (2012), las flores ornamentales han incrementado su oferta en los mercados internacionales, especialmente el girasol variedad Sunbright Golden yellow, esto debido a sus características, tales como: no posee polen, además, tiene una vida útil en el florero de 7 a 10 días por ello es muy utilizado en la venta de arreglos florales, por estas razones fue elegido para la presente investigación, para poder mejorar y elevar el rendimiento del cultivo, a través de un manejo con riego deficitario sostenido con un sistema de riego por goteo de alta frecuencia, que permitió reponer diariamente el agua consumida en cada fase fenológica del cultivo de girasol ornamental.

Objetivo general

El objetivo general de la presente investigación fue evaluar el riego deficitario sostenido en el desarrollo del girasol (*Helianthus annuus*) y determinación de la eficiencia de uso del agua en La Molina.

Objetivos específicos

- Evaluar el efecto del riego deficitario sostenido en el desarrollo del cultivo del girasol en los componentes de altura, longitud, diámetro de capitulo y del tallo en cada una de las etapas fenológicas.
- Evaluar la ganancia de biomasa seca por efecto del riego deficitario sostenido.
- Determinar la eficiencia del uso del agua en el cultivo de girasol.
- Determinar la conductancia estomática en cada fase fenológica del cultivo de girasol, y su efecto con el riego deficitario sostenido.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES

El agua es el principal componente de las plantas, es un elemento imprescindible para su crecimiento y desarrollo y es el factor más limitante para el cultivo. Del agua absorbida por las plantas una pequeña parte es retenida y utilizada en los procesos de crecimiento y en la realización de la fotosíntesis, el resto se pierde por transpiración. La cantidad de agua retenida por las plantas es casi insignificante frente a la transpirada, por lo que se puede considerar que el consumo de agua es equivalente a la transpiración. Además, desde el suelo se produce una evaporación a la atmósfera de agua de las capas más superficiales. Por tanto, se considera que las necesidades de agua de las plantas están representadas por la suma de la evaporación directa desde el suelo y de la transpiración de las plantas, en lo que se denomina evapotranspiración (ET). El valor de ET depende del clima y del tipo de planta, así la evapotranspiración es el producto de un valor que representa el clima, evapotranspiración de referencia (ET₀), por un valor que representa a la planta, el coeficiente de cultivo (K_c). En general, la evapotranspiración se expresa en ml de agua evapotranspirada cada día (Álvarez 2010).

Méndez *et al.* (2007) mencionan que el objetivo del trabajo fue evaluar el efecto de tres frecuencias de riego sobre el ciclo de cultivo de girasol, contenidos de aceite y proteínas de las semillas y rendimiento de aquenios por planta en cuatro cultivares de girasol. El diseño estadístico utilizado fueron parcelas divididas con tres repeticiones, las parcelas principales fueron las frecuencias de riego y las subparcelas los cultivares de girasol. No se encontraron diferencias significativas para ninguna de las fuentes de variación para el contenido de aceite (29,21%). El cultivar más precoz en floración fue M-733, mientras que el más tardío fue S-515. El cultivar H18-A presentó el menor contenido de proteínas en comparación con los otros tres cultivares, los cuales no difirieron entre sí. H-18-A presentó rendimientos de aquenios/ plantas similares a los de M-733 y GV-28074, pero superiores al de S-515. El mayor contenido de proteínas se registró en plantas cultivadas en las frecuencias de riego de 9 y 12 días, superando al de las plantas regadas cada 6 días. En los intervalos de riego de 6

y 12 días, el cultivar más precoz a maduración fue GV-28074, mientras que, en la frecuencia de riego de 9 días, el cultivar más precoz fue M-733. La comparación dentro de los cultivares indicó que H-18-A tuvo un ciclo de cultivo similar bajo las tres frecuencias de riego, mientras que S-515 y GV-28074 fueron más precoces a maduración en la frecuencia de 6 días en comparación con la frecuencia de 9 y 12 días; el cultivar M-733 fue más precoz en las frecuencias de 9 y 12 días en comparación con la frecuencia de 6 días. Se puede concluir que las diferentes frecuencias de riego afectaron el comportamiento de los cuatro híbridos en relación al ciclo total del cultivo. El incremento en las frecuencias de riego ocasionó un incremento del contenido de proteínas del aquenio sin importar el cultivar utilizado.

Para Arévalo *et al.* (2013) basado en la aplicación del 100, 80 y 70% de la evapotranspiración del cultivo (ETc100, ETc80 y ETc70). Los resultados muestran una alta correlación entre el potencial hídrico al tallo con el déficit de presión de vapor y la radiación solar. No se encontraron diferencias significativas respecto a la producción de tallos. La curva de crecimiento del tallo y el botón fue homogénea durante todo el ensayo y la vida en florero presentó un comportamiento similar para las tres láminas de riego aplicadas. Los tratamientos con mayor eficiencia en el uso del agua fueron ETc70 y ETc80, lo que representó un ahorro de agua, de 21.8 y 14.6%, respectivamente con respecto al tratamiento ETc100.

2.2. IMPORTANCIA DEL GIRASOL

El cultivo de girasol es un excelente cultivo para la exportación, ya que es un rubro importante en la economía, tanto para Sudamérica como para Europa Mag (2010).

Vranceanu (1977) menciona que el tamaño y la hermosura notable del capítulo determinaron que esta planta fuese muy apreciada. Durante 250 años, después de haberse traído y difundido en Europa, el girasol se cultivó solamente como planta ornamental.

El girasol se cultiva como planta ornamental en masetas y en jardines, aunque mayormente se utilizan cultivares enanos, para ello se prima sobre todo la vistosidad de los capítulos con diferentes colores y tamaños, en los últimos años se está viendo un aumento de su uso como flor cortada, sobre todo en grandes composiciones para decoración de escenarios, escaparates, mesas y otros. El cultivo de esta especie como flor cortada se puede realizar tanto en invernadero como al aire libre, si bien esta última modalidad es limitada en muchas zonas, la época en la que se puede realizar el cultivo, es en la primavera y el verano Agir (2014).

2.3. SOLUCIÓN NUTRITIVA

Eguren y Pintado (2015) señalan que la utilización del fertilizante deberá ser de acuerdo a su estado fenológico y fisiológico del vegetal, el costo del fertilizante deberá ser más alto si la concentración del elemento y su alta solubilidad.

Altiplano (2015) menciona que el calcio deberá suministrarse por medio del nitrato de calcio o el nitrato doble de calcio y magnesio. El nitrato de calcio también aportará nitrógeno nítrico. Cualquier otro nitrógeno deberá ser aportado como nitrato de potasio, el cual proveerá de algún potasio. Todo el fósforo deberá obtenerse a partir del ácido fosfórico o del fosfato mono potásico o del fosfato mono amónico, el cual también aportará algún potasio y algo de nitrógeno amoniacal. Las necesidades de potasio que aún existan podrán obtenerse a partir del sulfato de potasio, el cual también aportará algo de azufre. El azufre que necesitamos añadir podrá obtenerse de otros sulfatos, tales como sulfato de magnesio, el cual es también usado para aportar parte de magnesio. El magnesio a veces va incluido la mitad como sulfato y la otra mitad como nitrato. Esta característica permite que la solución contenga menos azufre que el sulfato, no sobrepasando así la relación nitrato/azufre de 7:1, para no causar la acumulación de azufre en el sustrato.

Eguren y Pintado (2015) considera, que la concentración de la solución puede deducirse midiendo la conductividad eléctrica de la misma, mediante el uso de un conductivímetro. Las sales nutritivas conducen la corriente eléctrica y así a mayor cantidad de sales nutritivas habrá mayor conductividad eléctrica. Cuando el clima es seco, soleado y con viento la planta consume más agua que cuando el clima es húmedo y sombrío. En general puede decirse que la planta consume igual cantidad de nutrientes en ambos casos, pero diferente cantidad de agua.

Montoya (2011) determinó que los elementos químicos son esenciales para la vida del vegetal. Existen 17 elementos esenciales las cuales se manifiestan en el follaje del vegetal. Para el cultivo de girasol ornamental los elementos que se requieren son: nitrógeno (N), fósforo (P), magnesio(Mg).

2.4. CARACTERÍSTICAS FENOLÓGICAS

Melean (2009) menciona que el girasol tiene las siguientes características fenológicas:

2.4.1. Fases del desarrollo fenológico

a. Siembra a emergencia

Es el periodo desde la siembra, la germinación, hasta la aparición de la plántula. Tiene una duración en promedio de siete días, se deben presentar dos condiciones muy importantes, la temperatura y la disponibilidad de agua en el suelo lo que permite el hinchado (inhibición) de la semilla y el crecimiento de la plántula, los requerimientos para la germinación de la semilla deben ser: temperatura optima 26 °C, con un máximo de 40 °C y un mínimo de 15 °C y la suplencia de agua, permitiendo a las plantas desarrollar mayor cantidad de hojas.

Esta producción de hojas, permite que la planta intercepte mayor cantidad de luz solar, favoreciendo el proceso fotosintético, con la consecuente elaboración de las sustancias alimenticias o metabolitos por parte de la planta.

b. Emergencia

Corresponde a la fase vegetativa y ocurre desde la siembra hasta la aparición del primordio foliar, su duración varia de 20 a 30 días. Esta fase abarca desde que la planta emerge hasta el momento en que el ápice en crecimiento (productor de hojas) cambia de actividad hasta alcanzar la fase de la aparición del botón floral y pasar a diferenciar la inflorescencia.

c. Inicio de floración a floración

Se inicia con la emisión del botón floral hasta que se completa la formación de la flor, ocurre desde los 30 hasta los 60 dds (días después de la siembra).

Alba y Llanos (1990) indican que entre las condiciones ambientales que más influyen en el desarrollo de esta fase se encuentran la temperatura diurna y la cantidad de horas luz que se logra capturar. En esta fase, desde los 45 hasta los 85 DDS se hacen críticos los periodos de falta de humedad en el suelo. Se distinguen cuatro etapas: inicio del desarrollo de las flores en el capítulo, el crecimiento, la maduración y la polinización de las mismas. El potencial número de flores por capítulo y por unidad de área es determinante en el rendimiento, el mismo queda determinado en este periodo.

Melean (2009) menciona que cuando aparece el botón floral, ya está establecido el número de flores en la inflorescencia. Al mismo tiempo que crecen y se desarrollan las flores, aumenta el tamaño del capítulo, de las hojas y el tallo se expanden rápidamente.

En esta fase, la producción de biomasa (el área foliar más el tallo y las raíces) depende de la radiación fotosintéticamente activa que el cultivo pueda interceptar y de la eficiencia con que la planta utiliza esa energía; también es importante la disponibilidad de humedad en el suelo, así como la disponibilidad de nutrientes.

d. Floración, llenado de grano

Ocurre desde los 60 hasta los 105 DDS, el proceso de floración se realiza desde las flores periféricas hasta las flores del centro del capítulo y tiene una duración promedio de siete a 10 días, igualmente en ese momento el área foliar alcanza su valor máximo. En esta fase es muy importante que ocurra el llenado de los granos de la región central del capítulo, que ocurre en último lugar, ya que el proceso de llenado se produce desde las flores de la periferia. La madurez fisiológica se produce cuando los aquenios no acumulan más peso seco, caracterizándose por el cambio de color de las brácteas, las cuales se tornan de color marrón Melean (2009).

e. Madurez fisiológica

Esta fase ocurre en la mayoría de los cultivares desde los 105 a los 130 DDS, pero depende del ciclo vegetativo del cultivar sembrado. El momento de la cosecha se presenta cuando ocurre un cambio de coloración en la parte anterior del capítulo, el cual pasa primero de verde a amarillo y finalmente a marrón. Después de la caída de las flores de la periferia, cesa el crecimiento del cultivo Melean (2009).

2.5. CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS

2.5.1. Densidad de siembra

Para Arcila (2008) la densidad de siembra se define como el número de plantas por unidad de área de terreno.

Por su parte Ruiz (1993) indica si se realiza un incremento en la densidad de plantación dará como resultado una competencia por la luz, nutrientes, agua y el espacio dentro de la superficie (raíces) como en la superficie. Como resultado de esta competencia el tamaño de las plantas será reducidas. Con la elección de una determinada distancia entre surcos y densidades de plantación debe tratarse de obtener una óptima población y el mejor aprovechamiento para la nutrición de las plantas Ramirez (2011).

2.5.2. Control de densidad

Haefl (1997) señala que no siempre se logra una población óptima, sobre todo en caso de siembra directa. Una densidad deficiente casi no tiene corrección. Es posible rellenar los espacios mediante el trasplante con especies que soportan ese tratamiento. Para evitar el problema, es conveniente sembrar mayor cantidad de semillas y se efectúa un raleo después de la germinación vale decir:

- Aflojar la tierra entre hileras. Esto facilita el escardado.
- Con escardillo manual se quitan las plantas a intervalos deseados. Se dejan de uno a cinco plantas (dependiendo de la especie) en cada mata o puesto.
- Se ralea a mano, quitando las plantas inferiores, malezas y dejando las mejores plantas en el puesto.
- El éxito del cultivo entre otros factores está dado por la combinación de una adecuada densidad de plantación y abonamiento orgánico, lo que se expresa en rendimiento de inflorescencia con un buen tamaño y consistencia.

Del Valle (1987) reporta que es una planta que aprovecha el agua de forma mucho más eficiente en condiciones de escasez, su sistema radicular extrae el agua del suelo a una profundidad a la que otras especies no pueden acceder, el girasol adapta muy bien su superficie foliar a la disponibilidad de agua en el medio es un cultivo de secano, pero responde muy bien al riego incrementando el rendimiento final. Si se realiza un subsolado profundo se facilita la penetración del agua, el drenaje y la aireación del terreno, mejorando de forma considerable el resultado del riego. A partir de este momento las necesidades hídricas aumentan considerablemente y se mantienen de 25 a 30 días después de la floración aportando un segundo riego de 60 a 80 L/m² en plena floración Infroagro (2010).

2.5.3. Temperatura

Saumell (1976) informa que para que el girasol tenga un buen desarrollo requiere clima templado o templado cálido dentro de su ciclo. El girasol es una planta propensa al calor, pues para su germinación y emergencia sin riesgo necesita una temperatura mediana diaria superior a 19 °C, la germinación y la emergencia pueden lograrse en menos de 8 días.

Vranceanu (1977) indica que el girasol se adapta a condiciones térmicas variadas, puesto que se desarrolla normalmente tanto a temperaturas de 25 °C a 28 °C, como también a temperaturas menores de 13 °C a 17 °C; en este último caso, la floración y la maduración se

demoran. Esto explica su adaptabilidad a la posibilidad de que el cultivo se de en distintas condiciones climáticas. Temperaturas superiores a 5 °C necesaria para el crecimiento del girasol varía en función de la duración del periodo de vegetación, entre 1.600 y 2.000 unidades calor.

Por su parte Vrebalov (1978), menciona que la temperatura media diaria determina el ritmo de crecimiento y modifica el ciclo de cada variedad, debido a que para que se manifiesten los subperiodos se necesita la acumulación de una determinada cantidad de unidades calor. Los principales subperiodos son: siembra emergencia, emergencia-floración, floración-cosecha.

McWilliams *et al.* (1976), mencionan que la madurez fisiológica con 650 unidades de calor acumuladas después de la floración.

Putt (1963), encontró que el girasol soporta bajas temperaturas incluso heladas ligeras en sus primeras etapas de desarrollo, y después empieza progresivamente a ser más sensible al frío.

Por otra parte, Saumell (1976) y Vranceanu (1977), indican que las temperaturas bajas constantes cercanas a los 10 °C provocan desordenes fisiológicos, afectan el ápice de crecimiento de las plantas y causan la ramificación de los tallos.

Algunos de los efectos que pueden provocar las altas temperaturas (mayores a 28 °C) son las siguientes:

- Aceleran el desarrollo vegetativo de la planta
- Reducen el rendimiento
- Aumenta el porcentaje de abonamiento de la semilla
- Evitan la formación de la semilla en la parte central del capitulo
- Causan cambios en la proporción de los ácidos grasos oleicos y linoleico del aceite.

2.5.4. Fotoperiodo y luz

Infoagro (2010), menciona que las diferencias en cuanto a la aparición de hojas, fecha de floración y a la duración de las fases de crecimiento y desarrollo son atribuidas al fotoperiodo. Durante la fase reproductiva el fotoperiodo deja de tener influencia y comienza a tener importancia la intensidad y la calidad de la luz, por tanto, un sombreado en plantas jóvenes produce un alargamiento del tallo y reduce la superficie foliar.

2.6. CARACTERÍSTICAS BOTÁNICAS

2.6.1. Clasificación sistemática del cultivo

Según Sánchez (1990) el girasol presenta la siguiente taxonomía:

- Reino: Plantae
- División: Magnoliophyta
- Clase: Magnoliopsida
- Orden: Asterales
- Familia: Asteraceae
- Subfamilia: Asteroideae
- Tribu: Heliantheae
- Subtribu: Helianthinae
- Género: Helianthus

Dentro del género *Helianthus*, Linneo en 1753 originalmente describió 9 especies, hasta ahora se han identificado más de 350 especies por otros autores. El nombre científico de la especie cultivada es *Helianthus annuus*.L.

2.6.2. Características morfológicas

El girasol tiene las siguientes características morfológicas (Sánchez 1990):

a. Raíz.

La raíz del girasol es pivotante; se forma por un eje principal dominante y abundante raíces secundarias, el conjunto forma un fuerte sistema radical que puede alcanzar hasta 4 metros de profundidad, la raíz principal crece con mayor rapidez que la parte aérea al iniciarse el desarrollo de la planta, durante la fase de 4 a 5 pares de hojas alcanza una profundidad de 50 a 70 cm, y llegan al crecimiento máximo en la floración. Normalmente la longitud de la raíz principal sobrepasa la altura del tallo.

La profundidad a la cual se desarrolla la red de raicillas depende de las condiciones climáticas. Si hay sequía, llega a la mayor profundidad; si hay humedad se acercan a la superficie del suelo.

b. Tallo

El tallo es erecto. Vigoroso y cilíndrico. Tiene el interior macizo. Al llegar a la madurez, se inclina en la parte terminal a consecuencia del peso de la inflorescencia. La superficie

exterior es rugosa, asurcada y vellosa. La altura de las variedades aceiteras es entre 60 a 220 cm. El diámetro varío 2 y 6 cm, con mayor grosor en la parte inferior del tallo. En las variedades mejoradas los tallos no exhiben ramificación debido a que esta característica es nociva en los tipos de girasol para aceite.

c. Hojas

Las hojas son alternas, grandes trinervadas, muy pecioladas de formas variables, acuminadas dentadas, con vellosidad áspera en el haz y en el envés. La posición de las hojas en el tallo es la siguiente: en los primeros dos o tres pares son opuestas y los demás son alternas, el número de hojas por planta varía entre 12 y 40 según las condiciones del cultivo y las peculiaridades individuales de la variedad. En función a la fertilidad del suelo, la superficie foliar de una planta madura abarca de 3.000 a 6.000 cm², y el contenido de clorofila es de aproximadamente 16,5 mg/10 g de hoja fresca.

d. Inflorescencia

La inflorescencia llamada capitulo o cabeza está formada por un numero de flores que fluctúa entre 500 y 1.500, su borde se compone de brácteas protectoras que forman el involucre, el conjunto toma la forma de un disco que constituye el receptáculo el cual es un disco plano, cóncavo o convexo, que tiene insertadas las flores en la cara superior y las brácteas en el borde, en plena floración es semi-carnoso y succulento. En el receptáculo hay dos tipos de flores: liguladas y tubulosas, las flores liguladas son estériles y se componen de un ovario rudimentario y una corola transformada y semejante a un pétalo; suman de 30 a 70; están dispuestas radialmente en 1 o 2 filas.

2.7. AGUA

2.7.1. Estrés hídrico

Munns y Tester (2008); Tambussi (2004) mencionan que la poca disponibilidad de agua en el suelo puede ocasionar que la transpiración exceda el agua absorbida por las raíces, lo que se conoce como estrés hídrico, este incluye dos tipos de estrés contrapuestos: por déficit o exceso de agua en el suelo.

Levitt (1980) observó que el estrés por déficit hídrico o por sequía se produce en las plantas en respuesta a un ambiente escaso en agua, en donde la tasa de transpiración excede a la toma de agua. El déficit hídrico no solo ocurre cuando hay poca agua en el ambiente, sino también por bajas temperaturas y por una elevada salinidad del suelo. Estas condiciones,

capaces de inducir una disminución del agua disponible del citoplasma de las células, también se conocen como estrés osmótico. Nilsen y Orcutt (1996) mencionan que las plantas a lo largo de su desarrollo experimentan algún grado de estrés por déficit hídrico. En los sistemas naturales, un déficit de agua puede ser el resultado de bajas precipitaciones, baja capacidad de retención de agua del suelo, excesiva salinidad, temperaturas extremas frías o calientes, baja presión de vapor atmosférica o una combinación de estos factores, las plantas han respondido al estrés hídrico desarrollando evolutivamente adaptaciones tanto a nivel morfológico como anatómico y celular, que les permiten vivir en condiciones de constante estrés hídrico.

La intensidad y duración del estrés hídrico influye en los efectos y la capacidad de las plantas para resistirlo, entre los principales efectos del estrés hídrico sobre el crecimiento está la reducción en la altura, tallo, raíces, área foliar, peso foliar específico y biomasa de la planta (Farooqi *et al.* 1994; Engelbrecht 2001; Khurana y Singh 2004; Singh y Singh 2006).

Durante el estado de plántula se experimenta mayor estrés hídrico porque los individuos aún no han desarrollado un sistema radicular extenso ni profundo y su acceso al agua del suelo es limitado (Tyree *et al.* 2003; Lüttge 2007). Esta etapa condiciona el establecimiento de las especies vegetales ya que el estrés hídrico puede provocar su muerte; por ello es necesario estudiar sus respuestas fisiológicas y morfológicas ante condiciones de baja humedad del suelo (Cregg 2004).

2.7.2 Requerimiento hídrico del girasol

El aprovechamiento óptimo del agua sólo se obtiene cuando los niveles de nutrientes son adecuados para obtener altas producciones. La fecha de la siembra debe hacerse tratando de evitar temperaturas extremas durante la floración. La densidad por hectárea debe ser tan alta como lo permita la fertilidad del suelo, su capacidad de retención del agua y la capacidad de riego de los equipos de que se disponga Lorenzo (2010).

En España la mayor parte de la superficie cultivada de girasol se hace en secano, y aunque el girasol sea una especie resistencia a la sequía ello no quiere decir que no se vea afectado por la falta de agua. Las necesidades de agua durante el cultivo son intensas Lorenzo (2010).

En las zonas de regadío de España se suelen aplicar tres riegos: el primero al iniciarse la floración y el último al iniciarse la maduración; en caso de regarse una vez se hace al inicio de la floración; suele efectuarse también un riego antes de la siembra, para dejar el terreno

en condiciones favorables para la germinación. Para obtener las máximas producciones se recomienda que el terreno tenga como mínimo una humedad del 70% de la capacidad de campo, durante el periodo que va de la germinación a la floración, y del 80% desde la floración hasta la madurez de las semillas (Lorenzo 2010).

Según Lorenzo (2010) el aprovechamiento del agua del riego requiere que la parcela a regar reúna algunas condiciones tales como:

- Buena nivelación: es importante para el riego de pie.
- Buen drenaje: el girasol es poco tolerante al encharcamiento.
- Uniformidad en el riego: es importante que no queden zonas sin regar o que reciban menos agua que otras.

2.7.3. Objetivos para conseguir un buen girasol

- a. Una aplicación uniforme del agua; para su aplicación uniforme del agua hay que tener en cuenta el sistema de riego a utilizar, en el cultivo de girasol deben evitarse excesivos aportes de agua que causen encharcamiento. Un excesivo aporte de agua se manifiesta por el amarillo miento de las hojas y una reducción del crecimiento de la planta.
- b. Una penetración o infiltración lo más rápida y profunda posible; la eficiencia de un riego suele exceder el 70%. Las necesidades totales brutas del girasol de regadío oscilan entre 3000 y 6000 m³/ha, según la pluviometría del año, la fecha de la siembra y la capacidad de almacenamiento de agua del suelo. El número de riegos dependerá del Rendimiento Objetivo que se tenga. Alcanzar máximos rendimientos sólo se consigue con fuertes dosis de abonados, una fecha de siembra temprana y con un híbrido adecuado resistente al encamado y de ciclo medio a largo (Lorenzo 2010).

Cuadro 1: Consumo de agua por el girasol en las distintas fases del cultivo

semanas después de emergencia	temperatura máxima diaria en °C				
	10-15	16-20	21-26	27-31	32-37
	mm./día				
1	1	1	1,3	1,5	1,8
2	1	1,3	1,8	2	2,3
3	1	1,5	2,3	2,8	3
4	1,3	2	3	3,6	4,1
5	1,5	2,8	3,8	4,6	5,3
6	2	3,3	4,8	5,6	6,6
7	2,3	3,8	5,6	6,6	7,6
8	2,3	3,8	5,6	6,6	7,6
9	2,3	3,8	5,6	6,6	7,6
10	2	3,3	4,6	5,6	6,6
11	2	3,3	4,6	5,6	6,6
12	2	3,3	4,6	5,6	6,6
13	2	3,3	4,6	5,6	6,6
14	1,5	2	2,8	3,6	4,1
15	1	1,3	1,8	2,3	2,8
16	1	1	1	1	1

FUENTE: Modificado por Lorenzo (2010)

2.7.4. Ejemplo de riego de abastecimiento en otros países

En algunos países el riego del girasol es un ejemplo de riego de abastecimiento.

- Agua a una profundidad mayor de dos metros.
- Dar dos riegos: 10-15 días antes de la floración y al principio de la floración de la semilla (Lorenzo 2010).

2.7.5. Programación de riego

Las necesidades del aporte hídrico dependen de tres factores Lorenzo (2010):

- a. La zona geográfica: de esta depende la demanda de agua por los cultivos (evapotranspiración) y el aporte pluviométrico (lluvia) durante la época de desarrollo.
- b. Disponibilidad de agua en el suelo (factor suelo): La cantidad de agua útil para el cultivo viene determinada por:
 - Textura del suelo: Los suelos arcillosos tiene más capacidad de almacenar agua que los suelos arenosos. Cuando uno y otro están a su capacidad de campo, la disponibilidad de agua del suelo arcilloso es mayor que la del arenoso.
 - La profundidad del suelo: La planta de girasol llega normalmente con sus raíces de 1.5 a 2 m de profundidad. A mayor disponibilidad de agua para el cultivo.
 - Variedad: Las variedades de ciclo largo consumen más agua que las de ciclo corto. En las condiciones de nuestro país, el girasol para dar el máximo rendimiento necesita consumir de 500 a 700 mm de agua.

2.7.6. Riego deficitario

El riego deficitario, desde el punto de vista de gestión del agua, es la disminución de la cantidad de agua para el riego de los cultivos influyendo lo menos posible en el rendimiento de la planta, en la calidad del fruto y, en definitiva, en la producción Molina (2012).

2.7.7. Tipos o estrategias de riego deficitario

Fernández *et al.* (2015) mencionan varias estrategias de riego deficitario. La elección de una u otra dependerá de varios factores, como el tipo cultivo, disponibilidad de agua y sistema de riego del que se disponga, se mencionan las más utilizadas:

Riego suplementario o complementario. Se dan muy pocos riegos en todo el periodo de cultivo (2 o 3), preferiblemente en momentos en los que el cultivo más los necesita. Esta estrategia se aplica en zonas con muy poca agua para el riego.

- Riego deficitario de baja frecuencia. Se deja que el cultivo agote el agua acumulada en el suelo, hasta el nivel de agotamiento permisible; es decir, hasta justo antes de que la falta de agua en el suelo produzca una reducción inaceptable del rendimiento del cultivo. Entonces se da un riego abundante, hasta reponer el agua perdida por el suelo, quedando este al máximo de su capacidad de retención de agua. El número de riegos que se den a lo largo del ciclo del cultivo dependerá de la capacidad del suelo para almacenar agua.
- Riego parcial y alternante (PRD). Esta estrategia de riego, se aplica a cultivos en línea y con riego por goteo. Consiste en regar deficitariamente la mitad del suelo explorado por las raíces, durante 2 o 3 semanas. Después se riega la otra mitad durante el mismo tiempo y así sucesivamente. En el artículo de Fernández y col. (2015) se estudia un caso de riego PRD aplicado a un olivar intensivo.
- Riego deficitario sostenido (RDS). Se riega frecuentemente, pero con una fracción de lo que necesita el cultivo para alcanzar la producción máxima. Por ejemplo, con un riego RDS del 60% se aplica el 60% de las necesidades de riego (NR), a lo largo del ciclo de cultivo las necesidades de riego van cambiando, por lo que también cambiará la dosis de riego, pero siempre será el 60% de NR.
- Riego deficitario controlado (RDC). Esta estrategia de riego se aplica a cultivos en los que se ha estudiado su tolerancia a la falta de agua y se conocen los momentos del ciclo del cultivo en los que es más sensible a la sequía. El RDC consiste en aplicar riegos próximos al 100% de NR en estos momentos de mayor sensibilidad del cultivo a la sequía, como por ejemplo durante la floración o el engorde del fruto. El resto del tiempo, en los que una falta de agua no penaliza tanto la producción, el riego se reduce o incluso se interrumpe (Fernández *et al.* 2015).
- El concepto general del RDC se define como la aplicación de un pequeño estrés hídrico en ciertos períodos precisos del ciclo fenológico de la planta, sin que esta condición afecte la producción ni la calidad de la planta (Saavedra 2000).

- Fundamentos del Riego Deficitario Controlado (RDC), para la elaboración de estrategias de RDC se debe tener en cuenta los factores que pueden condicionar su viabilidad: los periodos críticos del cultivo, nivel de coincidencia entre el crecimiento vegetativo y el del fruto, las características del suelo, el sistema de riego, el clima, el material vegetal, resistencia a la sequía (Molina 2012).

2.7.8. PERIODOS CRÍTICOS DEL CULTIVO

Son aquellos momentos en los que el estrés hídrico puede condicionar de forma considerable la producción y/o la calidad de la cosecha (Molina 2012).

La programación del riego en los periodos no críticos es uno de los aspectos esenciales del riego deficitario controlado. Hay que determinar la dosis de agua a aplicar para seleccionar las condiciones más adecuadas en las que realizar el RDC impactando lo menos posible sobre la cosecha y el medio ambiente, Es difícil indicar los periodos críticos concretos de cada cultivo porque algunos autores determinan como periodo de mayor sensibilidad al déficit hídrico, los periodos de crecimiento del fruto (Molina 2012).

2.7.9. Clima

Las condiciones climáticas condicionan la aplicación de estrategias de riego. Dada la necesidad de desarrollar situaciones de déficit hídrico, el RDC es preferible en zonas de escasa pluviometría. Pero otros autores recomiendan que en las zonas donde las lluvias condicionen la aplicación del RDC, al iniciar la etapa de crecimiento, se suprimen los aportes hídricos hasta alcanzar el nivel de agua en el suelo similar al perseguido por el RDC. Según estos autores esta es la solución posible siempre que se asigne un tiempo suficiente de déficit hídrico (Molina 2012).

2.7.10. Resistencia a la sequía

Otro factor importante es la capacidad de los cultivos para adaptarse a las condiciones del déficit hídrico, las investigaciones realizadas acerca de este tema se han desarrollado en cultivos anuales, aunque los mecanismos de adaptación son muy similares al de los cultivos leñosos. Las consecuencias de los mecanismos de adaptación del cultivo a estas condiciones hacen que la productividad resulte sacrificada (Molina 2012).

Cregg (2004) manifiesta que, entre los métodos directos, podríamos mencionar el balance hídrico entre entradas y salidas de agua en un volumen de suelo y un tiempo determinado. El lisímetro de pesada, que es el método más preciso y directo para medir la ET_c , basado en la ecuación de balance hídrico, que nos permite calcular el coeficiente de cultivo K_c mediante la relación entre ET_c/ET_o . Los métodos térmicos, midiendo el flujo de savia, basados en la interacción entre la circulación de la savia y el transporte de calor, usando el calor como trazador y aprovechando la capacidad calorífica de la savia en comparación al aire y la madera húmeda.

Boyer (1968) menciona que para determinar los coeficientes del cultivo es necesario realizar balances hídricos haciendo uso de los lisímetros. La medición de la evapotranspiración potencial se estima a partir de la ecuación de Penman Monteith la cual considera parámetros climáticos mientras que la evapotranspiración del cultivo se realiza teniendo en cuenta las entradas y salidas de agua del lisímetro y la capacidad de almacenamiento hídrico del suelo. A pesar de que los lisímetros son alternativas de relativa facilidad para su construcción, en países en vías de desarrollo contar con la información climática puede ser un gran reto, ya que la probabilidad de existencia de estaciones climatológicas cercanas que contenga la información completa es baja; además, contar con una estación meteorológica portátil no siempre es posible.

Álvarez (2010) reporta que ante estas dificultades se han desarrollado metodologías alternativas como el diseño de experimentos en campo haciendo uso de coeficientes multiplicadores. El coeficiente multiplicador es un valor aproximado de K_c estimado en experimentos en campo, en donde se adiciona láminas de riego determinadas a partir del producto de diversos coeficientes y la evaporación diaria y correlacionando con el desarrollo de características fisiológicas de las plantas.

A nivel mundial según la FAO (2015) actualmente hay enormes pérdidas de un bien tan escaso como el agua, llegando en promedio hasta un 55%. Este riego altamente ineficiente está caracterizado por: 25% de aguas se pierden en el mismo campo 15% de pérdidas por el sistema de riego 15% de pérdida en la distribución extra predial 45% de agua que es efectivamente utilizada por los cultivos. La eficiencia de riego es la relación o porcentaje entre el volumen de agua efectivamente utilizada por las plantas y el volumen de agua retirado en la bocatoma. Del volumen de agua retirado en la bocatoma de un sistema de

riego, una parte importante no es utilizada por las plantas. Las pérdidas pueden ser: en los canales y tuberías del sistema de distribución, antes de llegar propiamente a la parcela donde están los cultivos a ser regados. Este primer tipo de pérdidas puede ser denominado de pérdidas en la distribución del agua y se pueden deber a pérdidas por: infiltración profunda en los canales no revestidos, evapotranspiración de la maleza en los bordes del canal, fugas en los canales revestidos o en tuberías, evaporación desde los canales, operación errada de las compuertas que ocasiona que una parte del agua fluya directamente a los drenes y pérdidas de agua en el interior de la parcela. Estas pérdidas son inherentes a las técnicas de riego utilizada, y en segundo lugar dependen de: las características del suelo, la dimensión de la parcela, la declividad longitudinal de la parcela y lámina de agua suministrada en cada riego.

2.8. CONDUCTANCIA ESTOMÁTICA

La conductancia estomática estima la tasa de intercambio gaseoso (es decir, consumo de dióxido de carbono) y la transpiración (es decir, pérdida de agua) a través de las estomas de la hoja, determinadas por el grado de apertura estomática (y por lo tanto de la resistencia física al movimiento de gases entre el aire y el interior de la hoja). Por consiguiente, la conductancia estomática es una función de la densidad, tamaño y grado de apertura de las estomas; al tener mayor cantidad de estomas abiertos se obtiene una mayor conductancia, lo cual indica, subsecuentemente, que las tasas de fotosíntesis y transpiración son potencialmente más altas. Los parámetros portátiles proporcionan mediciones rápidas de la conductancia estomática de la hoja en ensayos de experimentos bajo riego, recomendada para ensayos bajo estrés hídrico. Una disminución relativamente rápida de la presión, una tasa de flujo de gases rápido, o un gradiente de humedad relativa (RH) rápidamente cambiante a través del instrumento, indican que la resistencia a la conductancia de gases es relativamente pequeña y, por lo tanto, que la conductancia estomática es alta. Los resultados pueden ser usados como un indicador de la tasa de fotosíntesis. La heredabilidad de la conductancia estomática es razonablemente alta, y se correlaciona altamente con el rendimiento; una mayor conductancia en hojas bajo temperaturas altas ha sido asociada con temperaturas más frías en el dosel (Pask *et al.* 2013).

2.8.1. Cámara de estado estacionario

Consiste en una cámara abierta que se sujeta efectivamente en la superficie de la hoja y el vapor de agua liberado a través de las estomas establece un gradiente de humedad relativa

(HR) a lo largo de la cámara. El instrumento monitorea la humedad relativa HR en dos puntos a lo largo de la trayectoria de flujo y, una vez que el gradiente de flujo alcanza un estado estacionario, calcula y muestra la difusión de la conductancia en la hoja (el recíproco de la resistencia). Una hoja con un gradiente cambiante muy rápidamente indica que las estomas se encuentran relativamente abiertos (Pask *et al.* 2013).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

3.1.1. Ubicación

El ensayo se llevó a cabo en las instalaciones de la Universidad Nacional Agraria la Molina (UNALM), ubicado en el distrito La Molina, perteneciente al cercado de Lima, su altitud es de 241 (m.s.n.m.). Sus coordenadas geográficas son Latitud Sur: 12°04'36" y Longitud Oeste: 76°56'43" (sistema de posicionamiento global GPS) (Figura 1).



Figura 1: Ubicación geográfica de la parcela de investigación – UNALM

FUENTE: Google Earth (2019)

3.1.2. Clima

El clima del distrito de La Molina es por lo general templado. Se obtuvo información meteorológica de la estación Alexander Von Humboldt ubicada en la UNALM, considerando el registro del periodo del experimento de diciembre de 2018 a febrero de 2019, encontrando una temperatura promedio mensual máxima de 30.60 °C, que se presentó a finales de enero e inicios de febrero, la temperatura mínima promedio mensual fue la

primera semana de diciembre donde se efectuó la siembra con 16.20 °C (Figura 4), la humedad relativa media entre 63% - 83 % (Figura 2) y la velocidad de viento media de 15 km/hora (Figura 3).

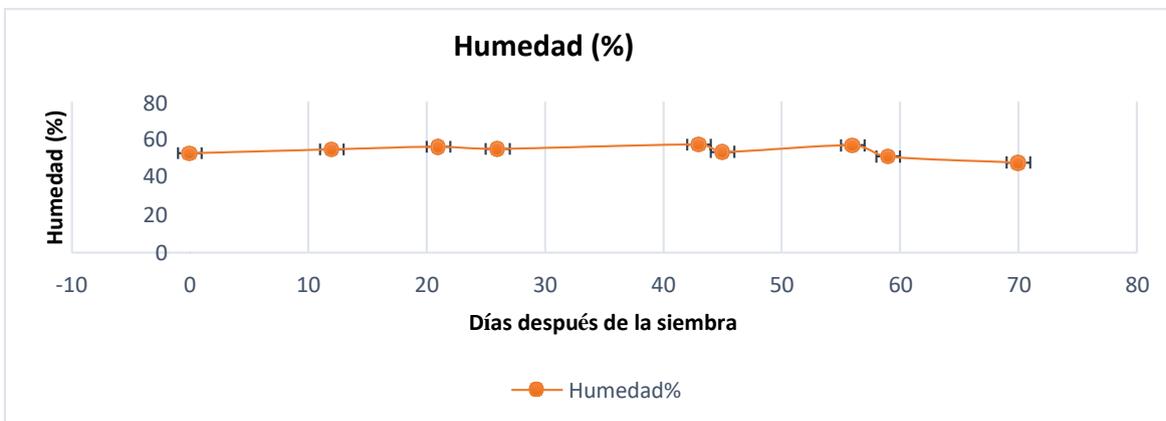


Figura 2: Comportamiento climatológico: humedad (%)



Figura 3: Comportamiento Climatológico: Velocidad del viento (m/s)

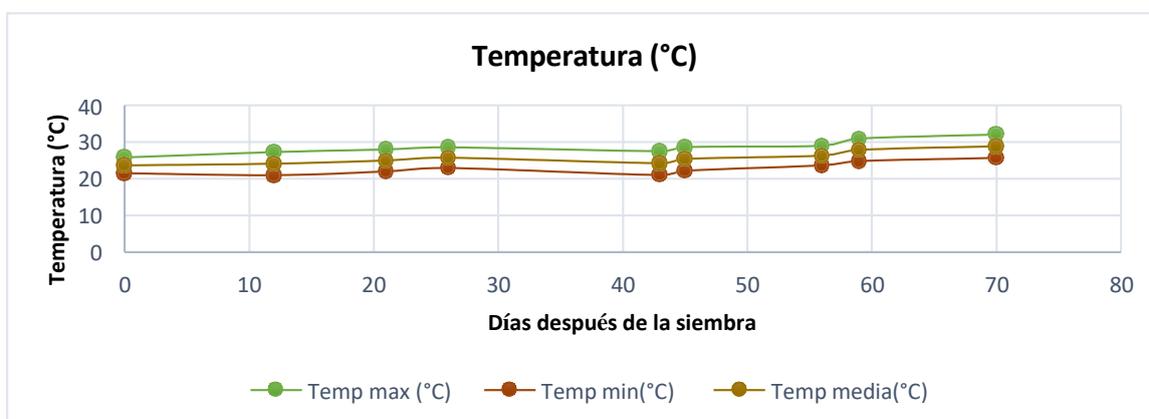


Figura 4: Comportamiento climatológico: Temperatura media (°C)

3.2. DURACIÓN DEL ESTUDIO

El estudio se inició en diciembre 2018 y finalizó en febrero 2019, es este período de tiempo se aplicaron los tratamientos de riego deficitario, se analizaron y evaluaron las muestras colectadas en cada etapa de desarrollo fenológico del girasol según cada objetivo.

3.3. MATERIALES Y EQUIPOS

3.3.1. Material vegetal

- Semillas de girasol ornamental F1, variedad Sunbright Golden yellow de la empresa Sakata Seed America, INC.

3.3.2. Sistemas e insumos para riego

- Sistema de riego por goteo
- Sistema de fertirrigación: Inyección tipo Venturi con una presión de llegada de 20 metros de carga.
- Sistema de riego presurizado de alta frecuencia.
- Agua de riego

3.3.3. Equipos

- Sensor de humedad (TDR-150)
- Porómetro con una precisión 10%
- Flexómetro
- Calibrador de vernier
- Estufa para secado de muestras
- Balanza digital

3.3.4. Fertilizantes e insumos fitosanitarios

- Nitrato de amonio (NH_4NO_3)
- Sulfato de magnesio (MgSO) fórmula completa
- Quelato de hierro
- Oligomix
- Extracto de algas

- Propineb
- Imidacloprid
- Cipermetrina
- Organofosforados

3.3.5. Otros

- Tijeras de podar
- Azadones
- Palas
- Rastrillo
- Bomba de mochila
- Cámara digital
- Calculadora
- Laptop
- Software para análisis estadístico y tabulación de datos
- Cuaderno de campo
- Lapiceros
- Sobres manila
- Papel bond

3.4. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.4.1. Caracterización del suelo

La caracterización fisicoquímica del suelo se ejecutó en el laboratorio de Agua, Suelo, Medio Ambiente y Fertirriego perteneciente al Departamento de Recursos Hídricos (DRH) de la Facultad de Ingeniería Agrícola (FIA), se colectó para el análisis una muestra distintiva tomada de la parcela a una profundidad de 20 cm. Los resultados del análisis de caracterización se muestran en el Cuadro 2.

Cuadro 2: Resultados del análisis de suelo

Determinación	Medida	Valor	Método de análisis
CE	dS m ⁻¹	0.91	Extracto de saturación 1:1
pH		7.69	Potenciómetro (1:1)
MO	%	1.62	Walkley y Black
Fósforo asimilable	ppm	32.37	Olsen modificado
Carbonatos totales	%	1.04	Gasó-volumétrico
Potasio asimilable	Cmol kg ⁻¹	0.53	Espectrofotometría de Absorción Atómica
Sodio asimilable	Cmol kg ⁻¹	0.20	Espectrofotometría de Absorción Atómica
Calcio asimilable	Cmol kg ⁻¹	9.13	Espectrofotometría de Absorción Atómica
Magnesio asimilable	Cmol kg ⁻¹	1.25	Espectrofotometría de Absorción Atómica
CIC	Cmol kg ⁻¹	11.10	
Textura		FA	Hidrómetro de Bouyucos

FUENTE: DRH (2018)

Estos índices nos indicaron que el suelo era rico en nutrientes para el cultivo del girasol variedad Sunbright Golden yellow, con excepción del nitrógeno que fue calculado a partir del porcentaje de materia orgánica resultando nitrógeno bajo, por efecto se reformuló la aplicación nutricional a nivel de suelo.

3.4.2. Caracterización del agua de riego

la calidad del agua es apta para riego del cultivo de girasol. Los resultados obtenidos muestran la conductividad eléctrica (CE) de 0.66 dS/m y pH de 7.52, valores que indican baja conductividad y ligera alcalinidad respectivamente (Cuadro 3.)

Cuadro 3: Resultados de análisis de agua

Parámetro	Unidades	Valor
CE	dS.m ⁻¹	0.63
pH	-	7.40
Calcio	meq/l	4.00
Magnesio	meq/l	0.05
Sodio	meq/l	0.91
Potasio	meq/l	0.1
Suma de cationes	meq/l	5.06
Cloruros	meq/l	0.58
Sulfatos	meq/l	2.70
Bicarbonatos	meq/l	2.80
Nitratos	meq/l	0.00
Carbonatos	meq/l	0.00
Suma de aniones	meq/l	6.08
SAR	-	0.50
Clasificación		C2-S1
Boro	ppm	0.02

FUENTE: Elaborado con el informe del laboratorio de LASMAF

3.4.3. Preparación del terreno

Se realizó con un arado de disco roturando el perfil superficial de suelo agrícola a 40 cm de profundidad, luego se pasó la rastra, con el fin de mullir el suelo, seguidamente se procedió a delimitar las parcelas. Dos días antes de la siembra se realizó un riego a machaco por cuatro horas aproximadamente, con el fin de humedecer las capas superficiales del suelo y evitar así la activación de ciertas plagas, disminuyendo el porcentaje de infestación al cultivo, secuela dada al terreno de experimentación porque se siembra continuamente sin dejar el tiempo de descanso necesario entre siembra y siembra.

Culminado los 2 días de desinfestación física, se alistó la capa arable de suelo para iniciar con la siembra de las semillas de girasol, colocando una semilla por hoyo respetando la densidad de siembra de 0.25 m entre plantas y 0.8 m.

3.4.4. Uso del tanque evaporímetro y registros agrometeorológico

Para el manejo de la investigación se utilizó como equipo agrometeorológico el tanque evaporímetro clase "A", perteneciente a la FIA, así como registros climáticos de la estación Von Humboldt de la UNALM, tomando variables agro meteorológicas con el tiempo de duración del ciclo de cultivo de girasol, con el propósito de tomar decisiones para el manejo

cultural y explicación de comportamientos fisiológicos de las plantas.

3.4.5. Instalación y manejo del sistema de riego

Se instaló un sistema de riego por goteo superficial, con cintas de goteo Rivulis, calibrado con un caudal por emisor de 1.13 l/h y 0.55 bar de funcionamiento, a una distancia de goteo de 0.20 m. La cinta fue instalada a 0.20 metros entre líneas de goteo, es decir, dos hileras por cada cama, de tal manera que ambos goteros alimentaron a un girasol. Para compensar la pérdida de agua del cultivo, se utilizó los valores del tanque de evaporímetro clase A, a partir de este se obtuvieron los valores de Evapotranspiración del Cultivo (ETc) (Figura5 y 6).

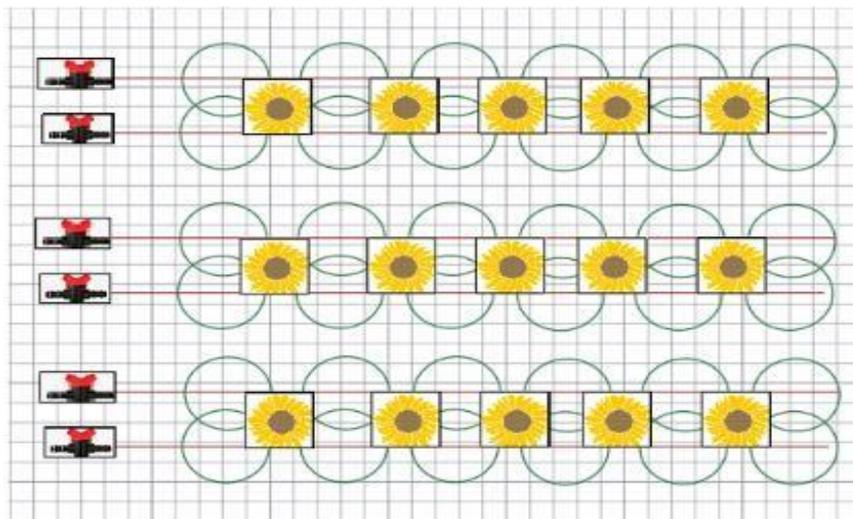


Figura 5: Disposición de las cintas de goteo en una unidad experimental.

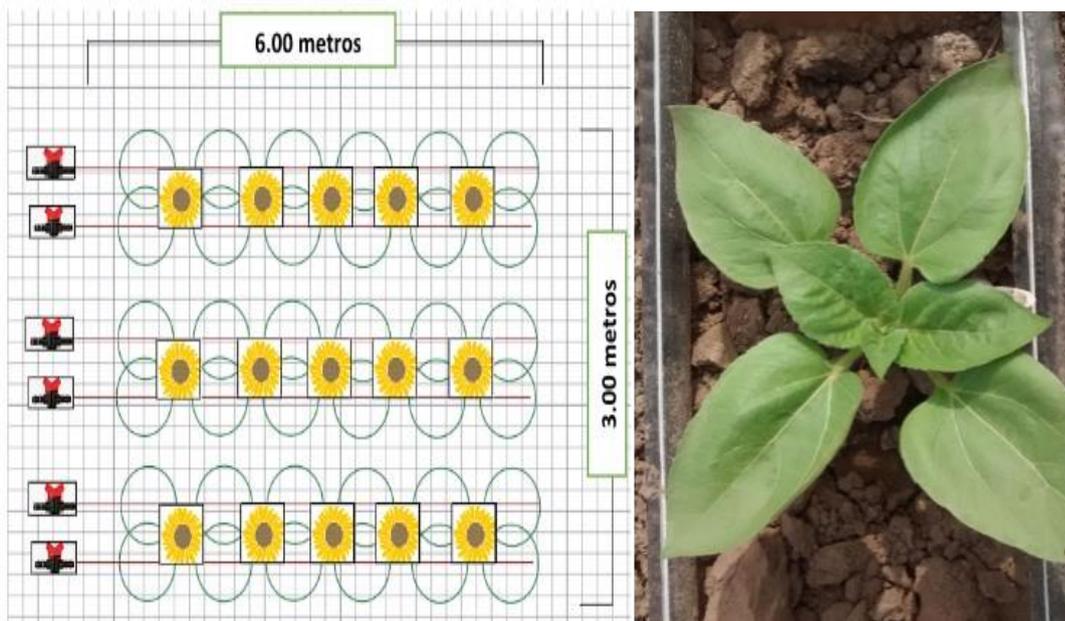


Figura 6: Disposición de una unidad experimental

3.4.6. Diseño y disposición experimental

a. Diseño experimental

La investigación se fundamentó en un Diseño Bloque Completo al Azar. Los bloques fueron los 7 periodos fenológicos generados en el tiempo por el desarrollo del cultivo de girasol, siendo cada bloque un periodo fenológico, con fines de muestreo se instalaron cinco módulos (1, 2, 3, 4 y 5) en el terreno (para las repeticiones), dentro de cada módulo se distribuyeron 4 tratamientos (100% ETo-T1 T, 80% ETo – T2, 70% ETo – T3 y 60% ETo – T4) al azar para cada unidad experimental formada por 90 plantas de girasol, ver Cuadro 4. Por consecuencia cada tratamiento tuvo 5 repeticiones, de cada unidad experimental se colecto una y tres muestras de acuerdo al objetivo. La prueba de comparación múltiple de medias se realizó con la prueba de Tukey con una $P < 0.05$. Se utilizó el Software libre R y herramientas de office para el análisis estadístico. A continuación, se describe el esquema del diseño:

Modelo aditivo lineal

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_j + \beta_k + \varepsilon_{ijk}$$

$$i=1, 2, 3, 4; j=1,2, 3, 4, 5; k= 1,2,3,4,5,6,7$$

Donde:

Y_{ijk} : Valor observado (altura, diámetro tallo y capítulo, biomasa, eficiencia del uso de agua y conductividad) en el i-ésimo tratamiento, la j-ésima observación y el k-ésimo bloque.

μ : Efecto de la media general del experimento.

α_i : Efecto del i-ésimo tratamiento (láminas de riego).

B_k : Efecto del k-ésimo bloque (periodo fenológico).

E_{ijk} : Efecto del error experimental en el i-ésimo tratamiento, j-ésima repetición y k-ésimo bloque.

a. : Número de tratamientos

b. : Número de repeticiones

c. : Número de bloques

Cuadro 4: Distribución de las 4 láminas de riego en la parcela experimental

Tratamiento	Módulos				
	1	2	3	4	5
T1- 100% Eto	T1- 100% Eto 1	T1- 100% Eto 2	T1- 100% Eto 3	T1- 100% Eto 4	T1- 100% Eto 5
T2 -80% Eto	T2 -80% Eto 1	T2 -80% Eto 2	T2 -80% Eto 3	T2 -80% Eto 4	T2 -80% Eto 5
T3 -70% Eto	T3 -70% Eto 1	T3 -70% Eto 2	T3 -70% Eto 3	T3 -70% Eto 4	T3 -70% Eto 5
T4 -60% Eto	T4 -60% Eto 1	T4 -60% Eto 2	T4 -60% Eto 3	T4 -60% Eto 4	T4 -60% Eto 5

b. Distribución experimental

El área para el trabajo de investigación fue de 360 m², dividió en 20 unidades experimentales (20 parcelas) de tres por seis metros equivalente a 18 m², dentro de las mismas se distribuyó en 3 hileras, la densidad de siembra fue de 0.25 metros entre plantas y 0.8 metros de distancia entre hileras, es decir 90 plantas por unidad experimental (5 plantas/m²).

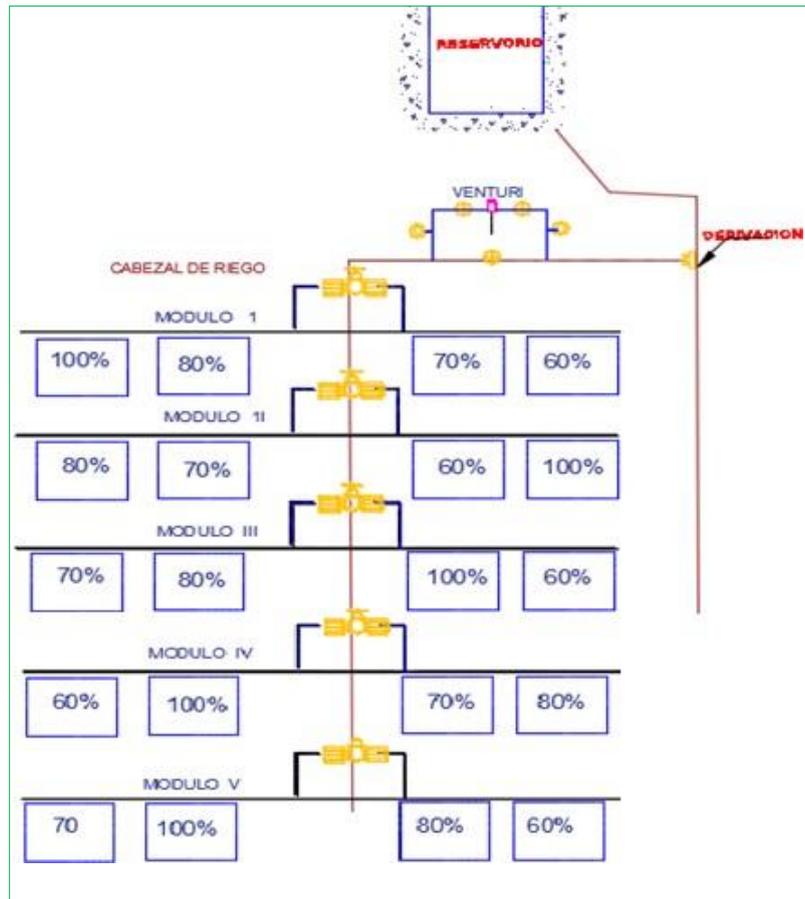


Figura 7: Distribución de los tratamientos en los módulos de la parcela

c. patrón de riego

En la investigación se evaluó cuatro tipos de láminas de riego, en la primera parte del experimento se aplicó a todas las unidades experimentales el cien por ciento (lamina completa) y en la segunda parte se aplicó el principio de reducción denominado riego deficitario sostenido.

d. riego completo

El experimento inicio con un riego a machaco como mencionamos anteriormente en la preparación del terreno, después de ello se aplicó riego completo desde el día cero al día 28 (etapa de desarrollo), este criterio se aplicó para controlar el brote de plagas (*Phyllocnistis citrella* y *Aleyrodidae*), y precautelando el bienestar del cultivo fundamental en las primeras fases de desarrollo para producir un cultivo vigoroso con flores de excelente calidad, por ello el manejo agronómico al vegetal fue decisivo; una vez fortalecido el girasol se aplicó el riego deficitario sostenido a mediados de la fase desarrollo hasta la cosecha.

e. Riego deficitario sostenido

A mediados de la fase de desarrollo se aplicaron los tratamientos a la parte radicular del girasol. Los cuatro tratamientos son las láminas de riego que a continuación se mencionan:

- Lámina 100% (T1- 100% ETo), es la aplicación normal que necesita el cultivo de acuerdo a su ambiente.
- Lámina 80% (T2- 100% ETo), es la reducción de un 20% del agua total.
- Lámina 70% (T3- 100% ETo), es la reducción del 30% del agua necesaria para el cultivar.
- Lámina 60% (T4- 100% ETo), es la reducción del 40% de la totalidad de agua necesaria que necesita el cultivo.

f. Componente de riego

La instalación del sistema de riego de alta frecuencia consistió de una red primaria derivado al reservorio de agua de la FIA, la misma que sirvió como almacén de agua, también tuvo una caseta de control de riego, un equipo de filtrado, válvulas controladoras de presión y caudal. El agua de riego fue bombeada por la red secundaria, esta distribuyo de agua a las unidades experimentales, se derivó con una válvula a la red terciaria finalizando en el arco principal de riego donde se instaló un Venturi de $\frac{3}{4}$, que inyectó fertilizante a los cinco bloques del experimento.

3.4.7. Manejo del riego

La aplicación de las cuatro láminas de riego, se realizó mediante riego localizado de alta frecuencia, considerando frecuencias de dos y un día, dependiendo del desarrollo fenológico y la evapotranspiración. El suministro de riego inicio desde la emergencia de los girasoles hasta el final de la fase de floración (la duración de producción del girasol fue de 64 días). Al término de la fase inicial del cultivo se restringió el riego (día 28), con la finalidad de evaluar el Riego Deficitario sostenido (RDS).

La estimación de la evapotranspiración potencial mm/día (ETo), se calculó por la fórmula del coeficiente del tanque evaporímetro clase "A" y la evaporación diaria.

$$ETo = Kp * Ev$$

Donde:

ETo : Evapotranspiración de referencia [mm día⁻¹]

K_p : Coeficiente del tanque clase “A” [-]

E_v : Evaporación del tanque clase “A” [mm día⁻¹]

Para el coeficiente del tanque clases A (K_p), recomiendan utilizar el factor 0.83 porque se trabajó con un cultivo verde con vientos moderados, (Bornhofen *et al.*, 2015), pero en la investigación se utilizaron datos de velocidad del viento y humedad relativa ya que se contaban con datos de la unidad meteorológica

a. Cálculo de las láminas de riego

Para el manejo del cultivo de girasol, se utilizó el coeficiente de cultivo para determinar el ET_c , se aplicó la fórmula:

$$ET_c = E_{to} * K_c \text{ mm/día}$$

Donde:

ET_c [mm día⁻¹]: Evapotranspiración del cultivo

E_{to} [mm día⁻¹]: Evapotranspiración del cultivo de referencia

K_c : Coeficiente de cultivo

3.4.8. MANEJO DEL FERTIRRIEGO

a. Formulación de los nutrientes

El resultado del análisis del suelo y agua de riego del experimento, arrojaron el déficit en materia orgánica, que nos indicó el bajo contenido de nitrógeno disponible en suelo, por ello se formuló y aplicó la dosis necesaria de nitrato de amonio fraccionado de acuerdo a las etapas fenológicas del girasol:

- Etapa 1: 34 días 30 % de Nitrógeno (N).
- Etapa 2: 26 días 55 % de N.
- Etapa 3: 3 días 15 % N.

Para el periodo de abonamiento de las tres etapas (total 64 días), se realizó el balance nutricional de nitrógeno que fue de 85,49 ppm, con una eficiencia del 60 % del fertilizante; que fueron distribuidas en tres etapas con un total de 142,67 kg de fertilizante para toda la campaña, la etapa inicial 42.8 kg de fertilizante, la etapa media 78 kg y la etapa final con 21 kg de nitrato de amonio por hectárea.

En el área de investigación de 360 m², se utilizó el gotero de salida de 0.001 m³/h con una presión de 0,8 bar, con un caudal total de 2,88 m³/h la presión de entrada fue 0,35 bar, presión de salida fue 0,20 bar, la succión promedio fue 82 lt/h, para las etapas uno se realizó 4 aplicaciones de 375 gr, la segunda etapa se hizo tres aplicaciones de 916 g y la tercera etapa una dosis de 750 gramos respectivamente.

b. Aplicaciones complementarias

Para el estado de emergencia, es decir a los nueve días después de la siembra se hicieron aspersiones foliares con algas marinas y ácidos húmicos con la finalidad de fortalecer al cultivo y así sea asimilable el fósforo disponible en el suelo arable, a razón de 0,5 ml/l. Se realizó dos fertirriegos en los periodos que identificamos como críticos, por el déficit hídrico, porque se observó en el girasol hojas inferiores pálidas acompañado de clorosis intervenal, por ello se inyectó con el equipo Venturi, una solución de sulfato de magnesio a las unidades experimentales, optimizando la molécula de magnesio en los cloroplastos. Además, se realizaron aspersiones al área foliar con micro elementos (Oligomix), para poder obtener un buen botón en consecuencia una excelente calidad del capítulo del girasol.

c. Fuentes de fertilizantes

Los suplementos nutricionales formulados, fueron aplicados con los insumos que se observan en el Cuadro 5, el manejo fue seguido por estrategias agronómicas único para girasoles.

Cuadro 5: Suplementos nutricionales

Fuentes	Fórmula
Nitrato de amonio	34% N
Sulfato de magnesio	MgO 16,0% - S 13,0%
Oligomix	1,6% Mg -2,8% Fe- 2,00% Zn 1,50% Mn- 0,1% Mo - 1,2% B 0,002% C0 0,1% Cu
Extracto de algas	35%; ácidos húmicos 45%; azúcares 13.5%; extractos de levaduras 5.5%; también contiene: bacterias benéficas: <i>Bacillus licheniformis</i> , <i>Bacillus megaterium</i> , <i>Bacillus polymyxa</i> , <i>Bacillus subtilis</i> , <i>Bacillus thuringiensis</i> y <i>Paenibacillus azotofixans</i> .

3.4.9. Controles fitosanitarios

Se aplicó insecticidas para el control de mosca blanca (*Trialeurodes vaporariorum*); minador de la hoja (*Liriomyza trifolii*); áfidos (*Myzus persicae.*); trozadores (*Agrotis sp*). Los productos (ver Cuadro 6) se aplicaron con aleatoriedad y con dosis diferentes para romper la resistencia al producto y así ser más definitivo en la desinfestación el número de aplicaciones.

Cuadro 6: Agroquímicos utilizados

Nombre comercial	Ingrediente activo	Acción fitosanitaria	Control	Dosis	Nº Aplicac.
Antracol	Propineb	Fungicida protectante	Tizón tardío y temprano	1.5-2 g /L	1
Confidor 350sc	Imidacloprid	Insecticida	mosca blanca	0.4-1.2 cc/L	4
Cañón	Cipermetrina	Insecticida	Dípteros en todos sus estados	0.4 – 2.5 cc/ L	6
Lorsban 480	Organofosforado	Insecticida	Afidios - trozador	0.5-3cc/L	4
Agua Oxigenada	Peróxido de hidrogeno	Estimulante Insecticida- fungicida - <u>Bactericida</u>	-	3%	3

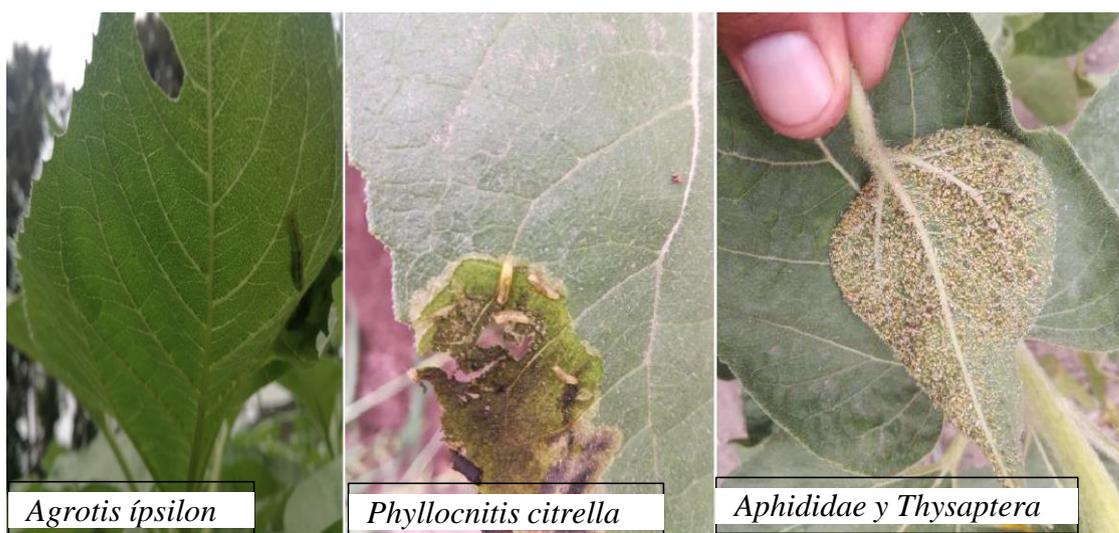


Figura 8: Insectos encontrados en la investigación

3.4.10. Métodos de evaluación y datos tomados

Para la toma de datos de cada parámetro a evaluar de los tratamientos, se consideraron 7 fechas representativas de cada fase fenológica del cultivo de girasol:

- Día 21, final fase de inicio.
- Día 28, inicio de fase de desarrollo.
- Día 43, final de fase de desarrollo.
- Día 45, inicio de fase de botón.
- Día 56 final de base de botón.
- Día 59 inicio de fase de floración.
- Día 64 final de fase de floración.

a. Altura de planta (ap)

Se obtuvo tres muestras por cada unidad experimental del tratamiento, a los 21, 26, 43, 45, 56, 59 y 64 días, las mediciones se realizaron con un flexómetro en centímetros, desde el cuello radicular del tallo hasta la base del capítulo floral (Figura 11).



Figura 9: Cálculo de altura del cultivo de girasol

b. Diámetro de tallo (dt)

Se evaluó el DT, las fechas mencionadas anteriormente, la medida de DT se obtuvo a tres cuartos del tallo, se sacó 3 muestras por bloque de tratamiento, utilizando un calibrador de vernier y la medida se expresó en cm.



Figura 10: Toma de muestra de diámetro del tallo del cultivo de girasol

c. Diámetro ecuatorial del capítulo floral

Se midió el diámetro exterior del capítulo floral, desde el inicio de fase hasta el final de floración (59 y 63 días), se sacó tres plantas de las unidades experimentales de cada tratamiento, se utilizó un calibrador de vernier, como se observa en la Figura 13.



Figura 11: Toma de muestra de diámetro de capítulo del cultivo de girasol

d. Cálculo de ganancia de biomasa seca en el cultivo de girasol

Las muestras se realizaron las mismas fechas que se tomaron las medidas de altura y diámetro de la planta, se evaluó una planta por cada tratamiento, primero se separaron las estructuras por tallos, hojas, raíces y capítulo floral, después se anotó el peso fresco, finalmente fueron secadas a 103°C hasta alcanzar peso constante, durante 48 horas en la estufa de laboratorio de riego de la FIA. El contenido de humedad (CH) se calculó empleando la ecuación siguiente:

$$CH = \left[\frac{\text{peso húmedo} - \text{Peso seco}}{\text{Peso seco}} \right] \times 100$$

Se tomaron los datos del peso fresco y seco, la biomasa se determinó a través de la siguiente ecuación, considerando la metodología propuesta por Ruginitz *et al.* (2009):

$$\% \text{ Biomasa} = \frac{\text{peso húmedo componente (kg)}}{\frac{CH\%}{100}}$$

e. Cálculo de eficiencia del uso de agua en la categorización del capítulo floral en el cultivo de girasol

La eficiencia del uso de agua, se calculó por la relación entre los gramos de biomasa seca (materia seca) y el aporte hídrico, los días considerados fueron los mencionados con anterioridad, la fórmula utilizada fue la propuesta por Salazar *et al.* (2014):

$$EFICIENCIA\ DEL\ USO\ DE\ AGUA\ (g) = \frac{\textit{gramos de biomasa}}{\textit{Litros de agua utilizada}}$$

f. Cálculo de la conductancia estomática de cada fase fenológica en el cultivo de girasol.

Para estimar la conductancia estomática se utilizó un porómetro, primero se calibro el equipo de acuerdo al cultivo y a las condiciones climáticas para obtener de forma automática lecturas de la presión del flujo de vapor sobre la superficie de la hoja de los girasoles, los rangos obtenidos fueron de 0 a 1000 mmol m²s⁻¹, siendo valores menos de 100 mmol m²s⁻¹ estrés hídrico; el manejo del porómetro se hizo a temperaturas que oscilaron entre 30 a 35°C y entre 10 y 70% de humedad relativa (HR), la hora en la que se tomaron las medidas fueron en horas de mayor intensidad solar entre las 10 de la mañana y las cuatro de la tarde. Se tomó tres lecturas por tratamiento, en hojas diferentes, elegidas al azar. Este equipo midió el transporte de humedad del interior del vegetal hacia la atmosfera por medio de las estomas, los mismos que se ubican en el envés de la hoja, el sensor de conductancia estomática se encuentra en la parte inferior de la pinza del equipo por la cual se realizó la medición en el mismo, se tubo cuidado en no tocar la hoja por su sensibilidad al cerrar el organelo, el equipo consta de cinco componentes muy importantes:

- Micro perlas; que transportan el material desecante al momento de agitar la cámara del sensor.
- Agua destilada
- Desecante
- Pinzas

- Papel filtro de calibración

La calibración se realizó encendiendo el equipo, seguidamente se observó el interfaz de acuerdo a las unidades de medida, para después cambiar el material desecante del pozo del sensor, luego se reemplazó con material nuevo sobre el contenedor de la tapa del sensor y se enroscó con eje positivo a la cámara. Posteriormente se programó la calibración en el sistema digital, después se agitó el sensor para disminuir la humedad relativa del terreno experimental, a continuación, se colocó en la pinza del sensor papel filtro humedecido con agua destilada, finalmente se colocó en la cámara contenedora, el equipo mide la calibración de humedad. Este procedimiento se repitió tres veces hasta llegar a un punto de equilibrio menor al 10% de humedad relativa, se concluyó la calibración del equipo porómetro cuando el interfaz indicó calibración completada, posteriormente se procedió a tomar las mediciones.

g. Humedad del suelo

Para el control de humedad del suelo, primero se sacó por única vez muestras con un barreno, para luego secarla en la estufa por 48 horas, finalmente se obtuvo la capacidad de campo, resultado con el cual se calibró el sensor TDR-150, calibrado el sensor se tomaron las medidas para obtener el resultado del contenido de humedad del suelo, se tomaron 3 muestras por tratamiento de bloque.



Figura 12: Toma de muestra de humedad del suelo del cultivo de girasol.

h. Clasificación

Se tomó el Cuadro 7 para clasificar los resultados de los tratamientos y realizar las discusiones, para la comparación se clasificaron de acuerdo a los siguientes grados de calidad:

Cuadro 7: Grados de calidad para el girasol ornamental

Grado	Tamaño del capítulo	Grosor de tallo	Largo de tallo
Selecto	8,1 - > cm	2.0 - > cm	80 - 90 cm
Medium	6,1 - 8.0 cm	1.1 - 1.9 cm	70 - 79 cm
Pequeño	4.5 - 6.0	0.5 - 1.0 cm	60 - 69 cm

FUENTE: Zaguilar (2013)

3.6.11. Labores culturales

Se efectuó las labores culturales de acuerdo al requerimiento del girasol y considerando el estado fenológico del mismo. Las mismas que no se descuidaron porque de estas depende la buena calidad del girasol. Estas labores fueron: Deshierbe, aporcado mínimo, nivelación de las camas, tensado de las cintas de goteo, mantenimiento de las válvulas de cada unidad experimental, limpieza, etc.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. COEFICIENTE DEL TANQUE CLASE A

Para el K_p se utilizó el Cuadro 8 que propone la FAO, tomando en consideración que si en el lugar donde se encuentra el tanque existe disponibilidad de datos de velocidad del viento y humedad relativa, se utiliza para el cálculo del K_p el factor correspondiente.

Cuadro 8: Coeficiente del tanque evaporímetro (K_p), A en diversas condiciones

Caso A: Tanque situado en una superficie cultivada				
VELOCIDAD VIENTO (m/s)	Distancia del cultivo a barlovento	HR media		
		baja < 40	media 40-70	alta > 70
baja < 4	1	0.55	0.65	0.75
	10	0.65	0.75	0.85
	100	0.7	0.8	0.85
	1000	0.75	0.85	0.65
moderada 4-5	1	0.5	0.6	0.65
	10	0.6	0.7	0.75
	100	0.65	0.75	0.8
	1000	0.7	0.8	0.68
Alta > 6	1	0.45	0.5	0.6
	10	0.55	0.6	0.65
	100	0.6	0.65	0.7
	1000	0.65	0.7	0.75
muy alta > 6	1	0.4	0.45	0.5
	10	0.45	0.55	0.6
	100	0.5	0.6	0.65
	1000	0.55	0.6	0.65

FUENTE: FAO (2015)

En el Cuadro 9, se muestran los valores en los que oscilara el coeficiente (K_p) para el uso del tanque clase A, utilizados para el riego del cultivo de girasol (64 días). La primera parte corresponde al 100 % de riego, es decir, sin restricción de agua, desde el día cero de siembra hasta el día 27 considerando que el girasol ya se encontraba en la atapa final

del desarrollo fenológico, después la aplicación del riego deficitario sostenido que inicio desde el día 28 hasta el día 63, las variaciones del Kp en relación a la velocidad del viento y la humedad relativa es clara se encuentra en un rango de 0.75 y 0.65, valores que se utilizaron después para la evapotranspiración potencial.

Cuadro 9: Valores hallados del Kp

Días después de la siembra	Velocidad del viento m/s	Humedad relativa (%)	Distancia del cultivo (m)	Kp
0,00	0	0	0	0
4	4,3	53,25	100	0,75
7	3,8	54,12	100	0,75
10	4,29	54	100	0,75
12	3,72	51,91	100	0,75
14	4,22	54	100	0,75
16	4,14	54,83	100	0,75
18	5,05	54,04	100	0,65
20	4,87	56,58	100	0,75
22	4,53	56,12	100	0,75
24	3,62	57,5	100	0,75
26	4,09	57,04	100	0,75
27	4,54	56,08	100	0,75
Deficitario				
28	4,67	56	100	0,75
30	4,23	56,79	100	0,75
32	4,78	56,45	100	0,75
34	4,01	56,78	100	0,75
36	3,43	53,29	100	0,75
38	5,12	52,66	100	0,65
39	3,55	54	100	0,75
40	3,83	56,9	100	0,75
42	3,65	57,29	100	0,75
44	4,9	55,75	100	0,75
46	4,38	56	100	0,75
48	4,1	53,25	100	0,75
49	5,45	55,08	100	0,65
51	5,23	50,08	100	0,65
53	5,65	49	100	0,65
55	4,34	49,5	100	0,75
57	4,51	50	100	0,75
59	5,23	49,98	100	0,65
61	3,54	50,7	100	0,75
63	5,32	47	100	0,65

4.2. COEFICIENTE DE CULTIVO

Eguren y Pintado (2015) utilizaron en Majes-Arequipa, coeficientes de cultivo (Kc) de girasol en Fase I: 0.4, Fase II: 0.6, Fase III: 1.1, Fase IV: 1.2 y Fase V: 1.10, estos valores fueron acogidos y aplicados en nuestra investigación.

El coeficiente de cultivo que se aplicó en el girasol a los nueve días después de la siembra, para efectos de cálculo de las láminas de riego utilizadas como se muestra en la Figura 14, la fase inicial termina el día 27 días después de la siembra, después de esta, se inició con el riego deficitario sostenido, siguiendo en el proceso vegetativo la fase desarrollo va desde el 22 al día 43, botón al día 56 y la floración al día 64 (Figura 13). Los valores usados para el coeficiente del cultivo (K_c) de nuestro estudio se asemejan a los encontrados por Tenesaca (2018), que reportó en la misma variedad de girasol ornamental, valores de K_c de 1.15 hasta 0.35.

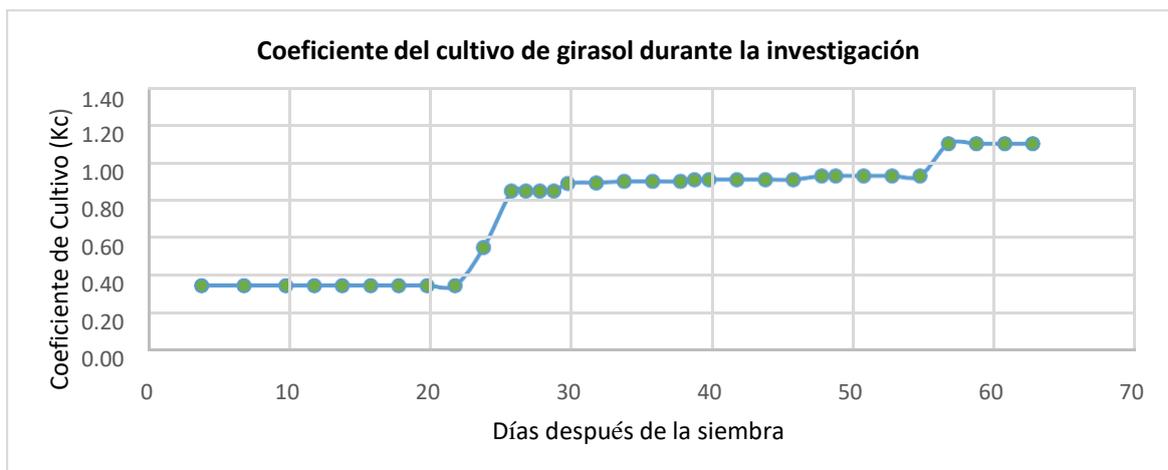


Figura 13: Coeficiente del cultivo de girasol.

4.3. DOSIFICACIÓN HÍDRICA PARA LA CAMPAÑA

En la Figura 15, se observa un diagrama simplificado de la distribución de evaporación efectiva (E_{To}), así como la evapotranspiración del cultivo (E_{Tc}) de girasol en una función dinámica, las dos líneas representan la relación entre ellas.

Se observa también el comportamiento de la E_{Tc} que está relacionada con la del E_{To} , por tanto, las tendencias de la E_{To} y E_{Tc} siguen un mismo patrón de variación influenciado por el clima y las características propias del cultivo de girasol, por ello podemos afirmar que la E_{Tc} varía de acuerdo a la E_{To} y al requerimiento hídrico del estado fenológico.

Se ilustra que en los días 10, 20, 34 y 49 días después de trasplante existe una variación esto se debió al cambio de coeficiente (k_p) a la E_{Tc} a los 59 y 61 días después del trasplante (Figura 14), Álvarez (2011) menciona que desde el inicio del ensayo hasta la semana 6, la evapotranspiración de las plantas va aumentando progresivamente hasta alcanzar el

máximo, luego desciende y se mantiene más o menos una tendencia estable, corroborando las fluctuaciones de ETc y ETo de nuestra investigación.

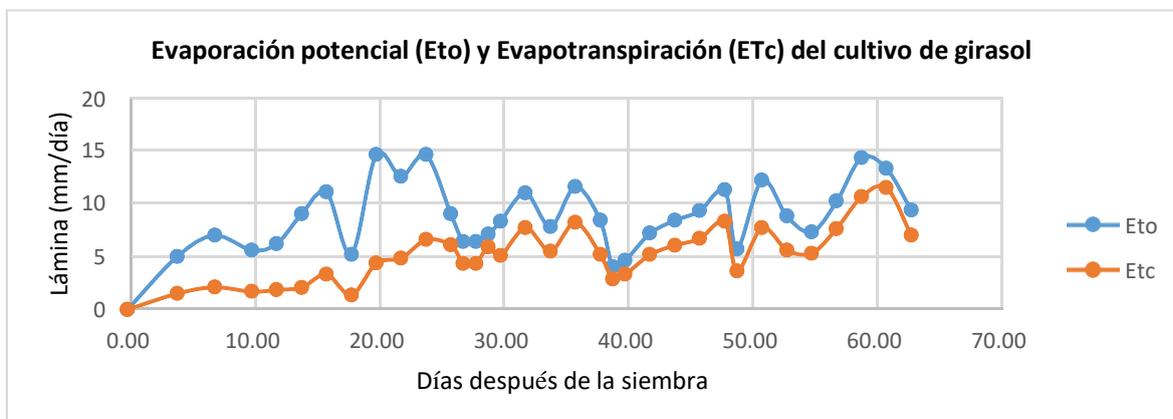


Figura 14: Evaporación potencial (Eto) y Evapotranspiración (ETc) del cultivo de girasol.

La Figura 15, muestra el calendario de la dotación de riego en la investigación, así mismo en el Cuadro 11 se observa, la aplicación de 32 riegos, con una distribución de 12 riegos al 100% uniformemente para las 20 unidades experimentales hasta los 26 días después de la siembra y 19 riegos desde el día 28 después de la siembra, correspondiente a cada tratamiento en la fase experimental con láminas de 100% , 80%,70% y 60%; hasta los 64 días después de la siembra con una frecuencia de riego de 1 día. En la figura 15, se observa también el riego realizado desde la fase inicial uno hasta el final de la fase de floración, después del trasplante se suspendió el riego uniforme al 100% y se estable el riego deficitario sostenido, a los 37 días después del trasplante; se observó un consumo máximo de agua del cultivo de 3.39 litros planta en la lámina de 100%, 3.35 litros con la lámina del 80%, a una temperatura máxima de 26 °C. En el manejo del RDS hubo una disminución de consumo de agua en el día 48 después de la siembra que fue 1.06 litros por planta para el tratamiento del 100%, con estos rangos estuvimos dentro de los valores estimados, corroborando el estudio de Fernández *et al.* (2015) mencionan que, a una temperatura de 26°C, el consumo máximo de agua es de 5 l/planta.

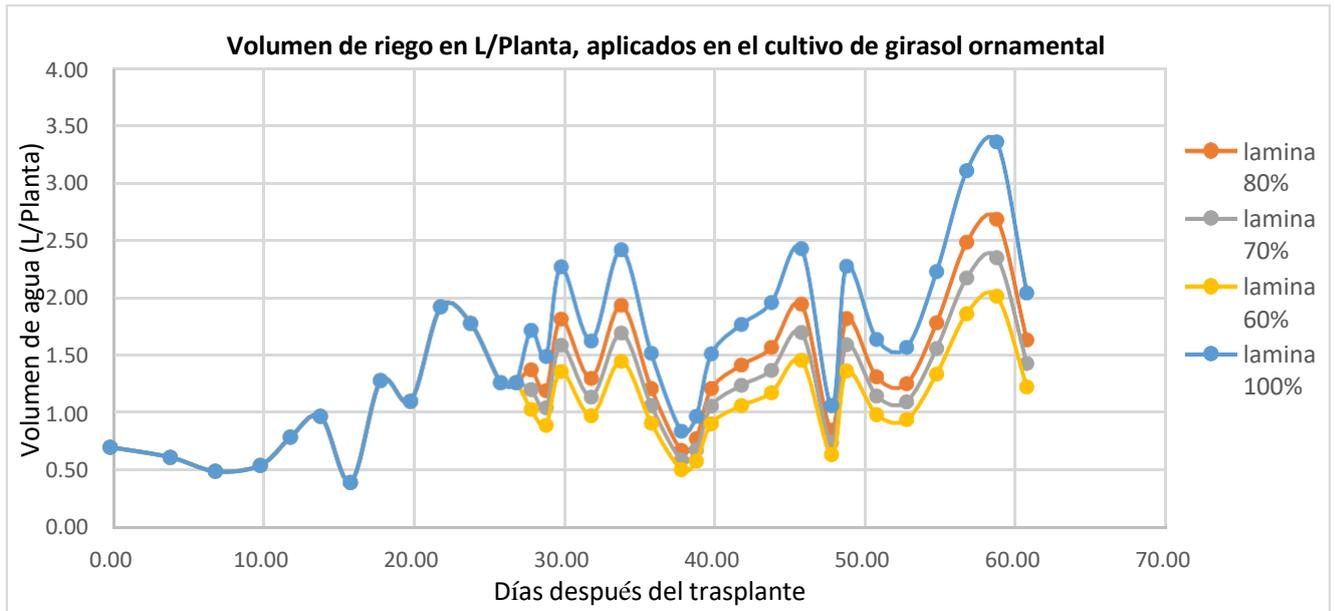


Figura 15: Volumen de riego en L/Planta, aplicados en el cultivo de girasol ornamental.

En el Cuadro 9 se muestra, los tiempos de riego de los diferentes tratamientos hasta los 63 días después de la siembra. El primer riego se realizó de manera intensiva, con un tiempo de 150 minutos y un consumo de agua de 270 m³, con la finalidad de promover la germinación, tomando de base a Miñano (2017), que considera la humedad del suelo, cuando el terreno estaba en capacidad de Campo (cc), se mantuvo una humedad promedio en el perfil de suelo, para bajar la infestación de plagas evitando que afecte el desarrollo normal del girasol. Al día 9 se observó más del 90 % de la emergencia y se realizó un riego el cual fue calculado con el tanque evaporímetro y el kc de referencia para el estado fenológico. Finalmente se observa la programación de riego (Cuadro 10). Finalmente se aprecia que la cantidad total de agua por cada tratamiento fue de: 49.63, 42.07, 38.29 y 34.51 l/planta, para las láminas 100, 80, 70 y 60 % respectivamente.

Cuadro 10: Calendario de riego para las cuatro láminas de tratamientos

Lámina 100% (L/planta)	Acumulado (L/planta)	Lámina 80% (L/planta)	Acumulado (L/planta)	Lámina 70% (L/planta)	Acumulado (L/planta)	Lámina 60% (L/planta)	Acumulado (L/planta)
0	0,00	0	0,00	0	0,00	76,28	0
0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
0,61	1,32	0,61	1,32	0,61	1,32	0,61	1,32
0,49	1,81	0,49	1,81	0,49	1,81	0,49	1,81
0,54	2,35	0,54	2,35	0,54	2,35	0,54	2,35
0,79	3,14	0,79	3,14	0,79	3,14	0,79	3,14
0,97	4,11	0,97	4,11	0,97	4,11	0,97	4,11
0,40	4,51	0,40	4,51	0,40	4,51	0,40	4,51
1,28	5,79	1,28	5,79	1,28	5,79	1,28	5,79
1,10	6,89	1,10	6,89	1,10	6,89	1,10	6,89
1,92	8,81	1,92	8,81	1,92	8,81	1,92	8,81
1,78	10,59	1,78	10,59	1,78	10,59	1,78	10,59
1,26	11,85	1,26	11,85	1,26	11,85	1,26	11,85
1,72	13,56	1,37	13,22	1,20	13,05	1,03	12,88
1,49	15,05	1,19	14,41	1,04	14,09	0,89	13,77
2,27	17,32	1,81	16,23	1,59	15,68	1,36	15,13
1,63	18,95	1,30	17,53	1,14	16,82	0,98	16,11
2,42	21,36	1,93	19,46	1,69	18,51	1,45	17,56
1,52	22,88	1,21	20,67	1,06	19,57	0,91	18,47
0,84	23,72	0,67	21,35	0,59	20,16	0,51	18,97
0,97	24,69	0,77	22,12	0,68	20,84	0,58	19,55
1,51	26,20	1,21	23,33	1,06	21,89	0,91	20,46
1,77	27,97	1,41	24,74	1,24	23,13	1,06	21,52
1,96	29,93	1,57	26,31	1,37	24,50	1,17	22,70
2,43	32,36	1,94	28,25	1,70	26,20	1,46	24,15
1,06	33,42	0,85	29,10	0,74	26,95	0,64	24,79
2,27	35,69	1,82	30,92	1,59	28,54	1,36	26,15
1,64	37,33	1,31	32,23	1,15	29,68	0,98	27,14
1,57	38,90	1,25	33,49	1,10	30,78	0,94	28,08
2,23	41,12	1,78	35,27	1,56	32,34	1,34	29,41
3,10	44,23	2,48	37,75	2,17	34,51	1,86	31,28
3,35	47,58	2,68	40,44	2,35	36,86	2,01	33,29
2,04	49,63	1,63	42,07	1,43	38,29	1,23	34,51

Por ello el consumo por hectárea fue para la lámina de 100% es de 2481 m³, 80% es de 2103 m³, 70 % es de 1914m³ y 60% es de 1710 m³

4.4. MANEJO DE HUMEDAD

La humedad estuvo en rangos de 19 a 39 % para el suelo, esta fue calculada usando la sonda del sensor TDR modelo 150, los valores hallados se observan en la Figura 16. Se consiguieron en la fase inicial parámetros de 28 % de humedad volumétrica, así mismo se hallaron temperaturas de hasta 35°C los días 28 y 63 días, se registraron temperaturas más

altas, a medida que el RDS avanzaba, esto es debido a que el suelo sufre disminución de humedad en las láminas de 60 y 70 %, estos datos se acentuaron al día 42 después de la siembra, mostrando así el porcentaje absoluto de humedad y el punto de marchitez, por consecuencia se repuso el agua. Tomando en consideración los riegos programados (Cuadro 10).

La aplicación de riego con la lámina de 100 %, presentó el mayor contenido de humedad en el suelo en la campaña, seguido por la lámina de 80, 70 y 60 %, debido a que el riego con 100 % es agua útil.

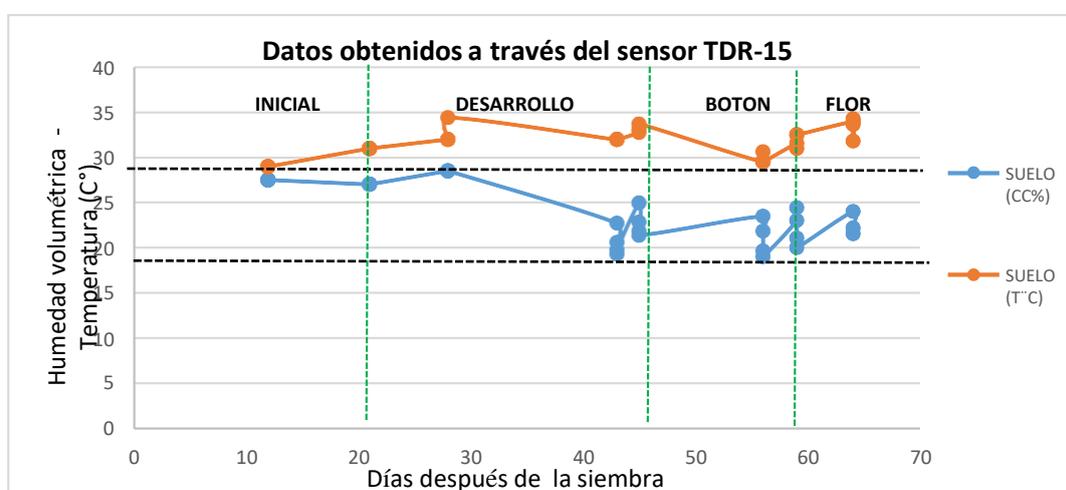


Figura 16: Datos obtenidos a través del sensor TDR-15.

4.5. EFECTO DEL RIEGO DEFICITARIO SOSTENIDO EN EL DESARROLLO DEL CULTIVO DEL GIRASOL EN LOS COMPONENTES DE ALTURA DEL CULTIVO, DIÁMETRO DE CAPITULO Y DEL TALLO EN CADA UNA DE LAS ETAPAS FENOLÓGICA

En esta sección se observan los resultados obtenidos para el primer objetivo planteado, considerando los componentes de altura del cultivo, diámetro de capítulo y diámetro de tallo, los datos tomados fueron en las 7 etapas fenológicas.

4.5.1. Altura del girasol

En el Cuadro 11 y Figura 17, se muestran los resultados obtenidos por la comparación de medias con la prueba de Tukey, del efecto que tienen las 4 láminas de riego (100%, 80%, 70% y 60%), sobre la altura del girasol (cm), resultado obtenido a través de la medición del flexómetro, se observan las medias y el error estándar de la altura de los girasoles con una probabilidad de 5 % ($P < 0.05$), la lámina del 80 y 100 % muestran valores promedios superiores a las otras dos láminas, indicando que ambas láminas causan el mismo efecto para la altura en el girasol.

Con la aplicación de riego al 70 y 60 % se observan valores similares, que nos indica que ambas láminas de riego son iguales.

Cuadro 11: Altura del tallo del girasol (cm) en función de los tratamientos con riego

Tratamiento	Media \pm EE	Sig.
Lámina 100%	97.73 \pm 2.77	a
Lámina 80%	100.15 \pm 2.65	a
Lámina 70%	87.92 \pm 2.14	b
Lámina 60%	85.45 \pm 2.18	b

La Figura 17, ilustra el desarrollo en longitud de la planta del girasol, tomando el promedio de los días en desarrollo, con respecto a los tratamientos de agua, se observa diferencias en cada una de las láminas de riego aplicadas, los mejores resultados se obtuvieron en la aplicación de la lámina del 100 y 80 por ciento, cuyas plantas se desarrollaron de mejor manera por las mejores condiciones para el desarrollo crecieron más vigorosamente, lo que se reflejaron a la cosecha de la flor de girasol, tomando en consideración lo mencionado por CCB (2015), que la longitud de altura superior a 60 cm tienen un grado de selecto, fancy de 50 a 59 cm, standart de 40 a 49 cm, corroborando también lo afirmado por SAKATA (2016), que indica que la altura de los tallos florales del cultivar Pollenless Sunbright varía de 100 a 150 cm.

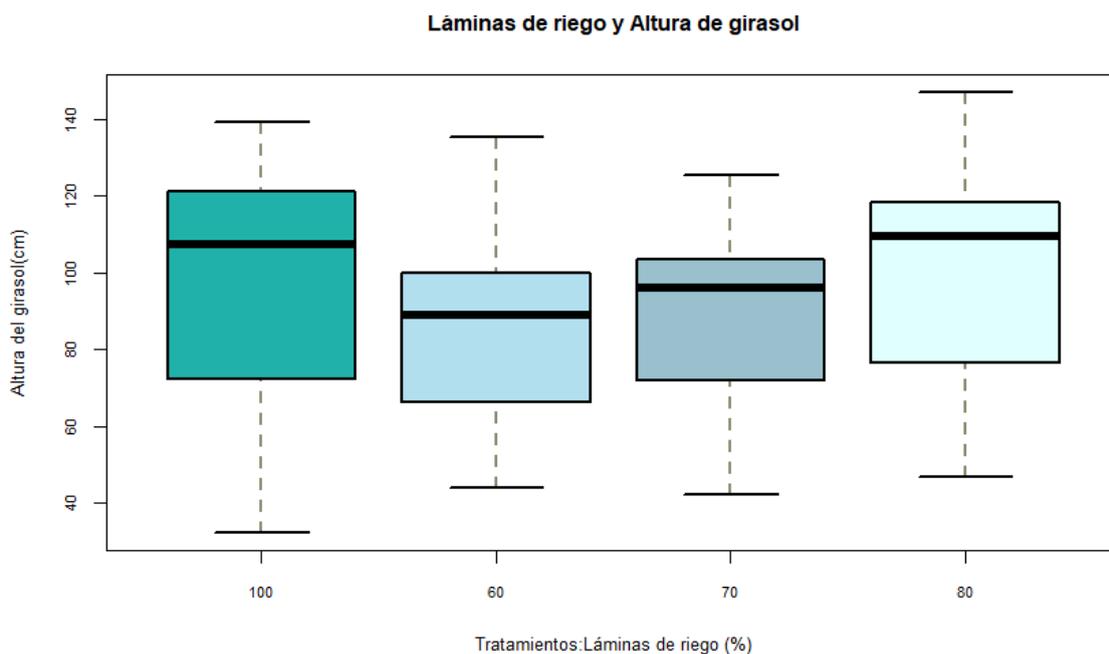


Figura 17: Promedio de la altura del cultivo de girasol en centímetros de los 4 tratamientos.

4.5.2. Diámetro tallo

Cuadro 12: Diámetro del tallo del girasol (cm) en función de los tratamientos con riego

Tratamiento	Media ± EE	Sig.
Lámina 100%	1.33 ± 0.02	a
Lámina 80%	1.28 ± 0.02	ab
Lámina 70%	1.24 ± 0.02	b
Lámina 60%	1.15 ± 0.02	c

En el Cuadro 12 y Figura 18, se muestran los resultados obtenidos por la comparación de medias con la prueba de Tukey, del efecto que tienen las 4 láminas de riego, sobre el diámetro del tallo del girasol (cm), resultado obtenido a través de la medición con el pie de rey, se observan las medias y el error estándar de la altura de los girasoles con una probabilidad de 5 % ($P < 0.05$), la lámina del 100 y 80 % muestran ser iguales, y esta última a su vez muestra ser igual al riego del 70 %.

En cambio, con la aplicación de riego del 60 % se observa que el promedio obtenido es diferente de las otras tres láminas de riego.

La Figura 18, representa el comportamiento del crecimiento del diámetro del tallo cultivo de girasol que fue similar hasta el día 28, al restringir el contenido de agua por el RDS se

muestran diferencias significativas, en donde los mayores diámetros con respecto a la lámina del 80 y 100 % fueron las mejores, cuyas plantas al obtener la suficiente hidratación, dieron los mejores resultados en este parámetro a la cosecha de la flor. Cardenes (2005) indica que las plantas ornamentales de girasol cultivadas en hidroponía también tienen un diámetro de tallo mayor (13 cm) que las cultivadas en el sistema convencional (8 cm), resultados que se asemejan a los encontrados en nuestra experimentación.

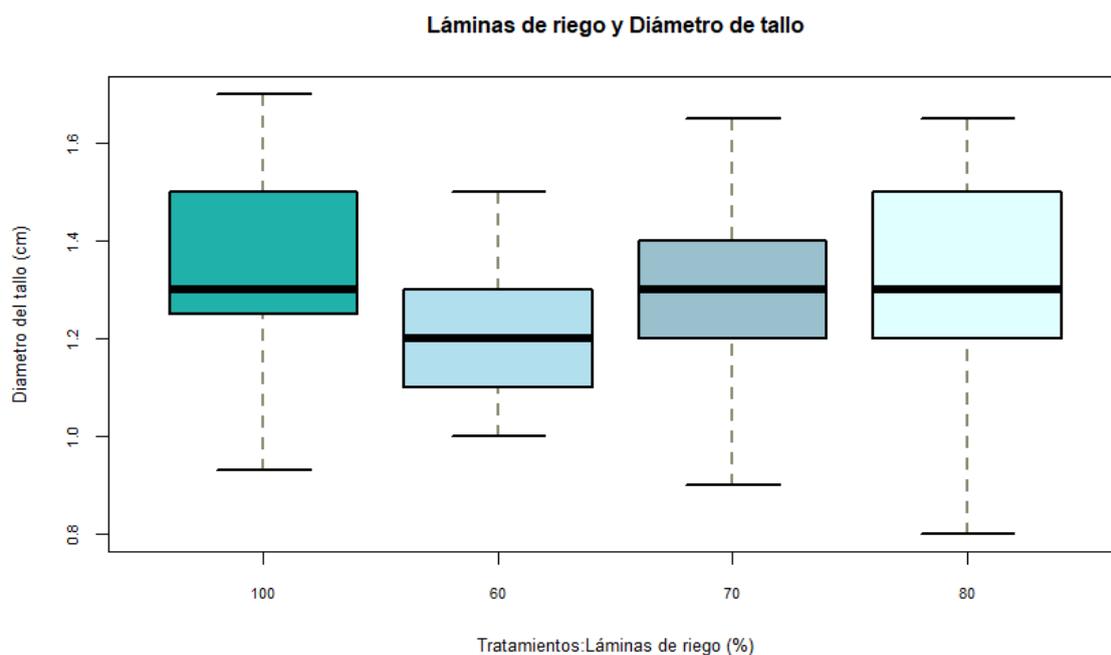


Figura 18: Promedio del diámetro del tallo del cultivo de girasol en centímetros en los 4 tratamientos.

4.5.3. Diámetro capítulo floral

Cuadro 13: Diámetro del capítulo floral del girasol (cm) en función de los tratamientos con riego

Tratamiento	Media ± EE	Sig.
Lámina 100%	8.78 ± 0.58	a
Lámina 80%	8.84 ± 0.56	a
Lámina 70%	7.90 ± 0.48	b
Lámina 60%	7.38 ± 0.47	b

En el Cuadro 13 y Figura 19, se muestran los resultados obtenidos por la comparación de medias con la prueba de Tukey, del efecto que tienen las 4 láminas de riego, sobre el diámetro del capítulo del girasol (cm), resultado obtenido a través de la medición con el pie de rey, se observan las medias y el error estándar de la altura de los girasoles con una

probabilidad de 5 % ($P < 0.05$), las láminas del 100 y 80 % son iguales para el crecimiento del capítulo, en comparación a las láminas del 70 y 60 %, lo que indica que se puede aplicar tanto la lámina del 100 y 80 % para el riego considerando la clasificación mencionada en la metodología. Se podría utilizar las otras dos láminas siempre y cuando se acepten en el mercado, porque los capítulos florales son lo más importante en cuanto a plantaciones de girasol ornamental.

Tomamos en consideración lo reportado por Pérez *et al.* (2004), que obtuvieron promedios de capítulo floral máximo de 19 cm y min 17 cm. La Figura 19, ilustra el comportamiento del capítulo floral del girasol en relación a las 4 láminas de riego mostrando que el diámetro de los frutos fue significativamente mayor en los tratamientos 100 y 80 % este último con mayor diámetro especialmente a partir del día 59 después de la siembra, por lo que los diámetros superaron a la lámina del 60 %.

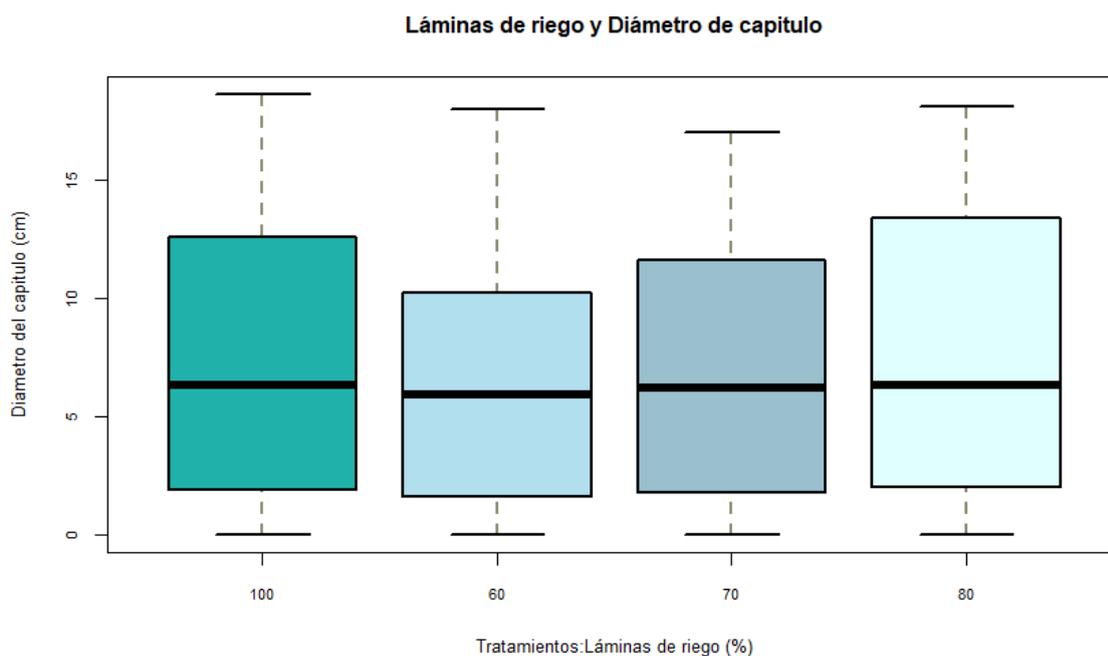


Figura 19: Promedios del diámetro de capítulo floral del cultivo de girasol en centímetros en los 4 tratamientos.

4.6. GANANCIA DE BIOMASA SECA POR EFECTO DEL RIEGO DEFICITARIO SOSTENIDO

En el Cuadro 14 y Figura 20, se muestran los resultados obtenidos por la comparación de medias con la prueba de Tukey, del efecto que tienen las 4 láminas de riego, sobre la biomasa seca en el girasol (g/l), resultado obtenido a través de la fórmula de biomasa mencionada en la metodología, se observan las medias y el error estándar de la altura de los girasoles con una probabilidad de 5 % ($P < 0.05$), las láminas del 100 y 80 % son iguales para producción de biomasa seca.

Cuadro 14: Biomasa seca del cultivo de girasol (g/l)

Tratamiento	Media \pm EE	Sig.
Lámina 100%	366.91 \pm 36.72	a
Lámina 80%	372.83 \pm 37.05	a
Lámina 70%	293.34 \pm 24.07	b
Lámina 60%	296.54 \pm 32.91	b

Las láminas de riego de 70 y 60 % muestran el mismo efecto para la producción de biomasa seca, por ello se puede afirmar que la determinación del uso de estas láminas será a criterio tomando en cuenta que a más biomasa seca en el cultivo existirá más tiempo de vida en el florero.

Los valores menores de biomasa total en los tratamientos con bajos niveles de humedad se atribuyen a una disminución del potencial de turgencia y cierre de estomas, debido a la baja humedad del suelo y potencial hídrico más negativo, lo que provoca que las diferencias en la presión de turgencia generen un área foliar menor para plantas cultivadas bajo sequía, según lo reportado por Jiménez *et al.* (2008).

a. Peso húmedo

La Figura 20, muestra el peso húmedo desde el día 12 hasta el 63 del cultivo de girasol, se observa dos relaciones claramente diferentes, las de las láminas del 100 y 80 %, este último no difiere al riego de 100 %, las aplicaciones de riego de 70 y 60 %, muestran valores menores a los otros dos ya mencionados, la explicación se basa en las diferentes aplicaciones de la cantidad de agua proporcionada entre láminas, además de la variedad del peso húmedo y el tipo de manejo al que han sido sometidos. Al analizar el comportamiento de mayor peso es el día 63, con un peso de 793 g en la lámina de reducción del 20%. Ion *et al.* (2014), obtuvieron mejor rendimiento de biomasa fresca con Pro 111

híbrido un total de 63.54 toneladas ha⁻¹(1000g/planta) de biomasa fresca y 13,84 toneladas dehectáreas de biomasa seca.



Figura 20: Peso húmedo

En la Figura 21, se observa la materia seca de las hojas tallo y raíz de los girasoles. En un rango máximo de 27 gramos (lámina del 100 %) por planta y un mínimo de 23 gramos (lámina del 60% %) de materia seca por planta. Asimismo, se observa que al día 60 después de la siembra hay muestras entre los tratamientos del 60 y 70 % donde la biomasa seca converge, que nos indica que no existe diferencia.

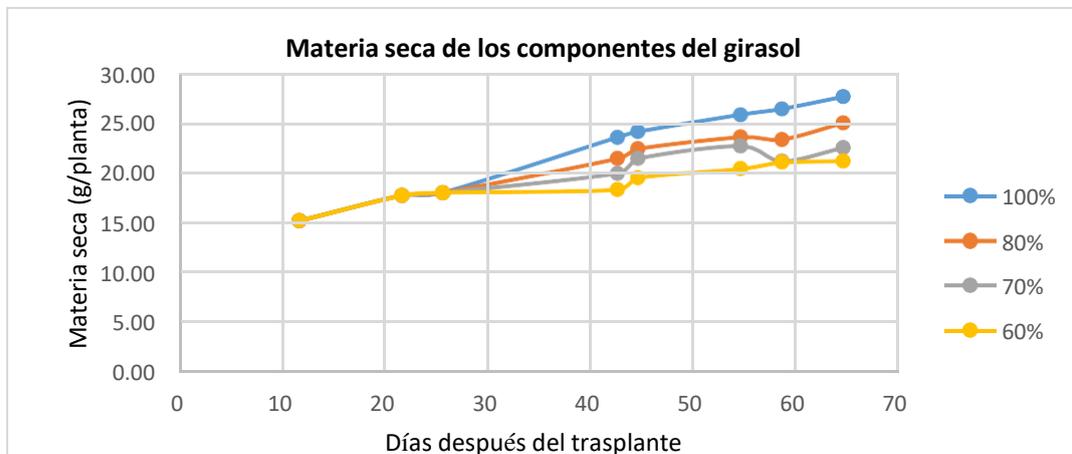


Figura 21: Materia seca de los componentes del girasol.

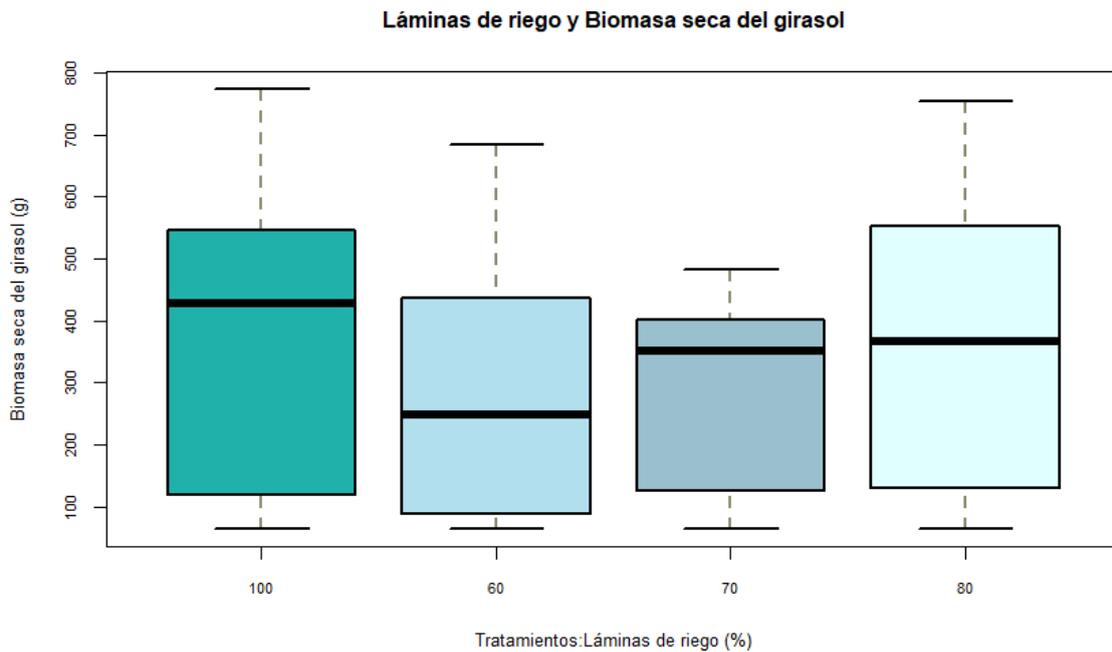


Figura 22: Promedio de Biomasa seca.

4.7. Eficiencia del uso del agua en el cultivo de girasol

Cuadro 15: Eficiencia del uso de agua en el girasol (g/l)

Tratamiento	Media ± EE	Sig.
Lámina 100%	11.63 ± 0.59	b
Lámina 80%	13.29 ± 0.71	a
Lámina 70%	11.69 ± 0.41	b
Lámina 60%	12.00 ± 0.77	a

En el Cuadro 15 y Figura 23, se muestran los resultados obtenidos por la comparación de medias con la prueba de Tukey, del efecto que tienen las 4 láminas de riego (100%, 80%, 70% y 60%), sobre la eficiencia del uso del agua (g/l), resultado obtenido a través de la fórmula para estimar la eficiencia en relación a la biomasa seca producida, se observan las medias y el error estándar de la conductancia estomática de los girasoles con una probabilidad de 5 % ($P < 0.05$). Se observa que el tratamiento del 80 y 60 % son iguales para el uso eficiente del agua, es decir, usan menor agua, esto se da por el origen del girasol al ser un vegetal que se desarrolla naturalmente en ambientes extremos es más eficiente del agua ya que produce más materia seca por mililitro de agua transpirada así lo corrobora INTAGRI, (2019) cuando menciona La eficiencia del uso de agua (EUA), se define por la

relación entre los gramos de agua transpirados por un cultivo y los gramos de materia seca producidos. Las especies más eficientes en el uso de agua producen más materia seca por gramo de agua transpirado. Es de destacar que los cultivos difieren en su capacidad para extraer agua, de acuerdo a su metabolismo, la arquitectura de sus hojas, y el momento del ciclo de crecimiento.

La aplicación de riego al 100 y 70 % son igual de eficientes con el uso de agua, pero con valores más alto de litros agua para producir biomasa seca también tiene una buena conductancia estomática, fue superior al riego de 70 y 60 %.

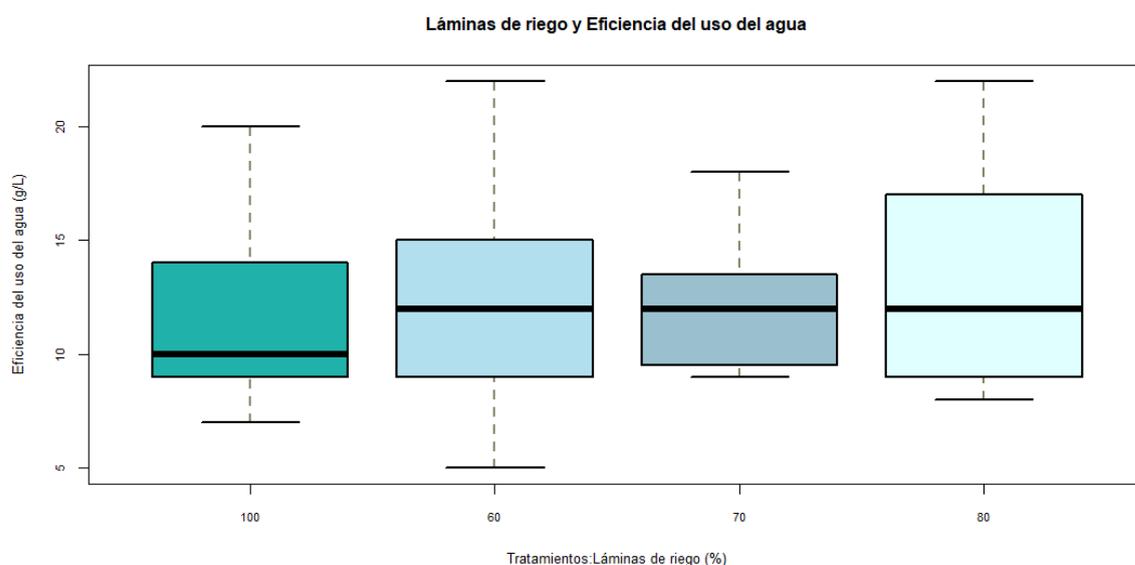


Figura 23: Promedio de la eficiencia del uso de agua en el girasol (g/L).

4.8.CONDUCTANCIA ESTOMÁTICA EN CADA FASE FENOLÓGICA DEL CULTIVO DE GIRASOL, CON EL EFECTO DEL RIEGO DEFICITARIO SOSTENIDO.

En el Cuadro 16 y Figura 24, se muestran los resultados obtenidos por la comparación de medias con la prueba de Tukey, del efecto que tienen las 4 láminas de riego (100%, 80%, 70% y 60%), sobre la conductancia estomática ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), resultado obtenido a través del porómetro, se observan las medias y el error estándar de la conductancia estomática de los girasoles con una probabilidad de 5 % ($P < 0.05$). Se observa que el tratamiento de 100 % es el que muestra mejor conductividad estomática, en comparación al resto de tratamientos, esto se debe a que no se aplicó el riego deficitario sostenido existiendo una humedad óptima en el perfil del suelo las plantas de girasol.

Cuadro 16: Conductancia estomática ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) en la hoja del girasol (*Helianthus annuus*) medida al medio día (horas de mayor intensidad solar), en función de los tratamientos con riego sostenido

Tratamiento	Media \pm EE	Sig.
Lámina 100%	619.47 \pm 15.68	a
Lámina 80%	494.20 \pm 16.10	b
Lámina 70%	446.64 \pm 16.59	c
Lámina 60%	442.20 \pm 17.86	c

La aplicación de riego al 80 % también tiene una buena conductancia estomática, fue superior al riego de 70 y 60 %, estos a su vez fueron iguales, considerando la campaña del girasol (63 días) se afirma que el cultivo no llegó al déficit hídrico, por ello los valores de conductancia estomática para ambas aplicaciones de riego fueron óptimas.

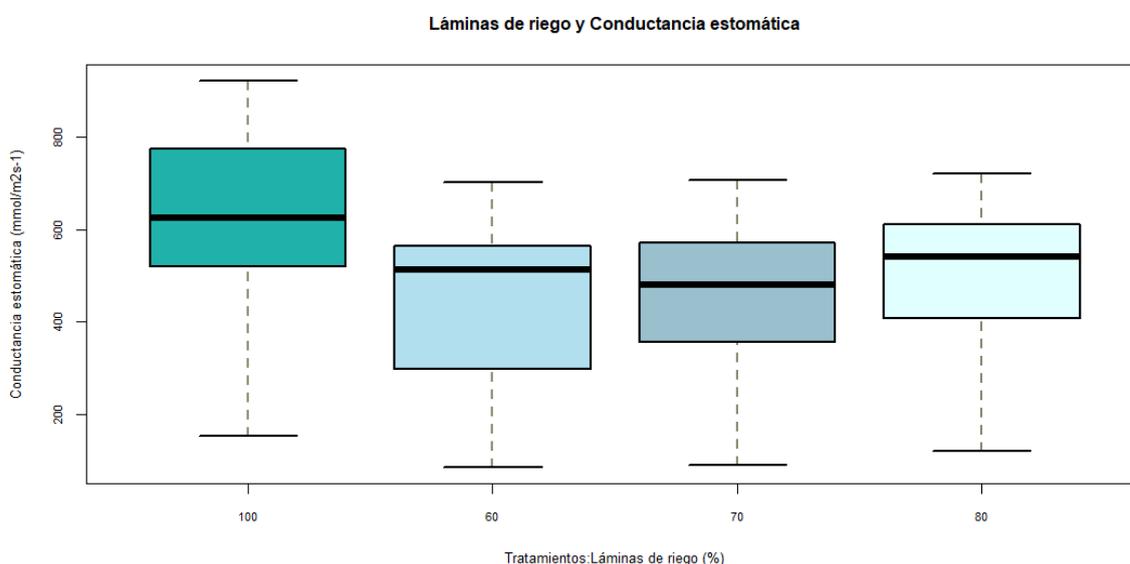


Figura 24: Distribución de la conductancia estomática.

Jiménez *et al.* (2015), encontraron que las plantas de girasol sometidas a un estrés por sequía y a una radiación de $750 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ presentaron un aumento en la disipación de energía en forma de calor, esto puede permitir al cultivo mantener una elevada tasa fotosintética y una alta productividad, resultado que fue similar por los reportados en esta investigación.

V. CONCLUSIONES

- Se evaluó el efecto del riego deficitario sostenido en el desarrollo del cultivo del girasol para los cuatro tratamientos en relación a los componentes de altura, diámetro de capítulo y de tallo en cada una de las etapas fenológicas, obteniendo con el tratamiento de la lámina de riego de 80 %, alturas promedio de 100.15 cm, diámetro de tallo promedio 1.28 cm y diámetro de capítulo promedio 8.84 cm, resultados similares al tratamiento de 100 %; en cuanto al tratamiento del 60 % se obtuvo valores menores en altura 85.45 cm, diámetro de tallo y capítulo de 1.15 cm y 7.38 cm respectivamente. Las láminas de 100% y 80% tuvieron un comportamiento similar, pero mostraron diferencias estadísticas significativas frente a los tratamientos con láminas de riego de 70% y 60%.
- Se determinó la ganancia de biomasa seca por efecto del riego deficitario sostenido con el que se identificó que tratamiento fue mejor en cuanto a ganancia de biomasa seca, siendo los tratamientos con las láminas de riego de 80 % y 100 % más eficientes con 372.83 y 366.91 g/l respectivamente ($P < 0.05$), seguido de las láminas de 70 % y 60 % con 293.34 y 296.54 g/l respectivamente ($P < 0.05$), relacionando a mayor peso de biomasa seca mayor vida post cosecha.
- Se determinó la eficiencia del uso del agua en el cultivo de girasol para identificar con que lámina se logró mejor eficiencia de uso de agua, siendo los tratamientos de 80 % y 60 % más eficientes con 13.29 y 12.00 g/l respectivamente ($P < 0.05$), seguidos de los tratamientos de 100 % y 70 % con 11.63 y 11.69 g/l respectivamente ($P < 0.05$), concluyendo que a menor uso de agua se puede obtener parámetros de calidad alta de la flor.
- Se determinó la conductancia estomática en cada fase fenológica del cultivo de girasol, con el efecto del riego deficitario sostenido, encontrando que los tratamientos muestran

- valores diferentes entre las láminas de riego de 100 % y 80 %, con excepción de los tratamientos de 70 % y 60 %, que muestran valores promedios estadísticamente iguales de 446.64 y 442.20 mmol m² s⁻¹ (P<0.05). Concluyendo que las cuatro láminas de riego muestran buena conductancia para el cultivo de girasol, lo que indica que tienen una excelente respuesta para el estrés hídrico, esto se produjo por el riego de alta frecuencia ya que las plantas estuvieron hidratadas especialmente en las horas de mayor transpiración al cultivar.
- Se produjo mayor peso fresco con las láminas de riego del 100 % y 80 %, este último no difiere al riego de 100 %, las aplicaciones de riego de 70 % y 60 %, muestran valores menores a los otros dos ya mencionados, debido a las diferentes aplicaciones de la cantidad de agua proporcionada entre láminas, además del tipo de manejo al que fueron sometidos.
- En relación con las características fenológicas como intensidad de color, vistosidad, elegancia del capítulo floral y grosor de tallo, se concluye que es mejor con el ahorro hídrico de 20 % en comparación a las láminas de riego de 100 %, 70 % y 60%.
- Después de analizar y evaluar los cuatro parámetros planteados, se concluye que (suprimir) el mejortratamiento fue con el riego deficitario del 80 %, debido a que alcanzó valores promedios deseables en cuanto altura, diámetro de tallo y capítulo, además que fue el más conveniente con respecto al resto de parámetros medidos en cada objetivo.
- En cuanto a la pos cosecha se concluye que en los tratamientos con mayor acumulación de biomasa seca (láminas de riego de 100 % y 80 %) mostraron una mejor eficiencia metabólica, lo que se relaciona con el incremento de la absorción de agua por ende mayor transpiración que se refleja en más durabilidad en florero.

VI. RECOMENDACIONES

Se recomienda proseguir la investigación:

- Tomando como criterio para el riego la humedad del suelo con tensiómetro y la apertura de las estomas mediante el porómetro durante todo el periodo vegetativo del cultivo.
- Realizar una comparación entre riego deficitario controlado y riego deficitario sostenido con planes de fertilización a base de potasio, calcio y magnesio en los estados más críticos del cultivo.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agir. 2014. Lejos del rendimiento potencial. Los desafíos del girasol pampeano. Asociación Argentina del girasol. <[http://www. agro digital. Com/PIArStdasp](http://www.agrodigital.com/PIArStdasp)>. (Fecha de consulta: 15 de septiembre de 2018).

Alba, A., Llanos, M. 1990. El cultivo del girasol. Ediciones Mundiprensa Quito-Ecuador

Alessi, J., Power, J.F. y Zimmerman, D. 1977. Sunflower yield and water use as influenced by planting date population and row spacing. *Agronomy Journal*, 69: p. 465-469

Altiplano. 2015. Prácticas de hidroponía. En línea. Consultado el 16 de Mayo 2018 Disponible en: [http://www.altiplano.uvg.edu.gt/cdr/practica/2008/Hidroponia/Tecnicos/hid%20tec/puno -Perú](http://www.altiplano.uvg.edu.gt/cdr/practica/2008/Hidroponia/Tecnicos/hid%20tec/puno-Peru)

Álvarez, S. 2011. Riego deficitario en distintas etapas del desarrollo de plantas ornamentales cultivadas en maceta. 260. <https://core.ac.uk/download/pdf/60425883.pdf>.

Álvarez, S. 2010. Riego deficitario en distintas etapas del desarrollo de plantas ornamentales cultivadas en maceta. Tesis de Grado. Cartagena, España p.10

Arcila, J. 2008. “Densidad de siembra y Productividad de los Cafetales”. Colombia. [Fecha de consulta: 16 de septiembre de 2018

Arévalo, J., Vélez, J., y Camacho, J. 2013. Uso eficiente del agua para el cultivo de rosa cv. Freedom bajo invernadero. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.17, n.8, p.811–817

Boyer, J. S. 1968. Relationship of water potencial to growth of leaves. *Plant physiol.*, 43: p. 1056-1

Cáceres López, J. M. 2017. Determinación del coeficiente (kc) para el cultivo de pprika (*Capsicum annum* L.) var. "Papri Queen" bajo condiciones de la irrigación majes.[http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/1783/AGsiropc.pdf?sequence= 1&isAllowed=y](http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/1783/AGsiropc.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

Calle, K. y Proaño, J. 2015. Determinación de la curva de retención de humedad para los principales tipos de suelo de la península de Santa Elena, provincia de Guayas. Ecuador. X Congreso ecuatoriano de la ciencia del suelo. Disponible en: <http://www.secsuelo.org/wp-content/uploads/2015/06/7.-Determinacion-Curva.pdf>

Cárdenas, J. 2005. Riego Deficitario Controlado. Disponible en: <https://es.linkedin.com/in/juan-b-c%C3%A1rdenas-morales-2b9b15110>

CCB (Cámara de comercio de Bogotá). 2015. Manual Flores y Follajes. Disponible en: http://www.cooperativaacor.com/extra/descargas/des_12/PUBLICACIONES/OtrosCultivos-I/Girasol/2-AG-3.pdf.

Collaguazo, Y. y Toapanta, F. 2012. Evaluación agronómica del cultivo de girasol ornamental (*Helianthus annuus*) variedad Sunbright a la fertilización combinada química y orgánica en la parroquia Checa, provincia de Pichincha. Tesis de pregrado. Universidad Estatal de Bolívar. Guaranda-Ecuador. 131 p

Cregg, B. M. 2004. Improving drought tolerance of trees: Theoretical and practical considerations. *Acta Hort.* 630: 147-156.

Del Valle, L. 1987. El cultivo moderno del girasol. Editorial De Vecchi. Madrid-España, p. 482

Dubbelde, E. A., Harris, H.C. y McWilliams, J.R. 1982. Water requirement of sunflower in a semiarid environment. 10th. International Sunflower Conference. Surfers Paradise. Australia, p. 26-65

Eguren, F. y Pintado, M. 2015. Contribución De La Agricultura Familiar Al Sector Agropecuario. Perú. Lima .pg 12-19

Engelbrecht, B. M. J. 2001. Drought resistane in seedlings of 28 tropical woody plant species. Euro-Workshop: Functional Groupings of Tropical Trees. Netherlands.

FAO. 2015. El Estado Mundial De La Agricultura Y La Alimentación. La Innovación En Agricultura Familiar. Roma - Italia

FAO. 2015. Estudio FAO Riego y Drenaje-56. Pag 45(1), 46–55. <https://doi.org/10.1590/1983-40632015v4529143>

Farooqi, A. H. A., Shukla Y. N., Sharma S., and Bansal R. P. 1994. Relationship between gibberellin and cytokinin activity and flowering in *Rosa damascena* Mill. *Plant Growth Regulat.* 14: 109-13

Fernández, J.E., Romero, R., Pérez, A., Cuevas, V. 2015. Estrategias y programación del riego. Sevilla. Disponible en: <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Gliessmanstephen, R. 2007. Agroecology The Ecology Of Sustainable Food Systems, Editorial Crc Press, (Boca Raton, London, New York) Primera Edición Costa Rica.

Haeff, V. 1997. “Horticultura”. Editorial Trillas. 2da. Edición Sexta Reimpresion. Mexico. <http://lan.inea.org:8010/web/materiales/web/riego/anuncios/trabajos/Riego%20deficitariid.pdf>

Ibañez, J.J. 2008. Temperatura del suelo y microclimatología. Pag 1-8. Disponible en: <https://www.madrimasd.org/blogs/universo/2008/01/21/82825>.

Iberica S.L. 2016. Medidor de humedad DR-TWIST. Retrieved from <https://twilight.mx/ficha-tecnica/DR-TWIST-71-DR-TWIST.pdf>

INFOAGRO. 2010. (Fecha de consulta: 15 septiembre de 2018). Disponible en: <http://www.infoagro.com/herbaceos/oleaginosas/girasol.htm>

Ion, V., Dicu, G., Dumbrava, M., Basa, A., Temocico, G., y Epure, D. 2014. Results regarding biomass yield at sunflower under different planting patterns and growing conditions. Series A. Agronomy, LVII(September), 205–210.

INTAGRI. 2019. (Fecha de consulta: 17 septiembre de 2018). Disponible en: <https://www.intagri.com/articulos/agua-riego/la-eficiencia-uso-agua-plantas>.

Jiménez, S. C., Alvarado, O. H., & Balaguera, H. E. 2015. Fluorescencia como indicador de estrés en *Helianthus annuus* L. A review. Revista Colombiana De Ciencias Hortícolas, 9(1), 149–160.

Khurana, E. and Singh, J. S. 2004. Germination and seedling growth of five tree species from tropical dry forest in relation to wáter stress: Impact of seed size. J. Trop. Ecol. 20: 385-396. La Paz – Bolivia, pp.: 12,34-35 y 41.

Levitt, J. 1980. Responses of plants to environmental stresses. Academic Press, New York, NY.

Lorenzo, M. 2010. Trabajo del riego en el girasol. España. Disponible en: <http://lan.inea.org:8010/web/materiales/web/riego/anuncios/trabajos/Trabajo%20de%20riego%20sobre%20el%20girasol.pdf>

Lüttge, U. E. 2007. Physiological ecology of tropical plants. Springer. Berlin.

MAG. 2010. Manual de Agricultura para el cultivo de Girasol. Diagnóstico de Rubros Agrícolas. [Fecha de consulta: 16 septiembre de 2018] disponible en: <http://www.mag.comorg/es/ess/top/commodity>.

McWilliams, J.R., Harris, H.G. y Mason, M.K. 1976. Influence of temperature on the oil content and composition of sunflower. 7th International Sunflower Conference. vol II. Krasnodar – URSS, p. 448-457

Melean, J. 2009. Manual del cultivo de Girasol en Venezuela. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas INIA. 1a Edición. Araure- Venezuela p.48

Méndez, J., Cedeño, J., Gil, J., y Prado L. 2007. Efecto de tres frecuencias de riego sobre el ciclo del cultivo, contenido nutricional de la semilla y rendimiento de achenos en cuatro cultivares de girasol (*Helianthus annuus*). IDESIA, Chile, Volumen 25, Nº 3

Mendoza, L.J. 1999. Densidades de Plantación y Abonamiento Orgánico en Brócoli (*Bassica oleracea* var. *Italica*) bajo carpa solar. Tesis de Grado. La Paz- Bolivia p.91

Miñano D.A. 2017. Manejo Agronómico de Cucúrbita máxima var. Macre bajo riego tecnificado en Otuzco, La Libertad. Tesis de Pregrado. [http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/9930/MIÑANO PÉREZ DARWIN ALBERTO.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/9930/MIÑANO_PÉREZ_DARWIN_ALBERTO.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

Molina, M. 2012. Riego deficitario. España. Disponible en:

Montoya, W. 2011. Elementos esenciales en las plantas. En línea. Consultado el 21 de junio del 2018. Disponible en: <http://ecoloagro.blogspot.com/2011/05/elementosesenciales-en-las-plantas.html>.

Munns, R. and M. Tester, M. 2008. Mechanisms of salinity tolerance. *Annu. Rev. Plant Biol.* 59: 651-681.

Nilsen, E.T. y Orcutt, D.M. 1996. *Physiology of plants under stress. Abiotic factors.* John Wiley and Sons, New York, NY.

Ortegon, A.S. 1993. *El Girasol*, Ed. Trillas, Mexico D.F., p. 192

Pask, A.J.D., Pietragalla, J., Mullan, D.M., Chávez-Dulanto P.N. y Reynolds, M.P. (Eds.). 2013. *Fitomejoramiento Fisiológico II: Una Guía de Campo para la Caracterización Fenotípica de Trigo.* México, D.F.: CIMMYT. Disponible en: <https://repository.cimmyt.org/bitstream/handle/10883/3390/97924.pdf?sequence=7>

Pérez, R. A., Juvier, S. L., Villar, Y. M., Alberto, L., y Díaz, G. 2004. Variación de peso y diámetro del capítulo y peso del receptáculo y de achenos por capítulo en la variedad de girasol Caburé-15 en diferentes momentos de cosecha. (3), 68–72.

Putt, E. D. 1963. Sunflowers. Field Crop Abst 16 (1, p. 1-6)

Ramirez, G.H. 2011. “Sistema de Producción de Fresa de Altas Densidades”. Tesis para obtener Maestro en Ciencias. Instituto de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas. Colegio de Postgrado. Montecillo.

Rodríguez, A. 2002. Cálculo de evapotranspiración de cultivo (ETc) mediante el uso de coeficientes (Kc). Secretaría de Fomento Agropecuario. Mexico. 1–3. Retrieved from [http://www.simarbc.gob.mx/Coeficiente del cultivo \(Kc\).pdf](http://www.simarbc.gob.mx/Coeficiente%20del%20cultivo%20(Kc).pdf)

Ruiz, D. T. 1993. Manual de Horticultura. Facultad de Agronomía (UMSA).

Saavedra, F.A. 2000. Ensayo de riego deficitario controlado en palto (*Persea americana* Mill), cv. Hass en la localidad de Quillota. (Tesis de pregrado). Universidad Católica de Valparaíso. Chile. Disponible en: [http://www.avocadosource.com/papers/Chile_Papers_A-Z/S TU/SaavedraFreddy2000.pdf](http://www.avocadosource.com/papers/Chile_Papers_A-Z/S%20TU/SaavedraFreddy2000.pdf)

SAKATA. 2016. Disponible en: <https://sakataornamentals.com/wp-content/uploads/sites/2/2018/05/TutorialdeGirasolSerieVincent-0518-SAKATA.pdf>

Sanchez, A. 1990. Manual para la educación agropecuaria. Cultivo oleaginosas. Mexico, Ed. Trillas. 45-48 pp.

Saumell, H. 1976. Girasol. Técnicas actualizadas para su mejoramiento y cultivo, hemisferio sur. Buenos aires- Argentina. 65-72p

Singh, B. and G. Singh. 2006. Effects of controlled irrigation on water potential, nitrogen uptake and biomass production in *Dalbergia sissoo* seedlings. Environ. Exp. Bot. 55: 209-219.

Sipos, G. y Palttineanu, R. 1974. irrigation of sunflower in Rumania. 60 International sunflower Conference. Bucarest, p. 64-72

Talha, M. y Osman, F. 1975. Effect of soil water stress on water economy and oil

composition in sunflower. *Journal Agronomy Science*, p. 84.49-56

Tambussi, E. A. 2004. Fotosíntesis, foto protección, productividad y estrés abiótico: algunos casos de estudio. Memoria presentada para optar al grado de Doctor en Biología. Universidad de Barcelona. España. 203 p.

Tenesaca, C.M. 2015. fenología y profundidad radical del cultivo de girasol (*Helianthus annuus*) var. Sunbright en el sector Querochaca, cantón Cevallos, provincia de Tungurahua. Tesis de pregrado. Ecuador. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/10401/1/Tesis97%20%20Ingenier%c3%ada%20Agron%c3%b3mica%20-CD%20320.pdf>

Tyree, M. T., B. M. Engelbrecht, Vargas G., and Kursar T. A. 2003. Desiccation tolerance of five tropical seedlings in Panama: Relationship to a field assessment of drought performance. *Plant Physiol.* 132: 1439-1447.

Valdivieso, A. 2013. Efecto de cuatro láminas de riego por goteo sobre la producción del cultivo de maíz duro (*zea mays*), según la evaporación del tanque evaporímetro clase A (Tesis de postgrado). Universidad Nacional de Loja, Ecuador. Disponible:<http://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/11486/1/TESIS%20FINAL.pdf>

Vranceanu, A.V. 1977. El girasol, traducción de A. Guerrero, Mundi Prensa, Espana - Madrid, p. 61-98

Vrebalov, T. 1978. effect of climatic factors-Air temperature and humidity on biological characters of sunflower. 8o International Sunflower Conference, Minneapolis, Minnesota, p. 224-236

Zaguilar, D. 2013. Respuesta agronómica de dos densidades de siembra en el cultivo de girasol (*Helianthus annuus*), mediante la aplicación de dos dosis de fertilización química, en la parroquia de yaruquí, provincia de Pichincha (Tesis de pregrado). Universidad Estatal de Bolívar, Ecuador. Disponible en: <http://dspace.ueb.edu.ec/handle/123456789/10>

Zegarra, E. y Orihuela, J.C. 2005. “La agenda pendiente en el sector Agricultura. Informe final”. Lima. Informe de consultoría para el Proyecto Crecer.

VIII. ANEXOS

Anexo 1:

Parámetros meteorológicos considerados: temperatura máxima y mínima, velocidad y dirección del viento y humedad relativa (HR).

FECHA	Temperatura Máxima	Temperatura Mínima	Viento m/s	Dirección Viento	Humedad relativa
4/12/2018	20.8	20.1	1.6		52
5/12/2018	19.8	19.6	1.8	SW	54
6/12/2018	18.7	18.4	0.0	---	49
7/12/2018	20.5	19.8	1.4	WSW	53
8/12/2018	19.1	18.6	0.4	WSW	51
10/12/2018	20.8	20.0	1.5		54
11/12/2018	19.1	18.8	0.4	WSW	53
12/12/2018	21.3	20.3	1.3		52
13/12/2018	19.3	18.7	0.9	WSW	56
14/12/2018	22.4	21.6	1.5		54
15/12/2018	20.1	19.8	0.4	WSW	55
16/12/2018	22.0	21.2	1.5		55
17/12/2018	19.7	19.6	0.9	WSW	55
18/12/2018	21.6	21.1	2.0	E	54
19/12/2018	21.4	20.1	1.8	WSW	55
20/12/2018	22.2	21.5	1.9	WSW	57
21/12/2018	20.6	20.3	0.9	WSW	52
22/12/2018	21.8	21.3	1.8	WSW	56
23/12/2018	21.3	20.9	0.0	WNW	56
24/12/2018	20.2	19.9	1.3	E	58
25/12/2018	19.8	19.5	0.0	ESE	60
26/12/2018	22.3	21.6	1.5	WSW	57
27/12/2018	22.1	21.4	1.4	WSW	56
28/12/2018	22.6	21.9	1.5	WSW	56
30/12/2018	22.1	21.6	1.8	WSW	57
31/12/2018	21.5	20.8	1.3	WSW	57
31/12/2018	20.4	20.1	0.0	NNW	60
1/01/2019	21.2	20.7	0.4	WSW	58

<<Continuación>>

<<Continuación>>

2/01/2019	21.4	21.2	1.3	E	58
3/01/2019	20.8	20.4	2.7	SW	59
4/01/2019	23.2	22.5	1.7	WSW	56
5/01/2019	21.6	21.4	0.0	---	58
6/01/2019	22.0	21.9	0.4	WSW	55
7/01/2019	22.1	21.9	0.0	WNW	56
8/01/2019	24.0	23.4	1.3	WSW	53
9/01/2019	24.2	23.7	0.9	WSW	54
9/01/2019	25.1	24.3	1.8	WSW	53
10/01/2019	23.7	23.4	0.4	WSW	51
11/01/2019	24.3	23.9	2.2	ESE	51
12/01/2019	24.1	23.5	1.8	WSW	54
13/01/2019	22.4	21.7	0.9	WSW	56
14/01/2019	22.3	21.6	1.5	WSW	57
15/01/2019	20.8	20.5	1.3	WSW	59
15/01/2019	21.8	21.8	0.9	WSW	57
16/01/2019	21.9	21.3	1.5	WSW	57
17/01/2019	21.1	20.6	0.4	NNW	58
18/01/2019	22.3	21.7	1.2	WSW	56
19/01/2019	20.7	20.6	0.0	---	60
19/01/2019	22.7	22.0	1.3	WSW	56
20/01/2019	21.1	20.7	0.4	SW	55
21/01/2019	22.8	22.2	1.5	WSW	53
22/01/2019	24.4	23.6	1.3	WSW	55
23/01/2019	24.4	23.6	1.4	WSW	55
24/01/2019	22.4	21.9	0.9	W	56
24/01/2019	22.7	22.6	0.4	WSW	58
25/01/2019	22.8	22.7	0.9	W	56
26/01/2019	25.2	24.6	1.9	WSW	50
27/01/2019	24.4	23.7	1.7	WSW	49
28/01/2019	25.4	24.7	1.4	WSW	50
29/01/2019	26.3	25.6	1.4	WSW	50
31/01/2019	25.4	24.7	1.7	WSW	51
1/02/2019	26.3	26.2	1.3	ESE	44
2/02/2019	25.8	25.0	1.9	WSW	47
3/02/2019	24.3	23.2	1.8	WSW	49
4/02/2019	24.1	24.0	0.0	---	61
5/02/2019	27.0	26.7	2.2	NNE	51
6/02/2019	23.4	23.2	1.3	WSW	60
7/02/2019	24.5	24.3	0.9	WSW	56
8/02/2019	24.4	24.1	0.4	WSW	60
9/02/2019	24.7	24.6	0.9	SSE	52
10/02/2019	24.0	23.8	0.0	WNW	58
11/02/2019	23.8	23.7	0.9	W	59

Anexo 2:

Análisis estadístico

A. Análisis de varianza de la altura del cultivo de girasol.

Fuente de variación	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	3	16396.6917	5465.5639	64.92	<.0001
Bloque (periodo fenológico)	6	227409.9966	37901.6661	450.18	<.0001
Error	410	34518.5891	84.1917		
Total, corregido	419	278325.2774			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	ALTURA Media
0.875978	9.886564	9.175602	92.80881

B. Análisis de varianza del diámetro de tallo del cultivo de girasol.

Fuente de variación	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	3	1.73159310	0.57719770	34.35	<.0001
Bloque (periodo fenológico)	6	12.58248238	2.09708040	124.81	<.0001
Error	410	6.88916524	0.01680284		
Total, corregido	419	21.20324071			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	DIATALLO Media
0.675089	10.36355	0.129626	1.250786

C. Análisis de varianza del diámetro de capítulo del cultivo de girasol.

Fuente de variación	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	3	134.873827	44.957942	18.20	<.0001
Bloque (periodo fenológico)	5	7958.357496	1591.671499	644.37	<.0001
Error	351	867.012474	2.470121		
Total, corregido	359	8960.243798			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	DIACAPITULO Media
0.903238	19.10816	1.571662	8.225083

D. Análisis de varianza de la biomasa del cultivo de girasol.

Fuente de variación	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	3	197291.507	65763.836	9.26	<.0001
Bloque (periodo fenológico)	6	4292780.343	715463.390	100.76	<.0001
Error	130	923046.743	7100.360		
Total, corregido	139	5413118.593			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	BIOMASA Media
0.829480	25.34952	84.26363	332.4071

E. Análisis de varianza de la eficiencia del uso del agua del cultivo de girasol.

Fuente de variación	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	3	62.992857	20.997619	3.28	0.0230
Bloque (periodo fenológico)	6	1095.600000	182.600000	28.56	<.0001
Error	130	831.257143	6.394286		
Total, corregido	139	1989.850000			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	EFICIENCIA Media
0.582251	20.81228	2.528692	12.15000

F. Análisis de varianza de la conductividad estomática del cultivo de girasol.

Fuente de variación	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	3	286391.900	95463.967	9.11	<.0001
Bloque (periodo fenológico)	6	8034986.859	1339164.477	127.75	<.0001
Error	410	4297939.68	10482.78		
Total, corregido	419	14903732.56			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	POROMETRO Media
0.711620	19.78058	102.3854	517.6058

Anexo 3: Resultados del laboratorio.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
 DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH
 LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO
Ra. La Molina av. Toledo 5147800. Anexo 226 Lima. Email: laa-fa@la Molina.edu.pe



Nº 008372

ANÁLISIS DE AGUA - RUTINA

SOLICITANTE : DRA. LIA RAMOS FERNANDEZ
PROCEDENCIA : Lina - ADYAR (Área Demostrativa y Área Experimental de Riego)
RESPONSABLE ANÁLISIS : Ing. Nora Arevalo Flores
FECHA DE ANÁLISIS : La Molina, 27 de Noviembre de 2017

Nº LABORATORIO		8372
Nº DE CAMPO		M-1
CE	dSm	0.03
pH		7.40
Calcio	meq/l	4.90
Magnesio	meq/l	0.05
Sodio	meq/l	0.91
Potasio	meq/l	0.10
SUMA DE CATIONES		6.25
Cloruro	meq/l	0.98
Sulfato	meq/l	2.70
Bicarbonato	meq/l	2.50
Nitrato	meq/l	0.00
Carbonato	meq/l	0.00
SUMA DE ANIONES		6.49
SAR		0.56
CLASIFICACION		C2-S1
Boro	ppm	0.02
Dureza total mgCaCO₃/L		158.81
Alcalinidad total mgCaCO₃/L		140.19
Sólidos suspendidos mg/L		6.00
Turbidez ug/L		10.20

ANEXO 4: Panel fotográfico.

A. Desarrollo fenológico del cultivo de girasol: Fase de inicio



B. Desarrollo fenológico del cultivo de girasol: Fase media



C. Desarrollo fenológico del cultivo de girasol: Fase de floración



D. Diferencia del cultivo de girasol de acuerdo a los porcentajes de déficit hidrico



E. Toma de datos con el sensor TDR en el cultivo de Girasol



F. Toma de datos con el sensor leaf porometer en las hojas del cultivo de Girasol



G. Muestreo, y procesamiento de datos de humedad del suelo en la olla de Richards

