



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE INGENIERÍA AGROHIDRÁULICA

MAESTRIA EN MANEJO SOSTENIBLE DE SISTEMAS AGRICOLAS

**RIEGO POR GOTEO CON DIFERENTES NIVELES DE HUMEDAD PARA LA
PRODUCCION DE BIOMASA EN MAIZ**

TESIS PROFESIONAL

PARA OBTENER EL TÍTULO DE

**MAESTRO EN MANEJO SOSTENIBLE DE SISTEMAS AGRICOLAS CON
ESPECIALIDAD EN EL AREA AGRICOLA**

PRESENTA

ISIDRO LOPEZ SANCHEZ

DIRECTOR

M.C. GUILLERMO JESUITA PÉREZ MARROQUÍN

San Juan Acateno, Teziutlán, Puebla, México, Enero, 2020



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE INGENIERÍA AGROHIDRÁULICA

MAESTRIA EN MANEJO SOSTENIBLE DE SISTEMAS AGRICOLAS

**RIEGO POR GOTEO CON DIFERENTES NIVELES DE HUMEDAD PARA LA
PRODUCCION DE BIOMASA EN MAIZ**

TESIS PROFESIONAL

PARA OBTENER EL TÍTULO DE

MAESTRIA EN MANEJO SOSTENIBLE DE SISTEMAS AGRICOLAS

PRESENTA

ISIDRO LOPEZ SANCHEZ

DIRECTOR

M.C. GUILLERMO JESUITA PÉREZ MARROQUÍN

ASESORES

M.C. FABIEL VAZQUEZ CRUZ

M.C. RAMIRO ESCOBAR HERNANDEZ

San Juan Acateno, Teziutlán, Puebla, México, Enero, 2020.

La presente tesis titulada: Riego por goteo con diferentes niveles de humedad para la producción de biomasa en maíz y realizada por, Isidro López Sánchez, ha sido revisada y aprobada por el siguiente consejo particular, para obtener el Título de:

MAESTRO EN MANEJO SOSTENIBLE DE SISTEMAS AGRÍCOLAS

FACULTAD DE INGENIERÍA AGROHIDRÁULICA

Consejo Particular integrado
por:

Firma

Director: M.C. Guillermo Jesuita
Pérez Marroquín



Asesor: M.C. Fabiel Vázquez
Cruz



Asesor: M.C. Ramiro Escobar
Hernández



DEDICATORIA

Este logro se lo dedico a mi familia; mi esposa Guadalupe de Los Santos Rosas y a mi hijo Mateo López de los Santos, que siempre tuve el apoyo incondicional de ellos. Sobre todo a mi padre Lorenzo López López a pesar no estar cerca, siempre estuvo conmigo desde mis primeros pasos y sus sabios consejos para ser una persona con ética profesional.

A mis maestros de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla que sin ellos no hubiera sido posible culminar este trabajo de investigación, por la atención del M.C. Ramiro Escobar Hernández, al M.C. Guillermo Jesuita Pérez Marroquín que siempre estuvieron al pendiente de mis avances del trabajo de investigación y por su colaboración de la maestra Karina Vázquez Betanzos.

AGRADECIMIENTOS

Estoy infinitamente agradecido con la Facultad de Ingeniería Agrohidráulica de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, por tener docentes bien preparados, instalaciones de laboratorio equipados y personal capacitado, y la Universidad Tecnológica de Tehuacán, por el apoyo económico que me brindó para culminar mis estudios de posgrado y la facilidad que me dio el área de Agricultura Sustentable y Protegida, a través del director del área, el Ing. Arturo Olivar Hernández que siempre ve por la preparación continua de los docentes para que cada día estemos mejor preparados, para la sociedad.

ÍNDICE GENERAL

Contenido	Paginas
ÍNDICE DE TABLAS	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	v
RESUMEN	vi
SUMMARY	vii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	3
2.1 Objetivo general	3
2.2 Objetivo específicos	3
III. HIPÓTESIS	4
IV. REVISIÓN DE LITERATURA	5
4.1 Importancia del maíz	5
4.2 Origen y distribución del maíz	6
4.3 Taxonomía	6
4.4 Descripción del híbrido ocelote	6
4.5 Requerimientos y exigencia del cultivo	6
4.5.1 Temperatura	7
4.5.2 Humedad en el suelo	7
4.5.3 Como determinar humedad del suelo	8
4.5.4 Humedad equivalente	8
4.5.5 Capacidad de campo	8
4.6 Programación de riego	9
4.6.1 Riego	9
4.6.2 Riego por goteo	9
4.6.3 Por qué usar riego por goteo	10
4.6.4 Ventajas del sistema de riego	10
4.7 Componente del sistema de riego	11
4.7.1 Cabezal de riego	11

4.7.2	Tubería	11
4.7.3	Las Cintillas	11
4.8	Eficiencia del agua.	12
4.9	Importancia del agua en las plantas	12
4.9.1	Contenido de agua en las plantas	13
4.10	Déficit hídrico	13
4.10.1	Causas de los déficits hídricos	14
4.10.2	Efectos del déficit hídrico	14
4.11	Estrés hídrico	14
4.11.1	Efecto del estrés hídrico en las plantas	15
4.12	Biomasa	16
4.12.1	Determinación de la biomasa	17
4.12.2	Métodos de estimación de biomasa	17
4.13	Análisis de crecimiento	18
4.14	Tipos de crecimientos	18
4.14.1	Crecimiento vegetativo	18
4.15	Factores que determinan la velocidad de crecimiento.18	
4.15.1	El estado de desarrollo en el que se encuentra18	
4.15.2	Las señales ambientales	19
4.15.3	La temperatura	19
4.15.4	La disponibilidad de asimilados	19
4.16	Cuantificación del crecimiento	19
4.16.1	Análisis de crecimiento y sus parámetros	20
4.16.2	Tasa de asimilación neta	22
4.16.3	Tasa de crecimiento relativo	22
4.16.4	Tasa de crecimiento del cultivo	22
4.16.5	Índices del área foliar	22

4.17 Rendimiento de maíz en el estado de Zacatecas. ...	22
V. MATERIALES Y MÉTODOS	24
5.1 Características del área de estudio	24
5.2 Clima	24
5.3 Material biológico	25
5.4 Siembra y establecimiento de parcelas	26
5.5 Tratamientos	27
5.5 Diseño del experimento	28
5.6 Aplicación del Riego	30
5.7 Variables climatológicas	31
5.8 Variables a medir	31
5.8.1 Altura de planta (AP)	32
5.8.2 Número de plantas	32
5.8.3 Biomasa kg ha ⁻¹ (PVM)	33
5.8.4 Área foliar en cm ² (AF)	34
5.8.5 Biomasa Seca en Kg ha ⁻¹ (MS)	35
5.8.6 Días después de siembra de cada muestreo (DDS)	36
5.8.7 Volumen de agua consumido por la planta (VA).	36
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	38
VII. CONCLUSION	44
VIII. LITERATURA CONSULTADA	45

ÍNDICE DE TABLAS

Contenido	Paginas
Tabla 1. Características físicas del suelo en el sitio experimental.....	26
Tabla 2. Micronutrientes del sitio experimental.....	26
Tabla 3. Macronutrientes del sitio experimental.....	26
Tabla 4 . Tratamientos de riego en campo para el cultivo de maíz.....	27
Tabla 5. Muestreos en el experimento del cultivo de maíz.....	36
Tabla 6. Producción de biomasa en las planta de maíz en fase de formación de espiga durante el ciclo cultivo.....	40
Tabla 7. Producción de biomasa de las planta de maíz en fase lechoso- masoso durante el ciclo cultivo.....	41
Tabla 8. Producción de biomasa en las plantas de maíz en la fase $\frac{3}{4}$ línea de leche.....	42

ÍNDICE DE FIGURAS

Contenido	Paginas
Figura 1. Localización del área de estudio.....	24
Figura 2. Maíz híbrido 'ocelote'.....	25
Figura 3. Diseño del experimento.....	29
Figura 4. Material del sistema de riego por goteo.....	30
Figura 5. Estación meteorológica (10 m del experimento).....	31
Figura 6. Altura de la planta de maíz 'ocelote'.....	32
Figura 7. Número de plantas en superficie a muestrear.....	33
Figura 8. Pesado verde de la muestra (PVM).....	33
Figura 9. Separación de los órganos aéreos de la planta.....	34
Figura 10. A y B colocación de hojas para obtención de area foliar en cm.....	35
Figura 11. Secado de los órganos de maíz 'ocelote', temperatura 75°C.....	35
Figura 12. Medidor de agua marca TURB-IR.....	36
Figura 13. Altura de la planta en cm, DDS: días después de siembra.....	38
Figura 14. Materia seca en Toneladas/Hectárea.....	38
Figura 15. Área foliar cm ² , Días Después de siembra.....	39
Figura 16. Precipitación media durante el ciclo del cultivo (junio-octubre), en el año 2016.....	39
Figura 17. Primera fecha de evaluación, lechoso-masoso.....	43

RESUMEN

La importancia del agua en la producción de alimentos obliga a utilizarla con mayor eficiencia. Que forma parte crucial para el bienestar humano y el desarrollo socioeconómico. Los productos agrícolas y pecuarios están hechos en su mayor parte de agua, por lo tanto, su carencia constituye una de las principales fuentes de estrés en la plantas. Aunado a lo anterior el objetivo de este trabajo fue determinar la dinámica de crecimiento de maíz sometido a siete niveles de humedad, seleccionando dos plantas al azar de cada tratamiento para determinar área foliar, altura de planta, biomasa acumulada y materia seca, donde se concluye que no existe diferencia significativa entre los siete diferentes niveles de humedad del suelo con la producción de biomasa en los muestreos de tres fases del cultivo; en las etapas de formación de espiga, fase lechoso masoso y fase $\frac{3}{4}$ línea de leche en las variables evaluados del cultivo de maíz Ocelote.

Palabras clave: *Zea mays*, biomasa, niveles de humedad.

SUMMARY

Importance of water in food production leads us to use it more efficiently. It forms crucial part in human wellness and social-economic development. Agricultural and livestock products will be majorly made from water, therefore the lack of it constitutes one of the main sources of stress in plants. Besides this, the objective of this work was to determine the corn growth dynamic submitted to seven levels of humidity selecting 2 random plants of each treatment to determine leaf area, plant height, accumulated biomass and dry matter where we concluded there's no significant difference among the seven different levels of humidity of the ground with production of biomass in the three crop phases in the spike forming, milky massy phase and 1/4 line milky phase of evaluated variables of Ocelote corn crop.

Keywords: *Zea mays*, biomass, levels of humidity.

I. INTRODUCCIÓN

El crecimiento de la población y de los cambios en la dieta, el consumo de alimento está aumentando en casi todas las regiones del mundo, se espera que para el 2050 sea necesario producir 1 billón de toneladas de cereal y 200 millones de toneladas de carne más al año para poder satisfacer la creciente demanda de alimentos (FAO, 2013). Basados principalmente en un aumento de la productividad por área ya que la tierra y el agua disponible será cada vez más escasa (INTA, 2008).

La importancia del agua en la producción de alimentos obliga a utilizarla con mayor eficiencia (Salgado, 2011). El agua dulce es crucial para el bienestar humano y el desarrollo socioeconómico sostenible (UNESCO, 2014). La mayoría de los productos agrícolas y pecuarios están hechos en su mayor parte de agua (Edmundo, 2013). Por lo tanto, su carencia constituye una de las principales fuentes de estrés (Bacallao y Fundora, 2014). La agricultura es el sector económico en que la escasez de agua tiene más relevancia. En la actualidad, la agricultura es responsable del 70 % de las extracciones de agua dulce y de más del 90 % de su uso consultivo (FAO, 2013).

El maíz es uno de los cultivos con mayor importancia en México, ya que representa la base de la alimentación y la producción agrícola (Inzunza *et al.*, 2006).

En el año 2014-2016 el maíz tuvo una producción 1.009 millones de toneladas, los cuales fueron producidos en los siguientes países: Estados Unidos, Brasil, y la Unión

Europea. El 16 % corresponde al consumo forrajero y tan solo 38.6 % al consumo humano y en la industria (SIAP, 2015).

Así mismo, es uno de los cultivos que más superficie ocupa en México, concentra el 33 % de la superficie sembrada en el territorio nacional, aproximadamente 7.5 millones de hectáreas, de las cuales el 76 % se maneja bajo régimen de riego (FND, 2014) por esta razones y a la demanda de agua de los diferentes cultivos hace que la agricultura sea el mayor consumidor de agua dulce, aproximadamente el 70 % de las extracciones de agua dulce se destina a la agricultura de regadío.

En Zacatecas el agua de riego y de temporal son utilizados en 194.989 hectáreas de cultivo (SIAP, 2016). El 14 % de la superficie se siembra bajo sistema de riego de los cuales uno de los principales cultivos es el maíz teniendo una superficie de 28,375 has que se maneja bajo este sistema (SIAP, 2016).

El maíz forrajero de riego y temporal asciende a 111.42 has con un rendimiento de $47.75 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ más de 36 mil has de chile y poco más de mil has de frijol mediante bombeo de pozo profundo, generándose extracciones de agua de 288 y 6 millones de metros cúbicos (Servín et al., 2012).

La problemática del mundo actual es la escasez de alimento y la falta de agua para su producción. En las zonas áridas y semiáridas de México, se tiene un problema grave por el agotamiento de los acuíferos para su recargas, por ello se realizó esta investigación con la finalidad de generar información del comportamiento del maíz "ocelote" con diferentes niveles de humedad y como afectan la condiciones climáticas en las etapas de desarrollo del cultivo.

II. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

- Determinar la dinámica de crecimiento de maíz sometido a siete niveles de humedad.

2.2 Objetivo específicos

- Acumulación de biomasa del cultivo de maíz sometido a déficit hídrico.
- Respuesta del maíz híbrido "Ocelote" bajo diferentes niveles de humedad.

III. HIPÓTESIS

El alto contenido de humedad en el suelo genera aumento en la biomasa, lo que se refleja en la curva de crecimiento del cultivo.

IV. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1 Importancia del maíz

El maíz (*Zea maíz*) es uno de los cultivo de unos 7000 años de antigüedad, principalmente se produce en zonas de México y América central siendo uno de los cereales más importante para consumo humano y animal, se cultiva para grano y forraje (Peña, 2011).

El maíz (*Zea mays*), es por tradición un cultivo de suma importancia en México, tanto para la alimentación humana como para lo animal, aunque en este caso, se utiliza como forraje verde ensilado o como rastrojo (este último a pesar de su bajo valor nutritivo) (Tucuch, 2011).

El cual contiene una buena fuente de almidón, pero su fuente de proteína es más bajo que otros cereales. Entre las clases de maíz, el amarillo es el más nutritivo, por el alto contenido de vitamina B (David, 2008).

Debido a sus cualidades alimenticias para la producción de proteína animal, el consumo humano y el uso industrial, se ha convertido en uno de los productos más influyentes en los mercados internacionales (Garay, 2015).

El maíz forrajero ocupa un lugar importante en el patrón de cultivo por el alto valor energético que aportan a las raciones de alimentación de los animales, por lo que, es necesario optimizar los procesos de producción de maíz forrajero para lograr una producción de mayor cantidad y calidad de forraje con la mejor eficiencia del uso del agua de riego (Chaires *et al.*, 2013).

El cultivo de maíz con base en la aplicación oportuna y en cantidad suficiente del agua de riego es fundamental para

lograr un uso más racional de este recurso en las zonas áridas del norte del país donde se practica el riego y existe la problemática de escasez de agua (Inzunza et al., 2006).

4.2 Origen y distribución del maíz

Mesoamérica es considerado uno de los sitios de domesticación de plantas de mayor relevancia, sobre todo por el maíz (Carrillo, 2009). México es el centro de origen y domesticación del maíz (*Zea mays*) (Sánchez et al., 2000).

4.3 Taxonomía

El maíz (*Zea Mays*) es una planta de ciclo anual perteneciente al reino vegetal, división Tracheophyta, subdivisión Pteropsidae, clase Angiosperma, subclase Monocotiledoneae, grupo Glumiflora, orden Graminales, familia Gramineae, tribu Maydeae (Gonzales, 2009).

4.4 Descripción del híbrido ocelote

Es una variedad forrajera híbrido ocelote con una altura de 2.80 a 3.20 m aproximadamente, mientras que en mazorca las medidas son de 1.70 a 1.90 m, con un tiempo de floración de 60 días, y de siembra a cosecha de 90 a 150 días, color de grano blanco, con una densidad de siembra de 95 mil plantas/ha (García, 2014).

4.5 Requerimientos y exigencia del cultivo

El maíz (*Zea mays*) es uno de los cultivos de mayor variabilidad genética y adaptabilidad ambiental, sembrándose en latitudes desde 55°N a 40°S y de nivel del mar hasta 3800 msnm (Bolaños, 1992). Existen cultivares de menos de 1 m de altura, 8-9 hojas y madurez de 60 días, y otros con más de 5 m de altura, 40-42 hojas y madurez de 340 días (Fischer y Palmer, 1984). De la siembra a madurez el maíz requiere de 500 a 800 mm. Es preferible que en el cultivo de maíz se

utilice suelos franco-limosos, franco arcilloso y franco-arcillo-limosos (Benacchio, 1982).

El maíz se desarrolla mejor, en suelos bien drenados y fértiles, en regiones con temperatura de verano moderadamente elevado, noches cálidas y lluvias adecuadas bien distribuida en estaciones de crecimiento (Jugenhimer, 1990).

El suelo de textura franco es preferible para el maíz. Esto permite un buen desarrollo del sistema radicular con una mayor eficiencia de absorción de humedad y nutrientes del suelo.

Se obtiene una buena producción cuando la calidad y acidez del suelo están balanceados. Con un PH se encuentra en un rango de 6 y 7 (Mondoñedo, 2008).

4.5.1 Temperatura

Para una buena producción de maíz, la temperatura debe oscilar entre 20 y 30 °C. La óptima depende del estado de desarrollo de la planta. Durante la época de la floración de grano, las temperaturas altas tienden a inducir una maduración más temprana (David y Mondoñedo, 1990).

4.5.2 Humedad en el suelo

Las condiciones ideales de humedad de suelo, para desarrollo de maíz, es el estado de capacidad de campo. La cantidad de agua durante la temporada de crecimiento no debe ser menor de 300 mm (David y Mondoñedo, 1990).

4.5.3 Como determinar humedad del suelo

El método gravimétrico en la actualidad es el más preciso y utilizado debido a la sencillez de su aplicación. Esta técnica consiste en tomar una muestra del suelo con una barrena, la muestra tomada se coloca en recipientes de aluminio, se pesa en una báscula, la muestra se coloca en un horno de secado, a una temperatura a la cual se recomienda hacer el secado es a 105°C durante 24 horas que es cuando el peso comienza a ser constante, se vuelve a pesar en seco. El contenido gravimétrico de agua es la cantidad de agua en la muestra por porcentaje de peso seco del suelo y se calcula de la siguiente manera:

$$\% \text{ de agua en el suelo} = \frac{(\text{Peso del suelo húmedo} - \text{Peso del suelo seco}) \times 100}{\text{Peso de suelo seco}}$$

4.5.4 Humedad equivalente

Se utiliza para expresar la cantidad de agua, expresada en porcentaje gravimétrico, retenida por un suelo que se satura inicialmente con agua, un centímetro de profundidad (Olalla, 1993).

4.5.5 Capacidad de campo

Israelsen y west (1922) mencionan que para designar la cantidad de agua, expresada como humedad gravimétrica en porcentajes, de un suelo que ha sido mojado abundantemente por un riego o por lluvia (Olalla, 1993). La capacidad de campo se refiere a la cantidad relativamente constante de agua que contiene un suelo saturado después de 48 horas de drenaje (FAO, 2005).

4.6 Programación de riego

La programación de riego es simplemente la aplicación de agua a los cultivos en el momento 'adecuado' y en la cantidad 'adecuada' y se considera como una buena práctica de gestión (BPG) (Zotarelli, 2013).

4.6.1 Riego

Según Pascual en el 2008 define al riego como el aporte artificial de agua al suelo, con el objetivo de suministrar la humedad necesaria para el desarrollo y crecimiento de las plantas. Expresado de otra manera el riego es la aplicación oportuna y uniforme de agua a un perfil del suelo para reponer el agua consumida por los cultivos entre dos riegos consecutivos.

4.6.2 Riego por goteo

El riego por goteo permite conducir el agua mediante una red de tuberías y aplicarlas a los cultivos a través de emisores que entregan pequeños volúmenes de agua en forma periódica (Liotta *et al.*, 2015).

En este método de riego, el agua se aplica directamente al suelo, gota a gota utilizando goteros los cuales necesitan presión para su funcionamiento (Edmundo, 2013). Los goteros aplican el agua, esta se infiltra y va formando en el interior del suelo un humedecimiento en forma de cebolla, el cual se le llama (bulbo de humedecimiento).

El bulbo presenta un diámetro pequeño en la superficie del suelo, pero se ensancha adquiriendo su máximo diámetro a una profundidad de 30 cm aproximadamente (Edmundo, 2013).

El riego por goteo es sin duda uno de los sistemas más eficientes para la producción de alfalfa y otros cultivos. Los incrementos de rendimiento y la mayor eficiencia en el uso del agua encontrados al compararlo con el riego por gravedad y aspersión lo sitúan como uno de los sistemas de riego del futuro ante el panorama actual de escasez del vital líquido.

4.6.3 Por qué usar riego por goteo

El riego por goteo puede reducir el uso del agua. Un sistema de riego bien diseñado pierde muy poca agua porque hay poco escurrimiento, evaporación o percolación profunda en suelos limosos. El riego por goteo hay menos contacto del agua con el follaje, los tallos, y los frutos. Se crean condiciones menos favorables para el desarrollo de enfermedades en la planta, con buena programación de riego que cubre las necesidades de las plantas, es posible aumentar el rendimiento y la calidad de la cosecha (Shock y Welch, 2013).

4.6.4 Ventajas del sistema de riego

- a) Permite aplicar el agua en forma localizada y continua eficiente y oportuna.
- b) Se adapta a cualquier suelo y condiciones topográficas diversas.
- c) En paralelo se riega fertiliza y controla plagas, ahorrando tiempo y mano de obra.
- d) Evita desarrollo de maleza y la presencia de plagas y/o enfermedades.

- e) Permite aplicar agua y fertilizante cuando la planta lo requiera lo cual favorece significativamente el desarrollo de las plantas y producción.
- f) Permite alcanzar entre 90 y 95 % de eficiencia de aplicación, que no se alcanza con otros sistemas (Núñez, 2015).

4.7 Componente del sistema de riego

4.7.1 Cabezal de riego

El cabezal de riego es el conjunto de dispositivo situado al principio de la instalación o red de riego localizado con el objetivo de controlar su funcionamiento, estos varían en función de las necesidades de:

- 1) captación de agua (desde balsas, pozos, red pública, depósito).
- 2) impulso del agua (bombeo).
- 3) limpieza del agua (filtros).
- 4) dosificación e inyección de fertilizante (inyección).
- 5) dispositivo de control y medida (manómetro, válvulas, etc.), (Fernández, 2010).

4.7.2 Tubería

Las tuberías utilizadas en riego por goteo son de material de plástico: policloruro de vinilo (PVC) y polietileno (PE). De los cuales se tiene que considerar la presión nominal, la presión de trabajo y diámetro nominal (Fernández, 2010).

4.7.3 Las Cintillas

El gotero es el encargado de aplicar el agua al suelo, el cual debe aplicar un caudal pequeño y uniforme, para lo

cual se precisa un orificio pequeño, aunque suficientemente grande para evitar obstrucción, ser poco sensible a las variaciones de presión (Pizarro, 1990,).

4.8 Eficiencia del agua.

La relación entre el volumen medio de agua de riego infiltrada y puesta a disposición de la raíces de los cultivos (Olalla, 2005). La eficiencia es el porcentaje de agua que aprovecha la planta del total suministrada (Moya, 2009). La eficiencia de riego es del 90 al 95 % en goteo y 85 % en microaspersión (Liotta *et al.*, 2015).

4.9 Importancia del agua en las plantas

El agua es uno de los factores más importantes para el desarrollo de las plantas, por lo tanto, su carencia constituye una de las principales fuentes de estrés (Bacallao y Fundora, 2014).

La escasa disponibilidad de agua para la agricultura en las zonas de riego del mundo y especialmente en México, son causadas por una demanda cada vez mayor de una población en constante crecimiento y aunado a la incertidumbre de las precipitaciones (Inzunza, 2010).

El agua es el factor que limita el crecimiento en la plantas y el déficit hídrico puede manifestarse en la reducción de la tasa de crecimiento y el despliegue floral, en el éxito reproductivo y la abscisión de la hoja (Méndez *et al.*, 2007).

4.9.1 Contenido de agua en las plantas

Casi todos los procesos vegetales están directamente afectados por el desabastecimiento de agua. El agua constituye el 80 % o más del peso fresco de las partes de las plantas herbáceas y más del 50 % del peso fresco de las plantas leñosas. El agua suministrada con el riego tiene una acción y un efecto diferente, según sea la técnica aplicada.

4.10 Déficit hídrico

El déficit es susceptible de afectar negativamente al conjunto de funciones fisiológicas de la planta, tales como la fotosíntesis, respiración y reacciones metabólicas diversas, también puede repercutir en las variaciones anatómicas (estomas), sobre el crecimiento, la reproducción y el desarrollo de las semillas, sin dejar a un lado la acción sobre la absorción de elementos nutritivos minerales (Olalla, 1993).

El déficit hídrico se identifica como una desviación significativa de las condiciones óptimas para la vida. Dichas condiciones ocasionan cambios en todos los niveles funcionales de los órganos de la planta.

La escasez de agua afecta el potencial reproductivo presentándose abortos y caídas de frutos (Fischer y Turner, 1978). En las plantas cultivadas estos efectos son indeseables, ya que se reduce la productividad esperada en un ciclo agrícola (Taiz y Zeiger, 2006).

La falta de agua en el maíz provoca el cierre de los estomas, reduciendo la fotosíntesis, lo que afecta al crecimiento de la planta.

4.10.1 Causas de los déficits hídricos

La transpiración (E_p) es el flujo de vapor de agua desde las actividades subestomáticas hacia la atmósfera, siguiendo un gradiente de vapor. Esta pérdida de agua de la planta se debe de compensar por la entrada de agua desde el suelo por absorción del sistema radicular.

4.10.2 Efectos del déficit hídrico

El déficit puede afectar prácticamente todos los aspectos morfológicos y fisiológicos de los cultivos si la duración y la severidad del estrés son suficientemente intensas. La respuesta generalizada se plasma en una reducción del tamaño de las plantas, de su área foliar y del rendimiento de cosecha.

4.11 Estrés hídrico

El término estrés se entiende como la respuesta orgánica al complejo de alteraciones metabólicas determinadas por varios agentes que puede afectar al organismo (Olalla, 1993).

El estrés hídrico es una de las principales causas de muerte en las plantas, ocurre cuando la transpiración excede el agua absorbida por las raíces. Los efectos morfológicos y fisiológicos son demasiado notorios, las plantas lo demuestran a largo plazo (Flores *et al.*, 2012).

En las etapas de floración y llenado de grano del maíz son críticas para determinar su rendimiento y crecimiento debido a la problemática mencionada anteriormente.

La presencia de temperaturas altas, frecuentemente asociadas con sequía durante estas etapas, puede afectar los procesos de polinización, fecundación y desarrollo del grano.

Esto es consecuencia de la desecación de estigma y/o de los granos de polen y la reducción de la tasa y duración del periodo de llenado del grano, afectando el número y peso individual de los mismos (Arnoldo, 2006).

Para el maíz, una temperatura mayor de 35 °C acompañado de una baja de humedad relativa provoca la desecación de los estigmas, y temperaturas superiores a 38 °C reducen la viabilidad del polen. En base a esto, se ha sugerido que por cada grado centígrado °C que se incrementa la temperatura por encima del óptimo (25 °C), se reduce un 3 a 4 % del rendimiento del grano (Cheikh y Jones, 2001).

La combinación de altas temperaturas y las sequías causan una mayor reducción de la fotosíntesis y en consecuencia la baja producción del cultivo es provocado por los efectos de ambos (Arnoldo, 2006).

(Zinselmeier et al., 1995). Schussler y Westgate (1991), menciona que el déficit del agua disminuye la distribución de materia seca, carbohidratos y reducen el nitrógeno en los grano de maíz.

De todos los órganos de las plantas, la hoja es la más flexible en responder a las condiciones del medio ambiente, en esta se refleja más claramente los efectos de estrés por condiciones ambientales o heterogeneidad que en el tallo o la raíz (Levitt, 1980).

4.11.1 Efecto del estrés hídrico en las plantas

Una planta sometida a condiciones significativamente diferentes de las óptimas se dice que está sometida a estrés,

las diferentes especies o variedades difieren en sus requerimientos óptimos y por tanto en su susceptibilidad a determinado estrés (Hsiao, 1973).

El déficit hídrico no sólo ocurre cuando hay poca agua en el ambiente, sino también por bajas temperaturas y por una elevada salinidad del suelo (Levitt, 1980).

En un trabajo realizado por Reta *Et al.*, (1999) hace referencia que el crecimiento y rendimiento del cultivo de maíz son afectados en diferente grado, no sólo por la intensidad y duración de las deficiencias de humedad sino también a la fase fenológica en que éstas se presentan.

Durante el crecimiento vegetativo, la etapa más temprana susceptible a deficiencias de humedad es la diferenciación de órganos reproductivos, en la cual el rendimiento de grano puede disminuir de 12 a 27 %, debido a la reducción del número de granos por mazorca (Claassen y Shaw, 1970).

4.12 Biomasa

La biomasa es fuente de energía renovable. La energía de la biomasa proviene del sol a través del proceso de la fotosíntesis. Este es el proceso por el cual las células vegetales son capaces de formar sustancias orgánicas a partir del CO₂ presente en el aire y de otras sustancias simples, aprovechadas para llevar a cabo dicho proceso (Bunca, 2002).

El cálculo de la biomasa, define la cantidad de material presente en una determinada superficie y en un momento concreto resulta una aproximación para determinar y evaluar

el nivel de producción de las plantas. Su determinación suele realizarse sobre la parte aérea de la vegetación (Gómez, 2008).

4.12.1 Determinación de la biomasa

La determinación de la biomasa es una de las variables más importante de un proceso, ya que su valor nos lleva a la comprensión de la eficiencia del mismo. Se trata de la variable para establecer las tasas de producción, de consumo de nutrientes y el cálculo de los balances de cualquier proceso biológico.

4.12.2 Métodos de estimación de biomasa

Existen dos métodos comúnmente usados para estimar la biomasa: el método directo y el indirecto. Dentro del primero está el destructivo, que consiste en cortar la planta y determinar la biomasa pesando directamente cada componente (Klinge y Herrera 1983, Araujo et al., 1999).

Dentro de los indirectos se utilizan métodos de cubicación de la planta donde se suman los volúmenes masa, se toman muestras de esta y se pesan en el laboratorio para calcular los factores de conversión de volumen a peso seco, es decir, la gravedad o densidad específica (Segura, 1997).

La biomasa es un parámetro que caracteriza la capacidad de los ecosistemas para acumular materia orgánica a lo largo del tiempo (Brown 1997, Eamus et al., 2000).

La producción de nueva biomasa en cualquier cultivo o comunidad vegetal está fuertemente determinada por la unidad de agua disponible en el suelo (Medrano, 2007).

4.13 Análisis de crecimiento

El crecimiento es un aumento constante en el tamaño de los órganos, acompañado de procesos como la morfogénesis y diferencia celular (Taiz y Zeiger, 2016). Según Mohr 1962 define que el crecimiento de los diferentes órganos de las plantas, es un proceso fisiológico complejo, que depende directamente de la fotosíntesis, la respiración, la división celular, elongación, la diferencia entre otros.

El análisis de crecimiento es una aproximación cuantitativa, usando datos básicos para la descripción e interpretación de las plantas que crecen en ambiente natural o controlado. Hunt (1978, 2003) y Hunt *et al.*, (1984).

Crecimiento es un proceso por el cual aumenta el peso, el volumen, área o la longitud de uno o varios órganos de la planta.

4.14 Tipos de crecimientos

4.14.1 Crecimiento vegetativo

En crecimiento vegetativo abarca hoja, tallo, y raíces. Para la hoja y el tallo es importante distinguir entre crecimiento expansivo (de volumen, área o longitud) y crecimiento de peso ya que ambos pueden ser afectados de distinta manera por el estrés ambiental (Farooqi *et al.*, 1994).

4.15 Factores que determinan la velocidad de crecimiento.

4.15.1 El estado de desarrollo en el que se encuentra

La constitución genética de la planta conlleva una serie de instrucciones que determinan el crecimiento potencial del

órgano en un momento determinado. En general, el órgano sigue una curva de crecimiento sigmoidea. El órgano crece exponencialmente al principio y linealmente después. Una última fase, la tasa crecimiento se reduce hasta que los órganos dejan de crecer (Moore, 1979).

4.15.2 Las señales ambientales

El crecimiento y desarrollo de las plantas está influenciado de manera reversible por la radiación rojo/rojo lejano, que altera la velocidad del crecimiento de los órganos, o más concretamente, el patrón de reparto de asimilados, así mismo o cuando la densidad de las plantas es elevada, la relación R: FR es baja, por lo que provoca un mayor crecimiento del tallo y un menor crecimiento en las hojas (Lee et al. 2011).

4.15.3 La temperatura

La temperatura óptima que favorece el crecimiento y desarrollo de las plantas depende de varios factores. La temperatura del aire es una función de la radiación solar, del intercambio de la radiación termal, de la convección sensible del calor y la transpiración (Hanan, 1998).

4.15.4 La disponibilidad de asimilados

El crecimiento de un órgano requiere de materias primas y depende por lo tanto del flujo de carbohidratos y nutrientes hacia ese órgano (Villalobos, 2009).

4.16 Cuantificación del crecimiento

Para los órganos aéreos de la planta las variables se describen el crecimiento puede ser la longitud (altura de la

planta), el área (hojas), el volumen (fruto) o el peso seco por planta o por unidad de superficie. En agronomía se suele expresar el peso en unidades de superficie de g/m^2 o kg/ha , se le denomina biomasa (B) al peso seco de la parte aérea por unidad de superficie. El caso de la raíz se utiliza a menudo la densidad radical (L_V) que es la longitud de raíces por unidad de volumen de suelo (cm raíz/ cm^3) esta variable tiene la desventaja de que se relaciona mejor con la capacidad de absorción de agua que otras variables como la biomasa de raíces. Otra variable relacionada con el crecimiento de los cultivos es el índice de área foliar (IAF) que es el cociente entre la superficie de hojas (considerando solo una cara) y la superficie del terreno (Villalobos et al., 2002).

Para realizar el índice de crecimiento Existen dos metodologías la primera es a través de análisis tradicional o clásico que involucra la toma de datos en función del tiempo y análisis funcional o dinámico el cual comprende medidas a intervalos de tiempos más frecuentes y en un pequeño número de plantas según (Flórez et ál. 2006). En este trabajo de investigación se empleó el método clásico, basado en las fórmulas para valores promedios propuestos por Watson 1952, (Yoshida, 1972) y (Hunt, 1978).

4.16.1 Análisis de crecimiento y sus parámetros

Los eventos que ocurren desde el inicio hasta el final del proceso de crecimiento pueden tener marcada la influencia sobre el rendimiento de la materia seca. Una aproximación al análisis de los factores que influyen en el rendimiento y el desarrollo vegetal es la acumulación de fotosintatos a través del tiempo los que se ha conocido como análisis de crecimiento. Para realizar un análisis de la eficiencia

fisiológica de una planta en función sus parámetros de crecimiento se requieren dos operaciones básicas:

- a) La cuantificación del material vegetal existente en una planta.
- b) La medida del sistema asimilador de la planta o el cultivo en intervalos de tiempo.

De las operaciones anteriormente mencionada se obtiene medidas directas como materia seca (w), área foliar total (AF), tiempo (t), e índices derivados como la tasa relativa de crecimiento (TRC), índice de área foliar (IAF), tasa de asimilación neta (TAN), se obtiene mediante cálculo de análisis función (Hunt, 1978).

Puede efectuarse mediante dos métodos

- a) Método clásico: donde el crecimiento es evaluado de datos con pocas repeticiones, pero a intervalos prolongado. En este método no se realiza el ajuste de datos mediante modelos matemáticos, aunque analiza estadísticamente.
- b) Método funcional: donde el crecimiento es evaluado de dato con pocas repeticiones, pero a intervalos cortos sobre todo cuando existen muchas variaciones en la información, los cuales pueden utilizarse para realizar un ajuste de modelo (Hunt, 1982).

El análisis de crecimiento con el enfoque funcional utiliza datos a partir de muestras colectadas periódicamente y se utiliza con éxito en plantas anuales, bianuales y perenes (Brand y Weetman, 1987).

4.16.2 Tasa de asimilación neta

Es una medida de la eficiencia de una planta o de una población como sistema asimilatorio, es decir la ganancia neta de aprovechamiento por unidad de área foliar y por unidad de tiempo (Evans, 1972; Hunt, 1978).

4.16.3 Tasa de crecimiento relativo

Expresa el incremento en peso seco en un intervalo de tiempo con relación a un peso inicial (Evans, 1972; Hunt, 1978).

4.16.4 Tasa de crecimiento del cultivo

Es la ganancia en peso de una comunidad de plantas por unidad de área de suelo y unidad de tiempo.

4.16.5 Índices del área foliar

El parámetro de área foliar por planta es una medida del follaje de todo, ya que no toma en cuenta el espaciamiento entre plantas, por los que se introdujo el concepto de IAF, definido con el área foliar por unidad de superficie (Mora, 1998).

Está representa la relación entre el área foliar o superficie fotosintetizadora y el área de suelo (AS) ocupada por el cultivo (Hernández, 1995).

4.17 Rendimiento de maíz en el estado de Zacatecas.

A nivel nacional, el maíz es uno de los cultivos básicos más importantes ya que ocupa la mayor parte del área cultivable en las zonas de riego y de temporal.

Según el Sistema Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2018), en el estado de Zacatecas el rendimiento promedio por hectárea fue de 4.47 ton/ha dentro de los 8 distritos; mientras los distritos Nochistlán de Mejía y Trancoso obtuvieron rendimientos superior de promedio con 6.6 ton/ha.

V. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo de investigación se realizó en terrenos del Campo Experimental, Zacatecas (CEZAC INIFAP).

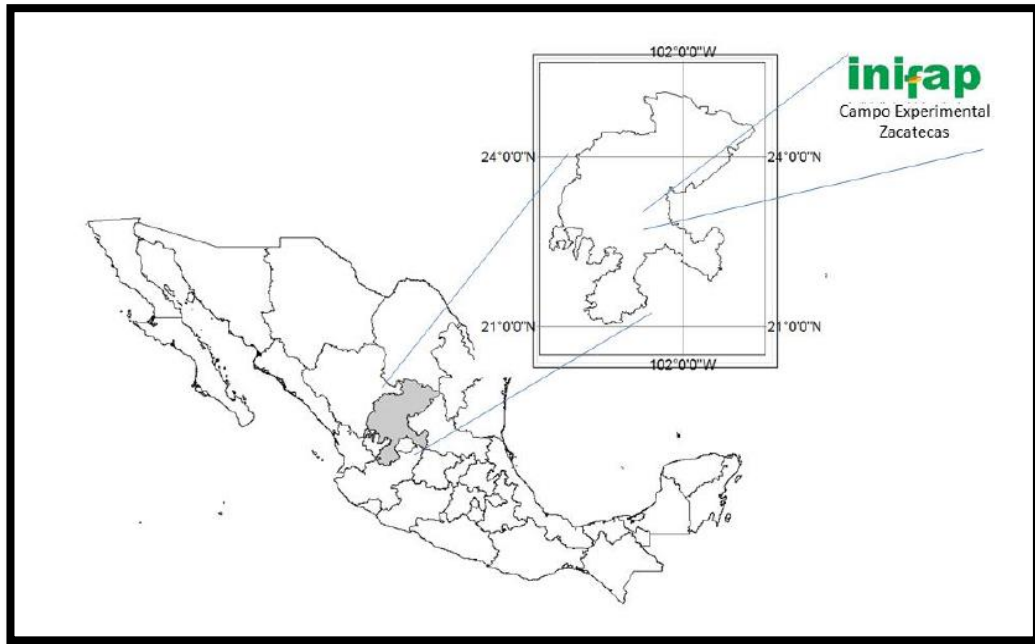


Figura 1. Localización del área de estudio.

5.1 Características del área de estudio

El trabajo se realizó en Calera de V. R. Zacatecas que se encuentra ubicado en la coordenadas geográficas $22^{\circ} 54'$ latitud Norte, y $102^{\circ} 39'$ longitud Oeste a una altitud media de 2,197 msnm (Figura 1.). La temperatura media en los meses de julio-octubre 12.32 y con una precipitación promedio de 4.3 mm (Medina y Ruiz 2004).

5.2 Clima

El estado de Zacatecas cuenta con cuatro regiones climáticas. Clima seco desértico: en la parte norte de la

entidad, seco semidesértico, con lluvias escasas y las temperaturas es desfavorable. Templado subhúmedo: propicio de la cercanía de la sierra madre occidental. Templado semiseco: domina en la región oriente del estado. Fresco y con poca humedad (INEGI, 2012).

5.3 Material bilógico

El experimento se utilizó un material híbrido de maíz "Ocelote" sembrada a una distancia de 3-4 cm entre planta y entre surcos de 0.76 cm, El cultivo de Maíz se sembró en seco en 02/06/16, usando una sembradora de precisión y densidad de siembra de 86, 000 plantas por ha.



Figura 2. Maíz híbrido 'ocelote'.

5.4 Siembra y establecimiento de parcelas

Tabla 1. Características físicas del suelo en el sitio experimental.

Prof. Cm	MO (%)	ARENA (%)	LIMO (%)	ARCILLA (%)	TEXTURA	CC (%)	PMP%	Da gcm ³
0-30	2.4	22.92	35.0	42	Franco arcilloso	37.7	20.7	1.43
30-60	2	24.92	39.0	36	Franco arcilloso	38.7	21.3	1.41
60-90	0.3	26.92	39.0	34	Franco arcilloso	36.4	20.0	1.41

MO= materia orgánica; cc= capacidad de campo; pmp= punto de marchitez permanente; Da = densidad aparente.

Tabla 2. Micronutrientes del sitio experimental.

Prof.	Fe (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Mn (mg/kg)
0-30	4.7	2.6	8.8	16.6
30-60	4.6	2.2	6.6	16.4
60-90	4.1	1.9	1.6	17.6

Tabla 3. Macronutrientes del sitio experimental.

Prof.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na+	K+	Ce (dS m ⁻¹)	Co ₃ ⁻¹	HCO ₃ ⁻	CL ⁻	SO ₄ ⁻²
0-30	2.8	2.8	0.91	0.6	0.37	0	6	7.5	0.67
30-60	4	8	2.17	0.42	0.66	0	3	7.5	3.45
60-90	4.4	6.8	4.16	0.16	0.69	0	3	10	4

Previo a la instalación el cultivo se realizó la preparación del terreno, el arado con un tractor de la marca

John Deere para hacer un cruzado de suelo a 25 cm, posteriormente un rastreo final para eliminar los grumos.

La dosis de fertilización (NPK) fue 280-100-800 (Urea, NKS y MAP solubles) fraccionada en 5 aplicaciones durante el ciclo.

5.5 Tratamientos

Se utilizó el diseño de bloques completos al azar. De acuerdo con este diseño de tratamientos la combinación resultante a ensayar en el campo fueron siete diferentes niveles de abatimiento de la humedad aprovechable en el suelo (HAC) en los primeros cm de profundidad radicular del cultivo y se muestran en la tabla 4.

Tabla 4 . Tratamientos de riego en campo para el cultivo de maíz.

T= Tratamiento, HA= humedad aprovechable. (Ciclo de primavera-verano 2016).

Tratamientos	% de HA.
1	100
2	50
3	75
4	12.5
5	100
6	50
7	75
8	Testigo a CC

El experimento cuenta con siete niveles de humedad distribuida durante el ciclo del cultivo y contando con un

testigo. El primer factor fue la cantidad de lámina de riego aplicada en etapa emergencia a inicio de floración. Los niveles de humedad del estudio fueron: 100, 75, 50, 12.5 % de la humedad aprovechable del suelo (HAC).

El riego de los tratamientos fue aplicado cuando consumió el nivel de la humedad aprovechable del suelo de 0-30 cm. Para determinación del abatimiento de la humedad del suelo para cada tratamiento, se utilizó el método gravimétrico usando barrenas tipo california y vehimeyer en cada tratamiento y esto fue durante todo el desarrollo vegetativo del maíz.

5.5 Diseño del experimento

Los tratamientos se distribuyeron de manera aleatoria en el campo, con base en un diseño experimental de bloques al azar con cuatro repeticiones. A cada parcela o unidad experimental se le asignó una superficie de 60.80 m² (7.6 m de ancho por 8.0 m de largo).

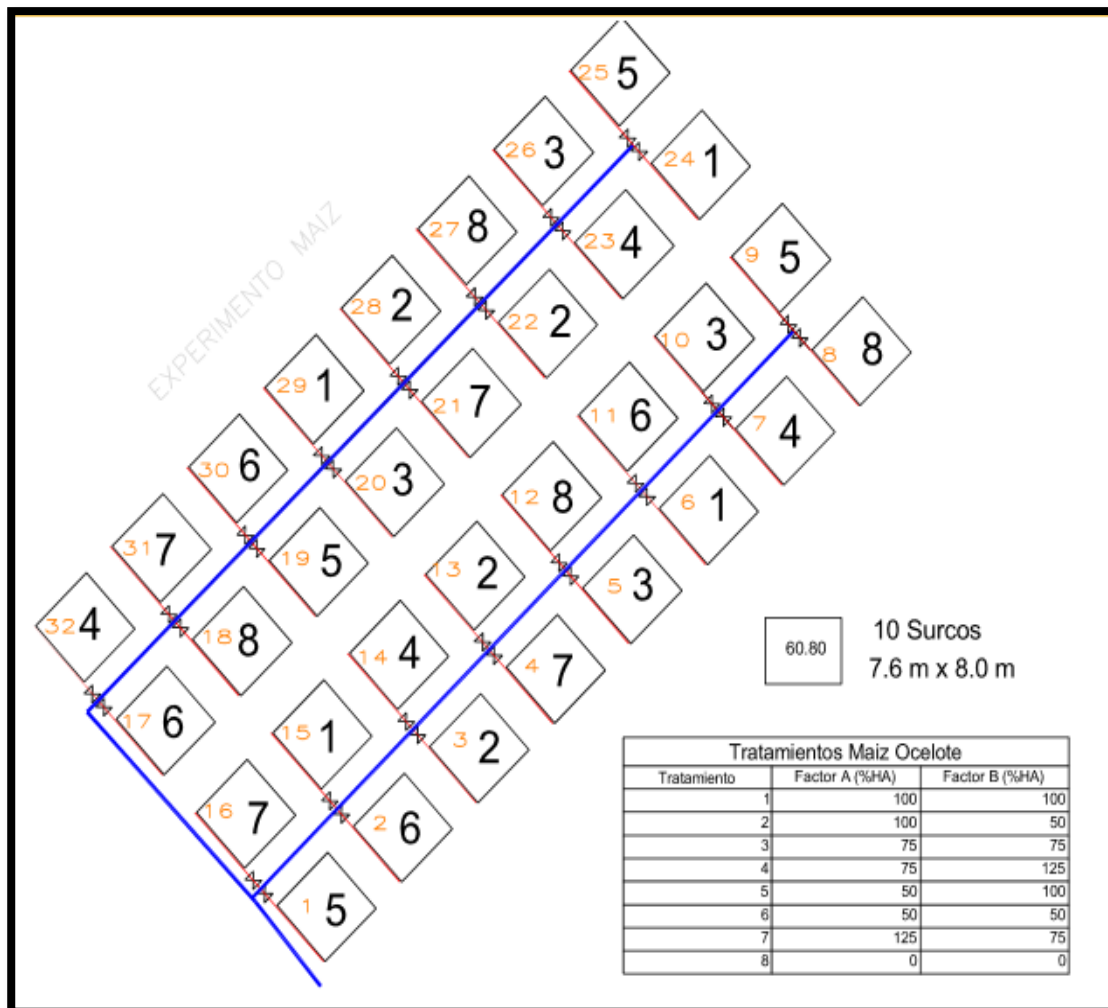


Figura 3. Diseño del experimento

Los tratamientos fueron siete niveles de humedad distribuido en todo el ciclo del cultivo del maíz. La Humedad aprovechable obtenida a partir de curvas de humedad (método de olla y membrana de presión). En las etapas fenológicas. Para determinar el momento adecuado del riego por tratamiento se realizó un balance hídrico climático (Servín, 2015), y se tomó en cuenta la humedad del suelo cada 15-20 días con el método gravimétrico en los primeros 60 cm de suelo, se utilizó una barrena tipo Vehimeyer para ajustar el balance hídrico climático.

Con esta información se obtuvo la lámina de riego y momento de aplicación. El agua se aplicó con riego por goteo y el volumen de agua aplicada para cada tratamiento se determinó con un medidor de flujo. La unidad experimental fue de 10 surcos a doble hilera de 0.76 m de ancho por 8.0 m de largo. La parcela útil fueron los dos surcos centrales con 2.5 m de largo; para cada muestreo.

5.6 Aplicación del Riego

La aplicación de riego fue con una bomba marca (Foras) de 2 hp y en la línea de conducción lay flat de 4", para la conducción del tanque de almacenamiento a la parcela, se utilizó lay flat de 2" conectadas a cintilla calibre 6000.



Figura 4. Material del sistema de riego por goteo.

5.7 Variables climatológicas

Los datos climáticos como temperatura, humedad, precipitación, evaporación y radiación se obtuvieron de una estación meteorológica (marca Davis Vantage Vue) y con ello se realizó el balance hídrico (Servín, 2015) para obtener laminas a aplicar para cada tratamiento.



Figura 5. Estación meteorológica (10 m del experimento).

5.8 Variables a medir

La cosecha de las plantas se realizó manualmente en los estados fenológicos Espiga, Lechoso Masoso, lechoso 3/4 de línea de leche. Previo a eso se realizaron 2 muestreos a los 25 DDS y 45 DDS de dos plantas al azar de cada tratamiento para determinar Área foliar, altura de planta y biomasa acumulada.

Para los dos primeros muestreos en cada parcela se contó el número de plantas existentes en un metro lineal del surco y se estimó la producción de biomasa verde, posteriormente, se separaron componentes aéreos.

5.8.1 Altura de planta (AP)

La altura de la plantas se midió con un estadal, durante los cinco muestreos realizados (30 DDS, y 47 DDS) contemplando del suelo a la parte superior de la espiga y de la misma manera se consideraron dos plantas para cada muestreo.



Figura 6. Altura de la planta de maíz 'ocelote'

5.8.2 Número de plantas

Con un flexómetro se midieron 5 m con un tubo de PVC para facilitar el funcionamiento y tomando los ambos surcos centrales de las parcelas y se contó el número de plantas dentro de la superficie a muestrear y se contabilizó el número de plantas en los 5 m lineales.



Figura 7. Número de plantas en superficie a muestrear.

5.8.3 Biomasa kg ha^{-1} (PVM)

De ambos surcos muestreados se pesó el total de las plantas con una báscula marca Torrey de capacidad de 100 kg y se seleccionaron dos plantas representativas, separados por órganos.



Figura 8. Pesado verde de la muestra (PVM)

Se separó los órganos aéreos (Figura 9), (hoja), (tallo), (bráctea), (elote), se pesó cada órgano por separado con ayuda de una báscula Torrey de capacidad de 5 kg, se contó el número de elote por planta, etiquetamos con número de parcela, tratamiento y número de bloque para posteriormente la eliminación del contenido de agua.



Figura 9. Separación de los órganos aéreos de la planta.

5.8.4 Área foliar en cm^2 (AF)

Las hojas se colocaron en un soporte plano (Figura 10 A y B) con acrílico para aplanar completamente las hojas y se tomó una imagen digital con una cámara web Logitech® de 15 mg y se procesó para obtener el área foliar, posteriormente se llevaron a una estufa a $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta llegar a peso constante, con estos datos se determinó el porcentaje de materia seca, el rendimiento de materia seca por hectárea, producción de biomasa verde y se calculó el porcentaje de hoja, tallo y elote.

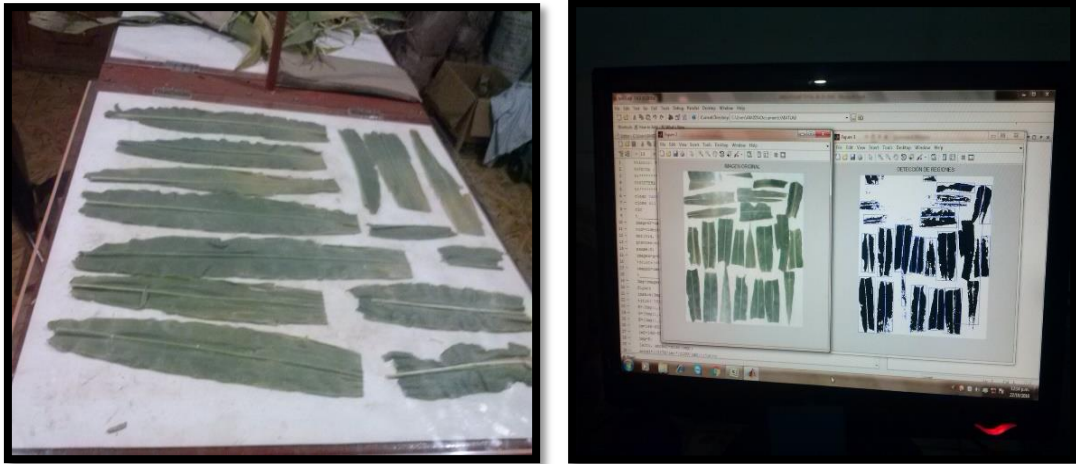


Figura 10. A y B colocación de hojas para obtención de area foliar en cm.

5.8.5 Biomasa Seca en Kg ha⁻¹ (MS)

Se cortó la parte aérea de las plantas y se introdujeron en bolsa de papel, previamente etiquetadas por tratamiento, se colocaron en una estufa de secado marca mapco modelo 360 (Figura 11), a una temperatura de 75 °C durante 48 horas, transcurrido el tiempo de secado se pesaron en una balanza marca Torrey con capacidad de 5 kg.



Figura 11. Secado de los órganos de maíz 'ocelote', temperatura 75°C.

5.8.6 Días después de siembra de cada muestreo (DDS)

Se realizaron cinco muestreos, mismo que se efectuaron en diferentes fechas, para un total de 137 días.

Tabla 5. Muestreos en el experimento del cultivo de maíz.

Número de muestreo	Fecha	DDS
1	03/06/2016	0
2	03/07/2016	30
3	20/07/2016	47
4	17/08/2016	75
5	12/09/2016	101
6	18/10/2016	137

5.8.7 Volumen de agua consumido por la planta (VA).

Se contabilizó la cantidad de agua aplicada en cada riego, con ayuda de un medidor de flujo (Figura 12) y se anotó los gastos Q_1 =inicial y Q_2 =final.



Figura 12. Medidor de agua marca TURB-IR.

Los datos obtenidos fueron analizados con el paquete estadístico SAS y consistieron en análisis de varianza y comparaciones múltiples de medias por tukey.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las siguientes Figuras se muestra el crecimiento y el rendimiento del cultivo en diferentes muestreos.

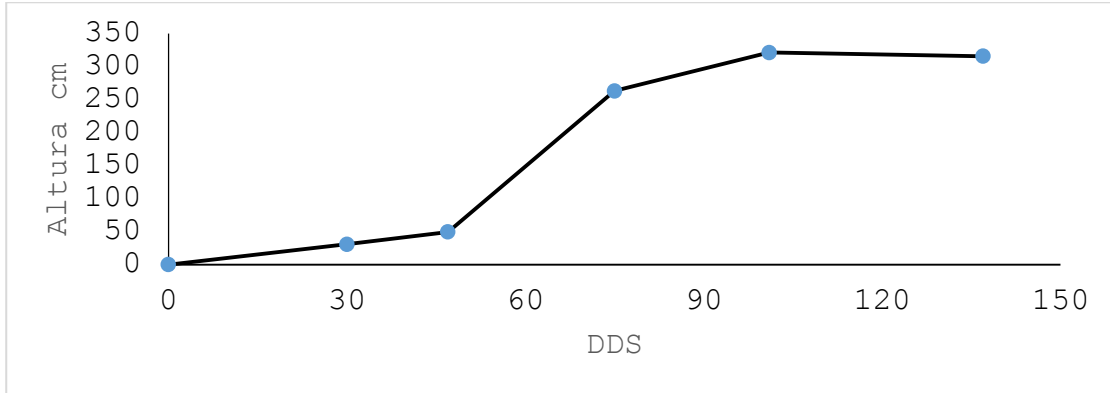


Figura 13. Altura de la planta en cm, DDS: días después de siembra.

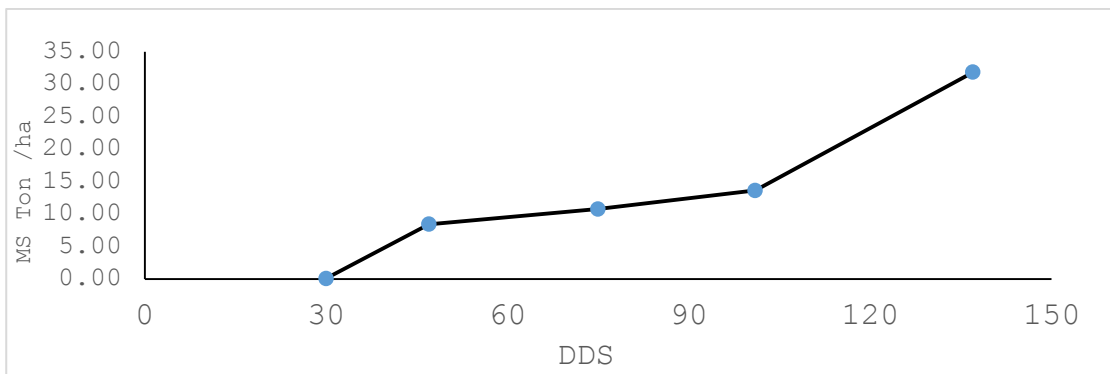


Figura 14. Materia seca en Toneladas/Hectárea.

En la Figura 13 se observa un mayor desarrollo de la planta después de los 60 DDS, lo cual se mantiene a partir de los 90 DDS a una altura de 300cm. La Figura 14 se observa mayor más alto en materia seca a partir de los 130 DDS con 30 toneladas / hectárea, mientras tanto de los 30 a 90 DDS es inferior a 5 toneladas/hectárea Como los datos reportado por Amador y Boshini(2000), encontrando un descenso en la acumulación de materia seca a partir de los 90 DDs, por lo tanto un disminución de materia seca.

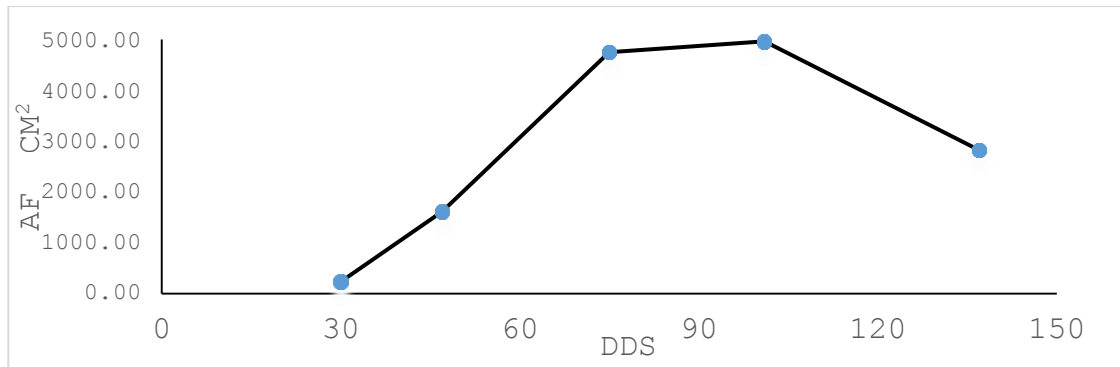


Figura 15. Área foliar cm^2 , Días Después de siembra.

Durante el ciclo del cultivo como se muestra en la figura 15 se tiene mayor índice de área foliar a partir de los 80 a 100 DDS.

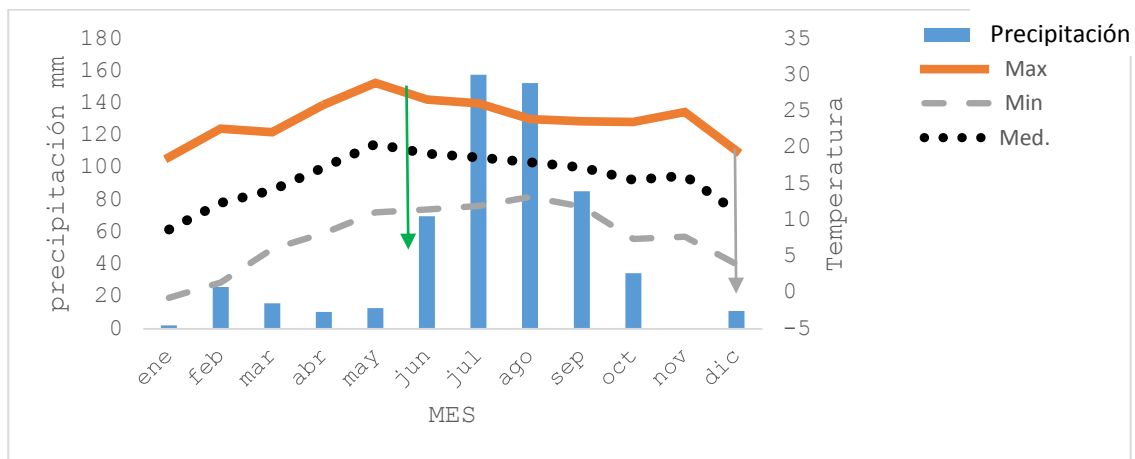


Figura 16. Precipitación media durante el ciclo del cultivo (junio-octubre), en el año 2016.

En la Figura 16, se observa la fecha de siembra del maíz (flecha verde) y la última fecha de muestreo en $\frac{3}{4}$ línea de leche (flecha color gris).

Uno de los principales factores que afectó en el desarrollo del cultivo fue la precipitación ocurrida en el periodo de crecimiento y temperatura durante el ciclo del cultivo.

Tabla 6. Producción de biomasa en las planta de maíz en fase de formación de espiga durante el ciclo cultivo.

ALT.= altura de la planta en cm, PVM= peso verde de la muestra kg, AF= área folia cm² IAF= índice de área foliar cm², PVP= peso de verde de la planta kg, W= peso seco de la planta.

TRATAMIENTO	ALT	PVM	AF	IAF	PVP	W
1	263a	25.10a	9.15a	0.78a	1.85 ^a	288.50a
2	279a	26.50a	10.73a	0.92a	2.21ab	321.50a
3	260.75a	28.17a	8.51a	0.73a	1.92ab	317.25a
4	258.25a	27.47a	8.90a	0.76a	1.82ab	290.50a
5	257.7a	24.80a	8.23a	0.71a	1.81ab	291.25a
6	262.7a	24.05a	8.63a	0.74a	1.54b	274.50a
7	252.7a	23.40a	9.30a	0.80a	1.57b	301.25a
8	271.7a	26.57a	7.46a	0.64a	1.82ab	295.00a
CV	4.68376	4.68	4.68376	4.68376	4.68376	4.68
DMS	45.21	6.50	4.706	0.4054	0.5181	85.36

Letras diferentes indica diferencia significativa para LSD (P<0.05). **DMS**=diferencia mínima significativa **CV**= coeficiente de variación.

Como se puede observar en el tabla 5. El hibrido ocelote no presenta diferencias entre los componentes de la biomasa ni en materia seca. Con esto coincide con el resultado obtenido por (Amador y Boshini,2000), después de los 90 DDS existe un descenso en la acumulación de materia seca.

Tabla 7. Producción de biomasa de las planta de maíz en fase lechoso- masoso durante el ciclo cultivo.

TRATAMIENTO	ALT	PVM	AF	IAF	PVP	w
1	329.67a	37.40a	10.62a	0.91a	2.58^a	443.67a
2	322.33a	39.13a	10.54a	0.90a	2.79^a	488.00a
3	335.67a	35.53a	10.37a	0.89a	3.11 ^a	475.33a
4	325.33a	36.40a	9.91a	0.85a	2.51 ^a	445.00a
5	308.00a	35.90a	9.72a	0.83a	2.78a	384.00a
6	318.67a	37.33a	9.76a	0.84a	2.63a	464.33a
7	306.67a	34.10a	10.59a	0.91a	2.60a	485.67a
8	337.67a	37.46a	9.21a	0.79a	2.78a	453.67a
CV	4.89	4.89	4.89	4.89	4.89	4.89
DMS	41.58	9.23	2.3	0.2	1.04	137.17

Letras diferentes indica diferencia significativa para LSD (P<0.05). **DMS**=diferencia mínima significativa **CV**= coeficiente de variación.

Como se muestra en la tabla 6. La producción de biomasa no hubo diferencias significativas entre los diferentes niveles de humedad. Lo contrario de maíz criollo en rendimiento de forraje verde de la investigación realizada por (Elizondo, 2017).

Tabla 8. Producción de biomasa en las plantas de maíz en la fase $\frac{3}{4}$ línea de leche.

TRATAMIENTO	ALT	PVM	AF	IAF	PVP	W
1	323.75a	36.67a	5.78a	0.49a	1.42a	745.50a
2	328.00a	33.12a	5.50a	0.47a	1.52a	751.25a
3	333.25a	30.17a	4.25a	0.36a	1.45a	789.00a
4	298.25a	30.95a	4.77a	0.40a	1.56a	817.50a
5	322.00a	29.92a	7.03a	0.60a	1.34a	740.75a
6	297.25a	29.92a	3.77a	0.32a	1.19a	756.75a
7	323.00a	32.02a	5.95a	0.51a	1.80a	803.25a
8	301.25a	31.67a	4.95a	0.42a	1.47a	798.50a
CV	4.68	4.68	4.68	4.68	4.68	4.68
DMS	40.94	7.69	4.02	0.34	1.05	137.33

Letras diferentes indica diferencia significativa para LSD (P<0.05). **DMS**=diferencia mínima significativa **CV**= coeficiente de variación.

Entre los variables evaluados se aprecia en la tabla 7 la producción de biomasa que estadísticamente no presentó diferencias significativas. Lo contrario de Arnoldo *et al.* (2016) mostro diferencias significativas en sus fases finales de crecimiento en el cultivo de maíz.

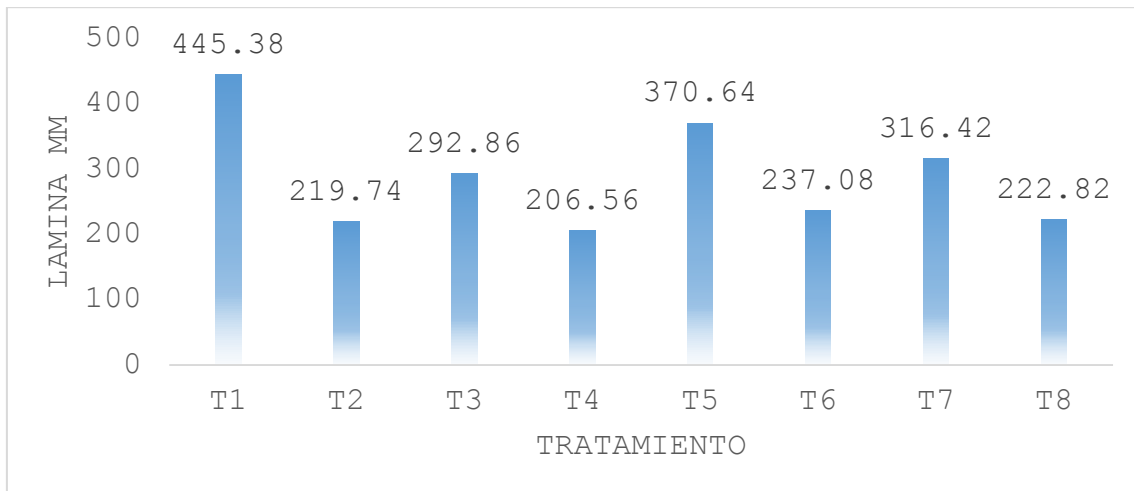


Figura 17. Primera fecha de evaluación, lechoso-masoso
Laminas aplicada en el experimento

VII. CONCLUSION

Considerando los objetivos del presente trabajo y la hipótesis, se concluye:

Que no existe diferencia significativa entre los siete diferentes niveles de humedad del suelo con la producción de biomasa en los tres fases del cultivo; en las etapas de formación de espiga, fase lechoso masoso y fase $\frac{3}{4}$ línea de leche en las variables evaluados del cultivo de maíz Ocelote.

VIII. LITERATURA CONSULTADA

- AGROPECUARIA, I. N. D. I. Y. T. E. T. (2008). Manual de recomendaciones del cultivo de maíz- San José.
- Arnoldo, R.-T. J., Castro-Nava, S., López-Santillán, J. A., Huerta, A. J., Trejo-López, C., & Briones-Encinia, F. (2006). Temperatura alta y estrés hídrico durante la floración en poblaciones de maíz tropical.
- Arnoldo et al. 2016. Fuentes de nitrógeno en el crecimiento y producción de biomasa en maíz.
- ASCENCIO, J. C. (1970). Análisis de crecimiento y eficiencia del frijol (*Phaseolus vulgaris L. var Turrialba-4*) cultivada en soluciones nutritivas.
- Bacallao, M. F., & Fundora, L. B. (2014). Tolerancia a estrés por déficit hídrico en tomate (*Solanum lycopersicum L.*).
- Benacchio, S. S. (1982). Algunas exigencias agroecológicas en 58 especies de cultivo con potencial de producción en el Trópico Americano. FONAIAP-Centro Nal. De Inv.
- Bonilla, N. M. (2009). Manual de recomendaciones técnicas, cultivo del maíz (*Zea mays*) san José, costa rica.
- Bolaños, E. J., & O. , G. (1992). Fenología del maíz. P. 251-261.
- Brown S. 1997. Estimating biomass and biomass change of tropical.
- Carrillo, T. C. (2000). Origen del maíz naturaleza y cultura en Mesoamérica.

Chaires, J. J. C., Hernández, G. N., Salgado, A. A., Contreras, R. F., Villalobos, S. O., & Medina, H. A. S. (2013). Efecto del agua aplicada en el rendimiento, calidad nutricional y eficiencia del uso del agua en maíz forrajero. *AGROFAZ*, 13(3).

Claassen, M.M. y R.H. Shaw. 1970. Water deficit effects on corn. II. Grain components. *Agron. J.* 62: 652-655.

DAVID. B. MONDEÑEDO, J. R., (2008). Manual para educación agropecuaria. TRILLAS. MEXICO.

Edmundo, A. M. (2013). Riego por goteo. 251-261.

ELIZONDO, J.; BOSCHINI, C. 2001. Producción de forraje con maíz criollo y maíz híbrido1.

Fernández, (2010) M. M. S. GARCIA, G. G. L., (2010) Sistema de riego localizado.

Financiera nacional de desarrollo agropecuario, r., forestal y pecuario. (2014). Panorama del maíz.

Flores, L., Medida, E., Osorio, J., & López, P. (2012). Efecto del estrés hídrico sobre el crecimiento y eficiencia del uso del agua en plántulas de tres especies arbóreas caducifolias *Terra Latinoamericana*, p.342-353.

Fuentes, J. L. Y., (2008). Instalación de riego por goteo, Madrid.

García, V. J. B., Reyna, V. d. P. Á., Herrera, S. A. R., Díaz, F. J., Rangel, P. P., Ogaz, A., & González, H. Z. (2014). Rendimiento de maíz forrajero bajo la adición de ácido húmico y algaenzimas. *Revista Iberoamericana de Ciencias*.

- Garay, J. A., & Colazo, J. C. (2015). Cultivo de maíz en San Luis Potosí.
- Gonzales, U. A. (2009). Maíz y su Conservación. México. *Trillas*.
- Hernández. S. G. CASA, A. E. F. M., O. W. GALVIS, J.A.V,. (1995). Análisis y estimación de parámetros e índice de crecimiento del árbol de maraco (*Theobroma bicolor* H.B.K) a primera floración.
- Hunt, R. (1982). Plant growth curves. The functional approach to plant growth analysis. Edward Arnold Publishers, Ltd. London. 248 p.
- Hunt, R. (1978). Plant Growth analysis. Studies in biology. No. 96. Edward Arnold (Publisher). London. 67 p.
- Instituto de la Potasa y el Fosfato. (1997). Manual Internacional de la Fertilidad del Suelo. INPOFOS, Quito, Ecuador.
- Inzunza, M. I. A., Villa, M. C., Catalán-Valencia, E. A., & Mendoza, M. S. F. (2006). Modelo para estimar el rendimiento de maíz en función de la humedad del suelo. *Terra Latinoamericana*, 24(2), 179-185.
- Inzunza-Ibarra, M. A., Catalán-Valencia, E. A., Sánchez-Cohen, I., Villa-Castorena, M., & Román-López, A. (2010). Modelo de producción de trigo bajo déficit hídrico en dos períodos de crecimiento. *Terra Latinoamericana*, 28(4), 335-344.
- Klinge H, R Herrera. (1983). Phytomass structure of natural plant communities on spodosolsin Southern Venezuela: The tall Amazon Caatinga Forest. *Vegetatio* 53: 65-64.

- Levitt, (1980). Response of plants to environmental stresses. Water, Salt and other Stresses. Vol I. pp 129 - 186. Academic Press, NY.
- LIOTTA. M. LLERA H. PAZ. M. GONZALEZ, O. C., N. DELGADO, M. CIPPITELIL, M. MOLINA, D. GRAFFIGNA, L. REGGIO, L. (2015). Manual de capacitación: riego por goteo.
- Lorena, A. A. R., calos B. f. (2000). Nota técnica fenología productiva y nutricional del maíz para la producción de maíz forrajero. 171-177.
- Jugenheimer, R. w. (1990). Maíz. Variedades mejoradas, métodos de cultivo y producción de semillas. Editorial Limusa.
- Medina G, A. Ruíz. (2004) Estadísticas Climatológicas Básicas del Estado de Zacatecas (Período 1961 - 2003). SAGARPA-INIFAPCIRNOC- Campo Experimental Zacatecas. Libro Técnico No. 3. 40 p.
- MEDRANO, H. BOTA, J. CIFRE, J. FLEXA, J. RIBAS C. M. Y GULIAS J. (2007). Eficiencia en el uso del agua por las plantas.
- Ministerio de Agricultura y Cría. Maracay, V. p. (2002).
- MINISTERIO DE AGRICUTURA Y GANDERIA, (1976). Toma de muestras de suelo. Dirección de investigación agrícola. San José, costa rica. p. 4.
- MONDOÑEDO J.R. PH.D., I. DE LA ROSA PEÑALOZA F., KIRCHNER SALINAS C., & DIAS, U. O. M. T. A. (2008). Manual para educación agropecuarias maíz (producción vegetal 10).
- MORA A., R. (1998). Dinámica del Crecimiento y Productividad de *Solanum tuberosum* L. Bajo Temporal. Tesis de Doctor

- en Ciencias IRGP, Colegio de Postgraduados. Montecillos, México. P. 108.
- OLALLA, F. M. S. M., J.A.J. VALERO. (1993). Agronomía del riego. MUNDI- PRENSA.
- OLALLA. F. M. S. M. P. LOPEZ F. A. CALERA B. (2005). AGUA Y AGRONOMIA. EDITORIAL MUNDI-PRENSA. MEXICO
- Parson, D. B. M., J.R. ser. (1990). Manual para educación agropecuaria. Maíz. Trillas, México.
- Peña, Q. J. L. (2011). Evaluación de la producción de chilote en el cultivo de maíz (Zea maíz) variedad HS-5G utilizando sustrato mejorado y determinación de KC Y KY. *UNIVERSIDA NACIONAL AGRARIA*, 15.
- PIZARRO, F. Riegos Localizados de alta frecuencia: goteo, micro aspersión, exudacion.2a Edición. Ed.Mundi-Prensa.1990.
- Salgado, S. Z., & Espinoza, F. H. (2011). Régimen hídrico del maíz en una zona árida, determinando el porcentaje de evaporación. *Tropical and subtropical agroecosystems*. 181-186.
- Sánchez J, M. M. G., C W Stuber. (2000). Isozymatic and mor-phological diversity in the races of maize of Mexico. *Econ.c Bot*. 54:43-59.
- Schmidt, S., & Kuri, H. G. (2012). El agua en México. *Foreign Affairs Latinoamérica*, 12(4), 89-96.
- Sebastián, P. M. (2013). Productividad de tres híbridos de maíz bajo riego por goteo.

- Segura M. 1997. Almacenamiento y fijación de carbono en *Quercus costarricensis*, en un bosque de altura en la cordillera de Talamanca, Costa Rica. Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica. Escuela de Ciencias Ambientales. 126 p. + anexos.
- Servín, P. M. S., Pérez, A. S., & Gutiérrez, R. A. S. (2012). Producción de chile seco con riego por goteo sub-superficial.
- SIAP, (2015) Avance de siembra y cosecha, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP).
- SIAP, (2016) Avance de siembra y cosecha, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP).
- SIAP, (2018). Avance de siembra y cosecha, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP).
- Taiz, L., Zeiger, E. (2006). Fisiología vegetal. Vol. 10. Universitat Jaume I.
- Tucuch-Cauich, C. A., Rodríguez-Herrera, S. A., Reyes-Valdés, M. H., Pat-Fernández, J. M., & Córdova-Orellana, F. M. T.-C. H. S. (2011). Índice de selección para producción de maíz forrajero *Agronomía Mesoamericana*.
- Reta Sánchez, David Guadalupe; Faz Contreras, Rodolfo (1999). Respuesta del maíz a diferentes niveles de humedad en el suelo. Rendimiento de grano y sus componentes.
- Rey, M. S. G. (2010). La escasez de Agua en el mundo y la importancia del Acuífero Guaraní para Sudamérica: Relación abundancia-escasez: CAEI.
- Rivera, M. G., Estrada, A. J., Orona, C. I. y Sánchez, O. I. (2007). Producción De Alfalfa Con Riego Por Goteo

- Subsuperficial. Una opción para regiones con escasa disponibilidad de agua. CENID - RASPA, INIFAP. 54:43-59.
- VILLALOBOS. F.J. MATEOS. L. ORGAZ. F. FERERES. E. (2002). Fitotecnia base y tecnologías de la producción agrícolas. Ediciones Mundi-presa, México.
- Wise, T. A. (2008). Estado de emergencia para el maíz mexicano. Proteger la agrobiodiversidad apuntalando la economía campesina. En Cefo, JL (Coord.) Desde los colores del maíz una agenda para el campo mexicano. México: El colegio de Michoacán, 167.
- ZOTARELLI, L. DUKES, M. D. MORGAN, T. K., (2013). Interpretación del contenido de humedad del suelo para determinar capacidad de campo y evitar riego excesivo en suelos arenosos utilizando sensores de humedad.