

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TORREÓN
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

**USO DE DENSIDADES DE POBLACION PARA
INCREMENTAR EL RENDIMIENTO EN MAIZ
FORRAJERO CON RIEGO POR GOTEO**

Tesis que presenta:

JAVIER ISMAEL GARCIA HERNÁNDEZ

Como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN IRRIGACIÓN

Director de tesis:

Ph.D. JOSE ERNESTO FRIAS RAMIREZ



Tesis elaborada bajo la supervisión del comité particular de tesis la cual ha sido aprobada y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN IRRIGACIÓN

COMITÉ PARTICULAR

DIRECTOR DE TESIS: _____
Ph.D. JOSÉ ERNESTO FRIAS RAMIREZ

CO-DIRECTOR: _____
Ph.D. ARTURO REYES GONZÁLEZ

ASESOR: _____
DR. JOSE ALFREDO MONTEMAYOR TREJO

ASESOR: _____
DR. PABLO YESCAS CORONADO.

Octubre, 2024
México

Torreón, Coahuila,

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme salud y permitirme concluir esta etapa de mi vida por nunca dejarme solo en todo el camino recorrido y darme fuerzas para superar los momentos difíciles que se presentaron.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico otorgado para ser posible esta maestría.

Al Instituto Tecnológico de Torreón, por lo brindado durante mi estancia en el posgrado, en donde pase dos excelentes años.

A mi comité de asesores: principalmente al PhD José Ernesto Frías Ramírez, PhD. Arturo Reyes González por ser excelentes personas, por la confianza, su tiempo, los consejos, el apoyo, la amistad brindada y los conocimientos compartidos estaré siempre agradecido con ustedes sin su apoyo no hubiera sido posible este trabajo.

Al Dr. José Alfredo Montemayor Trejo y Dr. Pablo Yescas Coronado por sus aportaciones en la realización de mi tesis.

A mis profesores quienes me compartieron sus enseñanzas, consejos y fueron parte de mi formación, aquellos que más que profesores fueron mis amigos muchas gracias por todo.

DEDICATORIA

A Dios por haberme permitido llegar hasta este momento de mi formación profesional y por nunca dejarme solo a pesar de las difíciles adversidades durante este recorrido también por haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A mi esposa Idolina González Ramírez que siempre ha sido un pilar muy importante en mi vida y a mis hijos Tadeo Ismael y Mateo Israel García González por haberme apoyado en todo momento, son las personas más importantes en mi vida que me hacen llenar de orgullo, junto con mis padres Javier García Gómez y Ma. Guadalupe Hernandez Alvarado que los amo y espero poder recompensar todo lo que han hecho por mí, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser la persona que ahora soy.

A mis amigos en especial a Iliana Calvo, Andrés Fonseca y Jaime Guadalupe Valenzuela con quienes compartí excelentes momentos. En esta travesía de dos años juntos compartiendo momentos y experiencias inolvidables.

INDICE

<u>AGRADECIMIENTO</u>	iii
<u>DEDICATORIA</u>	iv
<u>INDICE</u>	v
<u>INDICE DE FIGURAS</u>	viii
<u>ÍNDICE DE TABLAS</u>	x
<u>RESUMEN</u>	xi
<u>SUMMARY</u>	xiii
<u>1. INTRODUCCIÓN</u>	2
<u>1.1. Objetivo general</u>	4
<u>1.1.1. Objetivos específicos</u>	4
<u>1.2. Hipótesis</u>	4
<u>2. REVISIÓN DE LITERATURA</u>	5
<u>2.1. El maíz</u>	5
<u>2.1.1. Origen del maíz</u>	5
<u>2.1.2. Taxonomía</u>	5
<u>2.1.3. Características morfológicas</u>	6
<u>2.1.4. Exigencias edafológicas</u>	8
<u>2.1.5. Pluviometría</u>	8
<u>2.1.6. Riegos</u>	8
<u>2.1.7 Fenología del Maíz</u>	9
<u>2.1.8. Maíz forrajero</u>	11
<u>2.1.9. Importancia del Maíz Forrajero</u>	12
<u>2.1.10 Usos</u>	12
<u>2.2. Métodos de riego</u>	13
<u>2.2.1. Riego por inundación</u>	13

<u>2.2.2. Riego por aspersión</u>	14
<u>2.2.3. Riego Por Goteo</u>	16
<u>2.2.4. Riego por goteo subsuperficial</u>	17
<u>2.2.5. Riego Por Superficie</u>	19
<u>2.3. Produccion de maíz forrajero en riego por goteo subsuperficial en la Comarca Lagunera</u>	21
<u>2.3.1. Rendimiento de maíz forrajero en 3 sistemas de irrigación en la Laguna</u>	24
<u>2.4. Estimación del Área foliar y Materia seca en Maíz Forrajero</u>	26
<u>2.5. Relación de la producción de maíz y biomasa en pruebas experimentales en el Instituto Tecnológico de Torreón</u>	27
<u>2.6. Efecto de la Evapotranspiración (ET) en el área foliar del maíz forrajero bajo un sistema de riego por goteo</u>	28
<u>3. MATERIALES Y MÉTODOS</u>	31
<u>3.1. Área de estudio</u>	31
<u>3.2. Preparación del terreno</u>	31
<u>3.2.1. Subsuelo</u>	31
<u>3.2.2. Barbecho</u>	32
<u>3.2.3. Rastreo</u>	32
<u>3.2.4. Nivelación</u>	33
<u>3.2.5. Instalación de cintilla</u>	34
<u>3.2.6. Siembra</u>	34
<u>3.2.7. Sistema de riego</u>	35
<u>3.2.8. Fertilización</u>	36
<u>3.3. Diseño experimental</u>	37
<u>3.4. Variables evaluadas</u>	38
<u>3.4.1. Altura de planta</u>	38
<u>3.4.2. Índice de área foliar (IAF)</u>	39
<u>3.4.1. Acumulación de biomasa</u>	40
<u>3.4.3. Producción de forraje verde</u>	41
<u>3.4.4. Producción de forraje seco</u>	42
<u>3.5. Análisis estadísticos</u>	42
<u>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	43

<u>4.1. Clima</u>	43
<u>4.2. Altura de planta</u>	44
<u>4.3. Índice de área foliar (IAF)</u>	45
<u>4.4. Acumulación de biomasa por planta</u>	46
<u>4.5. Rendimiento de forraje verde</u>	48
<u>4.6. Rendimiento de forraje seco</u>	49
<u>5. CONCLUSIONES</u>	51
<u>6. LITERATURA CITADA</u>	52

INDICE DE FIGURAS

<u>Figura 2.1. Comparación de la producción de forraje seco en tres separaciones de cinta de goteo subsuperficial y gravedad.....</u>	24
<u>Figura 2.2. Monitoreo del índice de área foliar en el ciclo fenológico de maíz forrajero en dos híbridos de maíz bajo tres diferentes niveles de evapotranspiración.</u>	26
<u>Figura 2.3. Valores de índice de área foliar (IAF) para tres variedades de maíz con diferentes niveles de riego en el Campo Experimental Laguna INIFAP, Matamoros, Coahuila, México.</u>	30
<u>Figura 3.1. Subsuelo.....</u>	32
<u>Figura 3.2. Rastra</u>	33
<u>Figura 3.3. Nivelación con escrepa</u>	33
<u>Figura 3.4. Instalación de cintilla a 15 cm de profundidad.....</u>	34
<u>Figura 3.5. Siembra con el híbrido Pioneer 3201</u>	35
<u>Figura 3.6. Fertilización con inyector Venturi</u>	37
<u>Figura 3.7. Toma de alturas con el estatal en los tratamientos evaluados</u>	38
<u>Figura 3.8. Medición de índice de área foliar con AccuPAR en los tratamientos</u>	39
<u>Figura 3.9. Muestreo de plantas para determinación de materia seca en maíz forrajero durante el ciclo agrícola primavera 2023.....</u>	40
<u>Figura 3.10. Cosecha y determinación de peso fresco de maíz forrajero durante el ciclo agrícola primavera 2023.</u>	41
<u>Figura 4.1. Temperatura máxima y precipitación durante el ciclo primavera 2023.</u>	43

<u>Figura 4.2. Altura de planta de los diferentes tratamientos durante el ciclo primavera 2023. Las barras verticales indican la desviación estándar.....</u>	<u>44</u>
<u>Figura 4.3. Índice de área foliar en maíz forrajero con tratamientos de riego y densidad de población de plantas los, durante el ciclo primavera 2023.</u>	<u>45</u>
<u>Figura 4.4. Tratamiento de riego y densidades de población de plantas durante el ciclo primavera 2023.....</u>	<u>46</u>
<u>Figura 4.5. Peso fresco y seco de cinco plantas en maíz forrajero en función de tratamiento de riego y densidades de población de plantas durante el ciclo primavera 2023.</u>	<u>47</u>
<u>Figura 4.6. Rendimiento de forraje verde para diferentes densidades de población y sistemas de riego en el ciclo de primavera 2023.....</u>	<u>48</u>
<u>Figura 4.7. Rendimiento de forraje seco para tres densidades de población por riego por goteo en el ciclo primavera 2023..</u>	<u>50</u>

ÍNDICE DE TABLAS

<u>Tabla 1. Altura de planta, diámetro de tallo y peso fresco de la planta en tres profundidades de cinta de goteo subsuperficial y riego por surco.</u>	<u>24</u>
<u>Tabla 2. Comparación de medidas de alturas de planta y peso de elote en tres sistemas de riego</u>	<u>25</u>
<u>Tabla 3. Comparación de medidas de materia seca y eficiencia del uso del agua en los tres sistemas de riego.....</u>	<u>25</u>
<u>Tabla 4. Peso seco total (PST) de órganos vegetativos y reproductivos (OR), y porcentaje del peso vegetativo (V) y reproductivo (R), de maíz forrajero con dos fuentes de Nitrógeno. Torreón, Coahuila, México. Ciclo primavera-verano 2014.....</u>	<u>28</u>
<u>Tabla 5. Lámina de riego aplicada para cada tratamiento.....</u>	<u>36</u>

RESUMEN

Hoy en día, es una realidad que el cambio climático ha provocado una escasez en la disponibilidad del agua, lo que representa un problema mundial para la producción agrícola. El riego por goteo y la alta densidad de población de plantas son alternativas viables para incrementar el rendimiento y hacer un uso eficiente del agua. El objetivo de esta investigación fue determinar la mejor combinación de densidad de población de maíz forrajero (100, 150 y 200 mil plantas por hectárea) y profundidades de riego (riego por goteo superficial y goteo enterrado a 15 cm). El estudio se llevó a cabo en el campo experimental del INIFAP en Matamoros, Coahuila, utilizando el híbrido de maíz Pioneer 3201.

Los resultados mostraron que la mayor acumulación de biomasa por planta se obtuvo con una densidad de 100 mil plantas por hectárea y riego por goteo enterrado. Sin embargo, el rendimiento por hectárea de maíz forrajero (tanto verde como seco) fue mayor para la combinación de 200 mil plantas por hectárea con riego enterrado, aunque estadísticamente similar a los rendimientos obtenidos con 150 y 100 mil plantas bajo riego enterrado y con 200 mil plantas bajo riego por goteo superficial. Esto sugiere que, con el uso de riego por goteo (tanto subsuperficial como superficial) y una densidad de 200 mil plantas, se puede incrementar el rendimiento promedio regional de maíz forrajero en la Comarca Lagunera. Además, con esta densidad de plantas y

riego superficial, se puede alcanzar el mismo rendimiento ahorrando 500 mil litros de agua por hectárea.

Palabras clave: Eficiencia hídrica, densidad de plantación, Comarca lagunera, Maíz forrajero

SUMMARY

Nowadays, it is a fact that climate change has resulted in lower water availability, posing a global challenge for agricultural production. Drip irrigation and high plant density are viable alternatives for increasing crop yield and water use efficiency. The objective of this research was to determine the optimal combination of plant density (100, 150, and 200 thousand plants per hectare) and drip irrigation depth (surface and 15 cm subsurface). The study was conducted at the experimental field of INIFAP in Matamoros, Coahuila, Mexico, using Pioneer 3201 as the genetic material.

The results indicated that the highest biomass accumulation per plant was achieved with a density of 100 thousand plants and subsurface drip irrigation. However, the forage corn yield per hectare (both fresh and dry) was greatest with a combination of 200 thousand plants per hectare and subsurface drip irrigation, although it was statistically similar to the yields obtained with 150 and 100 thousand plants under subsurface irrigation, as well as with 200 thousand plants under surface irrigation. This suggests that utilizing drip irrigation (both surface and subsurface) with a plant density of 200 thousand plants could exceed the average regional yield of forage corn in the Comarca Lagunera. Furthermore, this plant density combined with surface drip irrigation can achieve equivalent crop yields while saving 500 thousand liters of water per hectare.

Key words: Water efficiency, Plant density, Comarca Lagunera, Forage corn

1. INTRODUCCIÓN

La escasez de agua en regiones áridas y semiáridas del mundo es un problema que día a día es más frecuente a consecuencia del calentamiento global. El agua interviene en el rendimiento de los cultivos en todos los sistemas de producción agrícola. En México el 76%, es destinada para actividades agrícolas (CONAGUA, 2018). La insuficiencia de este recurso hídrico es uno de los principales problemas ambientales en el mundo (Martínez, Díaz y Moeller 2019), por ende, es importante hacer un uso eficiente del agua, debido a la relación que existe entre el vital líquido y la producción de biomasa generada en el cultivo (Salazar et al., 2014).

El riego por goteo subsuperficial (RGS) es uno de los sistemas que se han probado con efectividad en la producción de cultivo en regiones áridas como en el norte de México (Montemayor et al., 2012), es por ello por lo que es importante la determinación el momento del riego y la cantidad de agua que se adiciona a los cultivos, la cual se estima a partir de la evapotranspiración potencial (ETP).

La Comarca Lagunera, es una de las regiones con más superficie sembrada de cultivos de forraje ya que es la cuenca lechera de mayor relevancia en México. La región está conformada por 10 municipios de Durango y 5 municipios de Coahuila. El sistema de producción del maíz forrajero se caracteriza por sembrar en surcos de 76 cm, a una densidad de población de 100 mil plantas

por hectárea; sin embargo, se requiere explorar sistemas de producción con altas densidades que puedan incrementar los rendimientos.

Por tanto, es indispensable medir el efecto de diferentes tipos de riego que promueven el uso eficiente del agua y contrarrestan la escasez de esta. Para esta investigación, se evaluará entre otras variables, el efecto en la producción maíz forrajero, con la aplicación de un sistema de riego por goteo superficial y subsuperficial, puesto que una de las grandes ventajas de este sistema es, el ahorro en el consumo de agua, con lo cual se reduce la superficie evaporante, las pérdidas por escorrentía, y la percolación profunda, adicional que favorece la aplicación de fertilizantes por medio de los goteros, puede adaptarse a diferentes tipos de suelo, pendientes y clima (Solano et al., 2021). Reyes et al., 2020, mencionan que con el riego por goteo y el uso del coeficiente de cultivo se puede incrementar el uso eficiente del agua en la agricultura.

En el estudio realizado por Zamora et al., 2007, en el que evaluó el rendimiento de tres densidades de siembra de maíz, reportó que obtuvo los mayores rendimientos al incrementar las densidades de las plantas/ha y reducir los distanciamientos entre estas. Por su parte Tinoco en 2005, encontró que las densidades de siembra y el arreglo espacial de plantas, trabajando individualmente o en conjunto con dosis y épocas de fertilización, fueron las más relevantes, al impactar directamente sobre el área foliar acumulada por unidad de superficie (IAF). Debido a lo anterior, para la presente investigación se evaluó

el sistema de riego por goteo, superficial y subsuperficial y la interacción entre estos con las diferentes densidades de siembra de maíz forrajero y su efecto en la producción.

1.1. Objetivo general

- Determinar el rendimiento de maíz forrajero para la Comarca Lagunera en función de combinaciones de densidad de población y profundidad de cinta de riego.

1.1.1. Objetivos específicos

- Identificar la mejor densidad de plantas para obtener los mayores rendimientos de forraje verde y seco.
- Comparar el sistema de riego por goteo superficial y goteo enterrado en la producción de maíz.
- Determinar la combinación densidad de población y profundidad de cintilla de goteo que maximice el rendimiento.

1.2. Hipótesis

- Incrementando la densidad de población a 200 mil plantas por hectárea con riego por goteo enterrado se puede superar el rendimiento promedio regional de maíz forrajero.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. El maíz

El nombre científico del maíz es *Zea mays*, cuenta con inflorescencias tanto masculinas como femeninas, que se encuentran en la misma planta, si bien la planta es anual su rápido crecimiento le permite alcanzar hasta los 2.5 m de altura con un tallo erguido rígido y sólido. El maíz es el tercer cereal más cultivado del mundo, solamente detrás del trigo y el arroz (Izquierdo, 2012), además, se puede desarrollar en una gran variedad de climas que van desde el trópico hacia los climas templados, desde el nivel del mar a altitudes de 300 msnm y latitudes ecuatoriales entre 23 grados Norte y 23 grados sur del Ecuador.

2.1.1. Origen del maíz

El maíz es originario de América Latina donde era el alimento básico de las culturas americanas muchos siglos antes de que los europeos llegaran al Nuevo Mundo, el origen de esta planta sigue siendo un misterio hay pruebas concluyentes aportadas por los hallazgos arqueológicos y paleobotánicos de que en el valle de Tehuacán al sur de México ya se cultiva maíz hace aproximadamente 4600 años (Moreno, 1986).

2.1.2. Taxonomía

Botánicamente, el maíz (*Zea mays* L.) pertenece a la siguiente posición taxonómica (Cabrerizo, 2012).

Reino: Vegetal

Subreino: *Embryobionta*

División: *Angiospermae*

Clase: *Monocotyledoneae*

Orden: *Poales*

Familia: *Poaceae*

Género: *Zea*

Especie: *Mays*

2.1.3. Características morfológicas

El maíz (*Zea mays*) es una planta perteneciente a la familia de las gramíneas. A continuación, se presentan algunas características morfológicas de esta importante especie basado en lo que expresa. Maroto, (1998)

2.1.3.1. El Tallo

El tallo es la parte erecta de elevada longitud, pudiendo alcanzar los 4 m de altura, además, es robusto y sin ramificaciones por su aspecto concuerda al de una caña, presenta entrenudos, y si una médula esponjosa si se realiza un corte transversal.

2.1.3.2. Inflorescencia

El maíz es de inflorescencia monoica, es decir que cuenta con inflorescencia masculina y femenina separada dentro de la misma planta, en cuanto a la inflorescencia masculina presenta una panícula vulgarmente denominada espigón o penacho con una decoloración amarilla que posee una cantidad muy elevada de polen en el orden de 20 a 25 millones de granos cada inflorescencia que compone la panícula se presentan tres estambres en donde se desarrolla el polen, en cambio la inflorescencia femenina marca un menor contenido en granos de polen alrededor de los 800 o 1000 granos y se forman en unas estructuras vegetativas denominadas espádices que se encuentran de forma lateral (Arocena, 1933).

2.1.3.3. Las Hojas

Respecto a las hojas son largas de gran tamaño, se encuentran abrazadas al tallo y por ellas presenta vellosidades, también sus extremos de las hojas son muy afilados y pueden llegar a ser cortantes.

2.1.3.4. La Raíz

Las raíces son fasciculadas y su misión es básicamente tomar agua y nutrientes del suelo, aunque también aportar un perfecto anclaje a la planta en algunos casos llegan a sobresalir unos nudos de las raíces a nivel del suelo y suele ocurrir en aquellas raíces secundarias o adventicias.

2.1.3.5 Grano

La cubierta de la semilla (fruto) se llama pericarpio, es dura, por debajo se encuentra la capa de aleurona que le da color al grano (blanco, amarillo, morado), contiene proteínas y en su interior se halla el endosperma con el 85-90% del peso del grano. El embrión está formado por la radícula y la plúmula (Guevara et al., 2005).

2.1.4. Exigencias edafológicas

El maíz requiere una temperatura de 25 a 30 grados centígrados además de que también necesita bastante incidencia de luz solar y en condiciones donde exista un clima húmedo su rendimiento suele ser más bajo. Para que se logre la germinación de la semilla la temperatura óptima es de 15° a 20° C.

El maíz llega a soportar temperaturas mínimas de 8 grados y temperaturas máximas de 30 grados si rebasa los límites establecidos pueden ocurrir problemas serios entre ellos, una mala absorción de nutrientes minerales y agua, en el caso de la fructificación se requieren temperaturas que rondan entre los 20 a 30°C.

2.1.5. Pluviometría

Las aguas en forma de lluvia son muy necesarias en periodos de crecimiento en unos contenidos de 40 a 65 cm.

2.1.6. Riegos

El maíz es un cultivo exigente en agua en el orden de unos 5 mm al día. Los riegos pueden realizarse por aspersión y gravedad, sin embargo, el riego más empleado es el riego por gravedad. Las necesidades hídricas del cultivo van variando a lo largo del ciclo. Por ejemplo, cuando la planta comienza a nacer requiere menos cantidad de agua, sin embargo, para mantener una humedad constante en la fase de crecimiento vegetativo es cuando la cantidad de agua suele ser mayor, teniendo como referencia un riego de 10 a 15 días antes de la floración. Este es el periodo más crítico porque de ella va a depender el cuajado y la cantidad de producción obtenida; por lo que se aconseja que el riego se mantenga y la humedad permita una eficaz polinización y cuajado. (Zamora et al., 2007)

2.1.7 Fenología del Maíz

La fenología del maíz se divide en dos etapas (INTA, 2012).

Etapa Vegetativa	V(n) enésima hoja
VE emergencia	VT Panoja
V1 primera hoja	
V2 segunda hoja	Etapa Reproductiva
V3 tercera hoja	R1 sedas

R2 ampolla

R5 Dentado

R3 Grano lechoso

R6

Madurez

Fisiológica

R4 Grano pastoso

Dentro del desarrollo de los estados fenológicos del maíz ocurren eventos importantes en ciertos estados, que se mencionan a continuación:

- V3: El punto de crecimiento está bajo tierra, las bajas temperaturas pueden aumentar el tiempo entre la aparición de las hojas y el daño por helada en este estado tiene muy poco efecto en el crecimiento y en el rendimiento final.
- V6: En este estado se recomienda completar la fertilización, puesto el sistema de raíces nodales está bien distribuido en el suelo. También es posible observar síntomas de deficiencias de macro o micronutrientes.
- V9: En este estado varias mazorcas rudimentarias ya se encuentran formadas, la panoja se desarrolla rápidamente en el interior de la planta. Además, comienza una rápida acumulación de biomasa, absorción de nutrientes y agua que continuará hasta casi el término del estado reproductivo.

- V12: Aquí se determina el tamaño potencial de mazorca y número potencial de óvulos por mazorca. Dado que se está formando el tamaño de la mazorca y número de óvulos, el riego y la nutrición son críticos.
- V15: Es el estado más crucial para la determinación del rendimiento. Las hojas aparecen cada uno o dos días y las sedas están comenzando a crecer en las mazorcas superiores.
- R1: El número de óvulos fertilizados se determina en este estado. Los óvulos no fertilizados no producen grano y mueren. El estrés ambiental en este momento afecta la polinización y cuaje, especialmente el estrés hídrico que deseca las sedas y los granos de polen. Además, a partir del inicio de este estado hasta R5 se produce un rápido llenado del grano por lo que se presenta también ataque de gusano por lo que es necesario realizar controles.
- R5: Los granos empiezan a secarse desde la parte superior donde se forma una capa blanca de almidón. El estrés y las heladas pueden reducir el peso de los granos. Llegando a R6 donde el grano alcanza su peso máximo y es cosechado.

2.1.8. Maíz forrajero

El maíz forrajero es cultivado para la alimentación de ganado se recoge y ensila para suministro en épocas donde no hay posibilidad de pastorear a los animales

para ello la siembra se realiza en forma masiva. El ensilaje consiste en una técnica en la que el maíz u otros tipos de forrajes se almacenan en un lugar o construcción (silo) con el fin de que se produzcan fermentaciones anaerobias.

Para Garces, et al., (2004) El ensilaje es la fermentación de los carbohidratos solubles del forraje por medio de bacterias que producen ácido láctico en condiciones anaeróbicas. Al generar estos ácidos, el pH del material ensilado baja a un nivel que inhibe la presencia de microorganismos que inducen la putrefacción, el proceso del ensilaje se puede dividir en:

- Silos de campo
- Silos en depósito
- Silos en plástico
- Silos en torre

2.1.9. Importancia del Maíz Forrajero

Su importancia radica en su valor nutritivo ya que aporta un alto nivel energético tanto en proteínas como sales minerales, además, es necesario destacar que el contenido en materia seca del maíz ensilado se consigue con un forraje bien conservado.

Dentro de las características principales Johnson (1990) menciona que las hojas son largas de gran tamaño alternas se encuentran abrazadas al tallo y por el

haz presenta vellosidades los extremos de las hojas son muy afilados y cortantes mientras que las raíces son fasciculadas y su misión es la de aportar un perfecto anclaje a la planta.

2.1.10 Usos

Su uso es para consumo animal ya que la planta de maíz es un excelente forraje para el ganado especialmente para las vacas lecheras y los animales de tiro se utiliza como forraje en varias etapas del crecimiento de la planta especialmente en el momento de la emisión de la panoja o más adelante.

Garces et al., (2004) explica que el ensilado de cultivos forrajeros o de subproductos industriales podría ser una contribución importante para optimizar el funcionamiento de los sistemas de producción animal en zonas tropicales y subtropicales, pero su empleo es todavía muy escaso.

2.2. Métodos de riego

La clasificación más común de métodos de riego se establece de acuerdo con la forma con él como el agua es esparcida o distribuida sobre el suelo dependiendo de las características topográficas los tipos de cultivo la disponibilidad del recurso hídrico costos y también la posibilidad de acceder a tecnologías con altos requerimientos de inversión entre otros factores.

2.2.1. Riego por inundación

Llamado también por desborde o anegamiento consiste en dejar escurrir el agua desde canales los cuales son trazados por los sectores más altos de los potreros. En el riego por inundación el suelo se humedece al tiempo que el agua cubre la superficie en una lámina delgada, dicha inundación puede ser natural cuando se aprovecha la elevación del nivel de los ríos en el riego por inundación la separación entre camellones es mucho mayor que el ancho de los mismos quedando una faja de terreno de ancho considerable por lo cual el agua penetra verticalmente por efecto continuo gravitacional y de ajuste capilar.

En cuanto al riego por inundación diferencias entre las características topográficas configuran las variables en el trazado y dimensiones de cada unidad denominada melga lo que consiste en una faja de terreno eliminada por camiones o bordos.

Cuando el relieve es plano, pero algo irregular para melgas rectas o pozas el trazado de camellones o bordos siguiendo curvas de nivel vinculado dos a dos por medio de camellones transversales delimitan áreas de incubación que reciben el nombre de melgas en contorno o melgas de nivel (López et al., 2017).

2.2.2. Riego por aspersión

Es un riego que se caracteriza por la utilización de aspersores ya sean fijos o móviles, los cuales simulan una lluvia artificial, es perfecta para grandes cultivos los cuales necesitan ser cubiertos en su totalidad, es importante que se planee

su construcción porque tiene varios factores que pueden ocasionar ciertos inconvenientes, pero a la misma vez ser muy prácticos (Garces, et al., 2004)

Ejemplo de esto es la pueden llegar a lugares que son pendientes o de difícil acceso, su estructura lo posibilita para ser ejecutado de esta manera, por otro lado, se debe tener mucha atención y rotar sus posiciones o direcciones ya que pueden generar una escorrentía, esto es el rebose de las aguas por acumulación.

Es importante también que sea afectado por los cambios climáticos, al tratar de simular una lluvia, el viento le puede jugar una mala pasada, ya que las corrientes de aire pueden generar un desvío del agua, llevándolas a lugares que no deben.

Las características principales del aspersor son la presión y su rotación, cuando se produce la rotación básicamente se coloca sobre un eje vertical que le da estabilidad, mediante un choque de un brazo móvil, secciona el chorro, dando un efecto y un uso más eficiente, el propósito es interrumpir el chorro.

2.2.2.1. Ventajas Del Sistema De Riego Por Aspersión

- Independientemente del tipo de suelo, el sistema es una buena opción.
- Es perfecto para lugares con pendientes y de difícil acceso, por lo anterior, evita que no se deba modificar terrenos para nivelar, lo que equivale a no tener un gasto en adecuaciones.

- Se puede automatizar.
- Requiere poca mano de obra.
- No necesita análisis topográficos

2.2.2.2. Desventajas Del Sistema De Riego Por Aspersión

- Las condiciones atmosféricas y climatológicas afectan en gran medida la dirección del chorro.
- Puede generar erosión y escorrentía.
- La simulación de un ambiente lluvioso y húmedo puede generar el hábitat de plagas y hongos.
- La presión ejercida en el proceso representa un incremento en la actividad.

2.2.3. Riego Por Goteo

Es un riego que se caracteriza por la aplicación de pequeñas emisiones de agua por medio de unos emisores o goteros que se conectan a una tubería o manguera, su aplicación no requiere de mucha mano de obra, ya que es de fácil manejo, su instalación se conoce como riegos fijos. El riego por goteo depende demasiado de una red de bombeo hidráulico (Lamm et al, 2006; Zamora et al., 2007).

2.2.3.1. Componentes del Riego por Goteo

- Cabezal de riego: Es la estación de control desde aquí se regula las emisiones de toda la red de tuberías.
- Red de tuberías: Son las ramas del sistema, en ella se transporta el agua, pueden ser primarias secundarias o terciarias, también se le conoce como porta regantes.
- Emisores de riego: Son orificios en la cinta de goteo, estos permiten emitir alrededor de 2 litros de agua por hora.
- Filtros: Son los encargados de que los emisores no se tapen con elementos como materiales orgánicos, algas etc. Se componen de arena o grava para limpiar, se recomienda cambiar la arena ya que se acumula demasiados elementos.

2.2.3.2. Ventajas del sistema de riego por goteo

- Perfecto para terrenos áridos arenosos y secos.
- Permite un ahorro significativo de agua.
- Su montaje requiere menos trabajo.
- No produce deslizamiento por la mínima cantidad que se utiliza.
- No genera erosión en la tierra.

- No produce daños ambientales graves.
- Es perfecto para cultivos ligeros.

2.2.3.3. Desventajas del Sistema de Riego por goteo

- Es un sistema de riego de costo elevado.
- Tiene una obturación lo cual requiere de mucha verificación para evitarla.
- No es recomendable para cultivos densos.

2.2.4. Riego por goteo subsuperficial

El riego por goteo subsuperficial básicamente es la combinación del riego por goteo y el riego por subterráneo donde se colocan tuberías o cintas de riego con una profundidad de 10-50 cm de profundidad cerca de la zona radicular de la planta (Godoy 2000; Camp, et al 2000).

Ventajas

- Ahorro de agua: reduce significativamente el consumo de agua
- Reducción de la evapotranspiración: al colocar las tuberías bajo la superficie del suelo, se reduce la evaporación y el escurrimiento

Desventajas

- Costo inicial: tiene un mayor costo en comparación con otros sistemas de riego

- Mantenimiento: se requiere de un mantenimiento regular para asegurar su funcionamiento de manera óptima.

Algunas instituciones como el INIFAP han usado el atmómetro y coeficiente del cultivo en la programación del riego en maíz forrajero , dicha tecnología consiste en programar los riegos en base a la evapotranspiración tomada del atmómetro el cual es un equipo para estimar la evapotranspiración y el coeficiente del cultivo estimado en índices de vegetación, un método útil para programar los riesgos en los cultivos es multiplicar el valor diario de la evapotranspiración por el coeficiente, donde los riegos fueron aplicados cada tercer día, además con una programación adecuada se logró un ahorro de 1.200 metros cúbicos de agua.

Por otro lado, los sistemas de producción forrajeros en la Comarca Lagunera enfrentan la problemática de una disponibilidad de agua muy baja, con una explotación de acuíferos que muestran déficit del 57%, por lo que también existe una mala programación y aplicación de ellos ya que se utiliza principalmente el sistema de riego por inundación el cual algunas investigaciones han demostrado que es el menos eficiente (-60%) bajo estas condiciones la producción de los cultivos se ve afectada es por ello que es importante desarrollar estrategias de riego de bajo costo y fáciles de aplicar.

En investigaciones donde se aplicó la tecnología en base al atmómetro y el coeficiente del cultivo se demostró que el rendimiento de forraje verde se

incrementó en 10 toneladas por hectárea (20.8%) y el forraje seco en 4.3 toneladas por hectárea (27.7%) respecto a la parcela tradicional de riego superficial o por inundación. Así mismo la eficiencia del agua se incrementó (EUA) en 0.85 kg de forraje seco en metros cúbicos y se logró un ahorro de 7 cm de lámina de riego.

2.2.5. Riego Por Superficie

El riego por superficie es aquel que utiliza grandes caudales hídricos, este riego se puede dividir en dos, una inundación por manta a terrenos y por surcos parcialmente inundados, la primera cubre total 18 mente todo el terreno, se podría decir que se embalsa por completo, se crean grandes piscinas de cultivos, el otro utiliza los surcos mediante la gravedad, es la que permite generar la acción de fuerza. Como bien se decía el consumo de agua para este sistema de riego es demasiado grande y significativo, la razón es por el tipo de cultivo que maneja, estos requieren abundante suministro de agua (Garces et al., 2004).

Cómo utilizar gravedad su proceso se realiza por medio de zanjas, compuertas, y adecuaciones del terreno que permita el libre recorrido de las aguas. Se tiene que contar con un drenaje para no empozar indefinidamente el agua, ya que si no se hace se puede generar plagas, algas y finalmente la muerte del cultivo. El sistema supone ser menos eficiente que otros sistemas de riego, no todos los cultivos lo requieren o pueden utilizarlo.

2.2.5.1. Ventajas del sistema de riego por superficie.

- No requiere consumo de energías salvo la extracción de los reservorios o los afluentes.
- Es fácil de mantener.
- Es más simple.

2.2.5.2. Desventajas del sistema de riego por superficie

- Requiere un mayor consumo de agua
- Son muy propensos a tener inundaciones indefinidas si no se posee un drenaje óptimo.
- Se requiere de mucho análisis topográfico.
- Su montaje es costoso.
- Puede provocar erosión en el suelo.
- Suele ser menos eficiente que otros sistemas.

2.3. Producción de maíz forrajero en riego por goteo subsuperficial en la Comarca Lagunera

En la producción de maíz forrajero en la Comarca Lagunera se ha encontrado ventajas al usar este método de riego (Montemayor et al, 2010) en una investigación sobre el cultivo de maíz donde se buscó realizar el análisis de la eficiencia del agua. En esta investigación se estableció un diseño que contó con bloques al azar y 4 repeticiones. El gasto de la cinta fue de 3 L/ha por metro lineal con orificios espaciados a 30 cm y espesor de 10,000 micrones. El maíz forrajero fue sembrado en 2 hectáreas con la semilla de ASPROS 900 y una densidad de 104,000 mil plantas. Los resultados de la investigación mostraron que se obtuvo un ahorro de agua de 17 cm correspondiente a un 27.4% y una relación beneficio/costo para RGS DE \$1.8 respecto a Rg. (Montemayor, et al 2006).

En otra investigación hecha por Yescas et al., (2015) en el Instituto Tecnológico de Torreón establecieron 2 tipos de riego por goteo, el superficial y el subsuperficial para maíz forrajero, donde los resultados demostraron que el riego por goteo subsuperficial obtuvo mejores resultados en distintos niveles. En el caso de (FV) se obtuvo un mayor rendimiento con 57,664 t/ha en una densidad de 100,000 plantas a comparación del otro tipo de riego (RS) donde se obtuvo 54,331 t/ha con la misma densidad. Cabe señalar que el riego por goteo subsuperficial (RGS) es uno de los sistemas que se han probado con efectividad

en la producción de cultivos Kasumba et al., (2010) en regiones del norte de México donde se caracterizan por ser regiones áridas Montemayor et al., (2012).

En una investigación realizada por Charles et al., (1999) con un productor del municipio de Torreón, Coahuila que cultiva maíz forrajero, estableció el riego por goteo subsuperficial en una superficie de dos hectáreas. Los tratamientos fueron comparados con un testigo (riego por gravedad), los resultados (Figura 2.1.) arrojaron que el rendimiento máximo de 20.19 Mg fue para el tratamiento de 0.8 m de separación entre cintas de riego, los rendimientos de 15.88 y 12.16 Mg, corresponden a los tratamientos de 0.9 y 1.0 m de separación entre cintillas lo que indica que la producción de forraje bajo el sistema de riego por gravedad fue inferior con respecto a los tratamientos de riego subsuperficial.

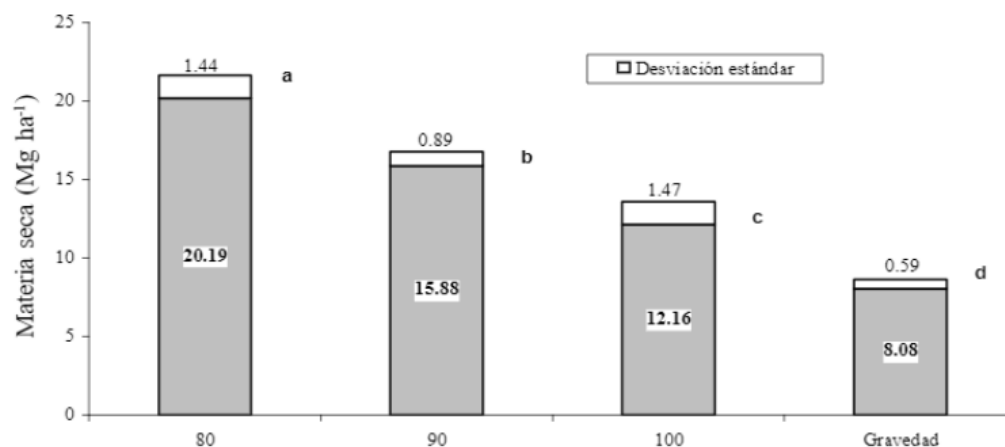


Figura 2.1. Comparación de la producción de forraje seco en tres separaciones de cinta de goteo subsuperficial y gravedad.

En otra investigación realizada por Montemayor et al, (2006) se evaluaron los efectos de las profundidades de cinta de riego, en los parámetros del rendimiento del cultivo, así como en la eficiencia del uso del agua, con respecto al sistema de gravedad.

El trabajo se desarrolló en el ciclo agrícola verano-otoño del 2002 en la pequeña propiedad “Urquizo” de la empresa Beta Santa Mónica S.P.R. de R.L ubicada en el ejido Santa Mónica, municipio de San Pedro, Coahuila. Se estableció la variedad de maíz Dekalb 875, en un sistema de siembra en camas a 1.5 m de separación con doble hilera a 0.75 m y una distancia entre plantas de 0.1 m.

Al momento de la siembra se aplicaron 450 kg ha^{-1} de fertilizante con la fórmula 16-16-16 para todo el ciclo del cultivo. El agua utilizada fue de un pozo profundo con clasificación C4-S1 que corresponde a un alto contenido en sales y bajo contenido en sodio de acuerdo con las normas del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos.

El diseño experimental fue un bloques al azar en cuatro tratamientos y cuatro repeticiones. Los tratamientos evaluados fueron tres profundidades de cinta: 0.25, 0.35 y 0.45 m y un testigo que fue el sistema de riego por gravedad en surcos, donde el gasto de la cinta fue de 2.98 litros por hora (L h^{-1}) por metro lineal, con orificios espaciados a 0.3 m a una presión de operación de 0.7 kg cm^2 y espesor de la pared de 0.250 mm.

Los resultados mostraron una mayor altura de la planta en el riego subsuperficial con 1.72 m, a diferencia del sistema por goteo normal con 1.64 m. En el caso del diámetro de tallo y peso fresco por planta, no existieron diferencias estadísticas; sin embargo, el mayor diámetro de 2.12 cm fue en la profundidad de 0.45 y por último el peso fresco por planta fue similar en todos los tratamientos evaluados.

Tabla 1. Altura de planta, diámetro de tallo y peso fresco de la planta en tres profundidades de cinta de goteo subsuperficial y riego por surcos

Treatment (depth m)	Plant height (m)	Stem diameter (cm)	Fresh plant weight (g)
SDI (0.25)	1.72 a	1.97 a	720 a
SDI (0.35)	1.56 b	2.00 a	712 a
SDI (0.45)	1.59 ab	2.12 a	821 a
FIS	1.67 ab	2.05 a	671 a

2.3.1. Rendimiento de maíz forrajero en 3 sistemas de irrigación en La Laguna

Esta investigación señala que uno de los mayores problemas en la Comarca Lagunera a la hora de producir forrajes es la disponibilidad de agua, es por ello que Montemayor et al., (2012), evaluaron tres sistemas de irrigación: riego por goteo subsuperficial (RGS), pivote central (PC) y gravedad (G) en maíz forrajero (*Zea mays* L.). Ellos obtuvieron modelos de consumo de agua aplicada, índice de área foliar (IAF), producción de materia seca (MS) y productividad del agua (PA), para ello se utilizó el híbrido ASPROS 900 en una densidad de 90 000 plantas por hectárea. En la Tabla 2, ellos identificaron que la altura en el riego

por goteo subsuperficial (RGS) fue de 289 cm lo que demuestra un avance de 82% más que en riego por gravedad donde la altura fue de 158 cm y un 25% más que en pivote central con 230 cm. Por otro lado, el peso de elote en RGS fue de 0.440 Kg, 90% más que en gravedad con 0.231 Kg y en pivote central fue de 0.319 Kg, esto es un 28% menos que en RGS y un 38% más que en gravedad. Al respecto, Montemayor et al., (2006) reportó pesos de elote de 0.345 Kg en (RGS) y 0.238 Kg en riego por gravedad.

Tabla 2. Comparación de medidas de alturas de planta y peso de elote en tres sistemas de riego.

Riego	Altura (cm)	Error estándar	Tc	Peso elote (kg)	Error estándar	Tc	T _t
RGS <i>vs</i> PC	289 ^{RGS a}	1.68	19.8	0.440 ^{RGS a}	0.006	10.4	1.81
RGS <i>vs</i> G	230 ^{PC b}	2.46	96.3	0.319 ^{PC b}	0.01	31.3	
PC <i>vs</i> G	158 ^{G c}	0.8	27.9	0.231 ^{G c}	0.003	8.45	

Por otro lado, y en este mismo estudio, estos investigadores reportaron que la producción de (MS) Materia seca fue de 41% y 33% más con respecto a gravedad y pivote central (Tabal 3).

Tabla 3. Comparación de medidas de materia seca y eficiencia del uso del agua en los tres sistemas de riego

Riego	Materia seca (kg ha ⁻¹)	Error estándar	Tc	EUA (kg m ⁻³)	Error estándar	Tc	T _t
RGS <i>vs</i> PC	18354 ^{RGS a}	228.25	16.6	4.07 ^{RGS a}	0.16	7.36	1.81
RGS <i>vs</i> G	12257 ^{PC b}	287.01	27.0	2.35 ^{PC b}	0.17	13.0	
PC <i>vs</i> G	10829 ^{G c}	159.06	4.3	1.74 ^{G c}	0.08	3.24	

2.4. Estimación del Área foliar y Materia seca en Maíz Forrajero.

En una investigación publicada por la Revista Tecnológica CEA en el 2018, se enfocó en investigar el índice de área foliar del maíz forrajero debido a que este dato proporciona información acerca de la cantidad de superficie fotosintética presente, la cual tiene una relación a la superficie total del ecosistema, por otro lado hay estudios que muestran que al estudiar el IAF también se estudia la relación entre la acumulación de biomasa y rendimiento bajo diferentes condiciones, esto permite saber cual es la más eficiente. Nafarrete et al, (2018)

Los resultados arrojaron que la mayor (IAF) se encontró en el tratamiento con la Evapotranspiración (ET) del 100% con riego por inundación, a diferencia de una (ET) del 60% donde se notó una disminución de (IAF), lo anterior se puede apreciar en la (Figura 2.2).

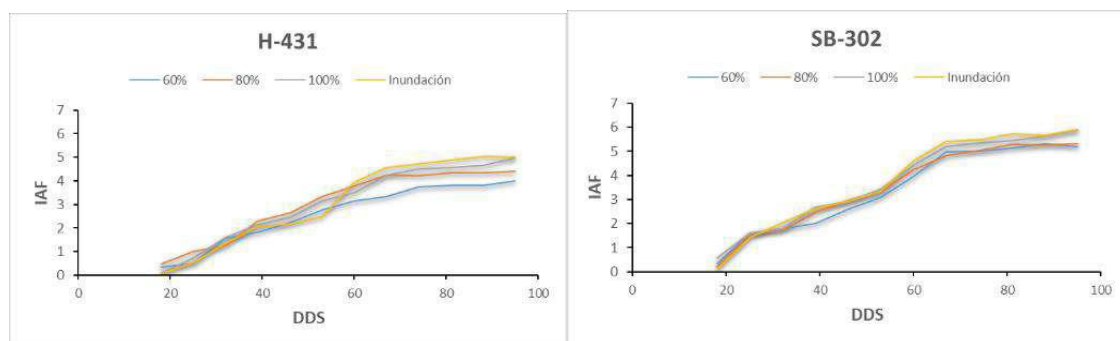


Figura 2.2. Monitoreo del índice de área foliar en el ciclo fenológico de maíz forrajero en dos híbridos de maíz bajo tres diferentes niveles de evapotranspiración.

2.5. Relación de la producción de maíz y biomasa en pruebas experimentales en el Instituto Tecnológico de Torreón.

En una investigación realizada en Torreón, Coahuila se identificó el efecto de 2 fuentes de nitrógeno en el cultivo de maíz forrajero, todo lo anterior mediante la evaluación de la distribución de la biomasa y el avance de su crecimiento, para lograr así determinar su eficiencia de producción. El suelo del área experimental fue un Calcisol háplico. INEGI, (2000), la capa superficial tenía una textura franco-arcillosa con un pH de 8.33, C.E de 1.6 mS cm.

Se utilizó el híbrido HT9019Y cuyas características destacan que es de cruza simple, grano amarillo forrajero y de ciclo precoz. Se utilizó un arreglo con una separación entre planta de 0.76 m de separación entre surcos y 15 cm de distancia entre planta obteniendo así una densidad de 90,000 plantas por hectárea.

Los dos tratamientos fueron distribuidos en un diseño de bloques al azar con ocho repeticiones. Al final se obtuvo una acumulación de biomasa por metro cuadrado donde se identificó una diferencia estadísticamente significativa de ($p \leq 0.05$) en sus fases finales de crecimiento: Los datos detallados se encuentran en la (Tabla 3). La acumulación de biomasa coincide con los valores más altos de IAF, debido a que la producción de materia seca total es el resultado de la eficiencia del follaje en la intercepción y utilización de la radiación solar disponible durante el ciclo de crecimiento (Díaz et al, 2014).

Tabla 4. Peso seco total (PST) de órganos vegetativos y reproductivos (OR), y porcentaje del peso vegetativo (V) y reproductivo (R), de maíz forrajero con dos fuentes de Nitrógeno. Torreón, Coahuila, México. Ciclo primavera-verano 2014.

Fuente de N	Muestreo (dds)	Hojas (g m ⁻²)	Tallo (g m ⁻²)	Total (g m ⁻²)	OR (g m ⁻²)	PST (g m ⁻²)	V (%)	R (%)
Tradicional	20	12.8 a*	5.86 a	18.6a		18.6 a	100a	0a
	40	88.2 a	51.0 a	139.2a		139.2 a	100a	0a
	60	176.8 a	169.5 b	346.3b	7.8 a	354.1 a	97.8a	2.2a
	80	211.6 b	862.5 b	1074.1b	392.6 b	1466.7 b	73.2b	26.8b
Entec	20	12.0 a	5.7 a	17.7a		17.7 a	100a	0a
	40	87.8 a	54.5 a	142.3a		142.3 a	100a	0a
	60	193.8 a	204.3 a	398.1a	10.6 a	408.7 a	97.4a	2.6a
	80	279.9 a	917.8 a	1197.7a	531.4 a	1729.1 a	69.3a	30.7a

2.6. Efecto de la Evapotranspiración (ET) en el área foliar del maíz forrajero bajo un sistema de riego por goteo.

La demanda de agua ha incrementado de manera exponencial por efecto del crecimiento de la población, siendo la agricultura el mayor consumidor de agua en el mundo utilizando 80% de agua para usos de irrigación. CONAGUA, (2016).

El problema de la disponibilidad y calidad de agua para la agricultura se debe a que otros sectores como la población, industria y ganadería se han incrementado generando una mayor demanda de agua y reduciendo el volumen de agua destinado para la agricultura. Asimismo, la baja eficiencia en el uso del agua, al aplicar volúmenes mayores a los que requiere el cultivo, agrava el problema. Reyes et al, (2019). Uno de los factores que influyen en el crecimiento

de las plantas y que puede ocasionar pérdidas económicas para los agricultores, es el estrés hídrico. Gao et al, (2007).

En una investigación realizada por Zavala et al., (2022) realizada en las instalaciones del Campo Experimental La Laguna, ubicada en Matamoros, Coahuila caracterizada por limitados recursos hídricos. La siembra se realizó en un suelo con textura areno-arcilloso donde se colocó una semilla a una distancia de siembra de 12 cm y 76 cm de separación entre surcos para alcanzar una densidad de 105 mil plantas por hectárea. En la Figura 2.3 se muestra que los tratamientos con 80% y 100% de ET, las plantas presentaron suficiente humedad en el suelo para que siguieran creciendo, mientras que en las plantas con los tratamientos de 60% de inundación, fueron limitadas por la humedad del suelo. Lo anterior concuerda con los resultados reportados por Reyes et al, (2019) ya que encontró también bajos valores de índice de área foliar (IAF) así como rendimiento y acumulación de biomasa del maíz para forraje con una densidad de 91 000 plantas por hectárea.

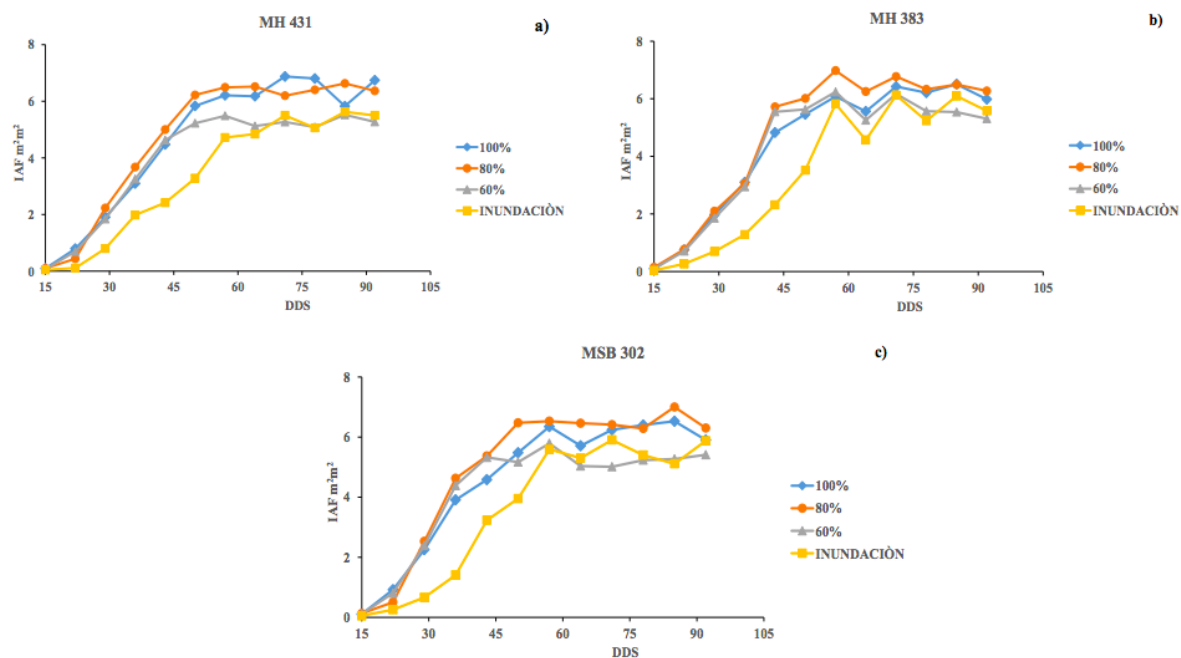


Figura 2.3. Valores de índice de área foliar (IAF) para tres variedades de maíz con diferentes niveles de riego en el Campo Experimental Laguna INIFAP, Matamoros, Coahuila, México.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Área de estudio

El trabajo se realizó en el ciclo de primavera 2023, en el Campo experimental La Laguna, del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP); ubicado a 25° 32' 41" de latitud norte, 103° 14' 42" de longitud oeste; y 1150 msnm, en Matamoros, Coahuila, México. El clima es muy seco semicálido (Bwh) con humedad atmosférica escasa, temperatura media anual de 22.6 °C, precipitación promedio de 215.5 mm y evaporación media anual de 2000 mm (García, 2004).

3.2. Preparación del terreno para el experimento

3.2.1. Subsuelo

Consiste en romper el suelo, a profundidades por debajo de la capa arable con el fin de aumentar la infiltración y la penetración del aire y las raíces del cultivo. Esta actividad se realiza al empezar las labores culturales. Aunque en muchos predios no se da esta labor. El subsuelo se llevó a cabo el 14 de febrero del 2023.



Figura 3.1. Subsuelo

3.2.2. Barbecho

Su finalidad es romper, aflojar y voltear la capa del suelo, enterrar los residuos y maleza para su descomposición y aumentar la fertilidad y contenido de materia orgánica en el suelo. En el experimento el barbecho se realizó a una profundidad de 30 cm. Esta actividad se llevó a cabo el 21 de febrero del 2023.

3.2.3. Rastreo

Esta actividad permite desbaratar los terrones grandes y deja la tierra bien mullida, lo cual proporciona la textura adecuada para realizar la siguiente labor, esto para que no se batalle al momento de meter la escrepa. El rastreo cruzado con la escrepa se realizó el 28 de febrero del 2023.



Figura 3.2. Rastra

3.2.4. Nivelación

La nivelación consistió en eliminar principalmente los “altos” o “bajos” que existen en el terreno con la finalidad de tener una uniformidad en la superficie de este para una mejor siembra y germinación. La nivelación se realizó el 06 de marzo de 2023.



Figura 3.3. Nivelación con escrepa

3.2.5. Instalación de cintilla

Para la instalación del riego por goteo superficial se colocaron las cintas de riego a dos profundidades (15 y 0 cm), con un espaciamiento entre ellas de 0.76 m, como se muestra en la siguiente figura. El enterrado de la cintilla se realizó el 20 de marzo de 2023.



Figura 3.4. Instalación de cintilla a 15 cm de profundidad

3.2.6. Siembra

El establecimiento del experimento se realizó el 28 de marzo de 2023, mediante siembra en seco depositando manualmente una semilla a una profundidad de 2-3 centímetros. El híbrido utilizado en este experimento fue el Pioneer 3201, apto para altas densidades de población. Para la población de 100 mil plantas se utilizaron 6 surcos sencillos de 8 metros de largo, con una separación de 76 centímetros entre surcos y 12.5 cm entre plantas. Para la densidad de 150 y 200 mil plantas se utilizaron seis surcos de 8 m de largo sembrados a doble hilera

con una separación de 20 cm entre surcos y 17.5 y 13 centímetros entre plantas, respectivamente.



Figura 3.5. Siembra con el híbrido Pioneer 3201

3.2.7. Sistema de riego

La aplicación del riego se realizó con el sistema riego por goteo subsuperficial (RGS), considerando que con este sistema el agua se aplica a las plantas lo más cercano al sistema radicular permitiendo un ahorro significativo de agua en relación a otros métodos de riego. La cinta utilizada fue la RO DRIP 8 mil con espesor de pared de 0.200 mm y diámetro interior de 16 mm, con emisores a 0.2 m y un gasto de 0.5 L h^{-1} por gotero. La presión de operación del sistema de riego fue de 8 PSI. La frecuencia de riego con el RGS fue cada tercer día. Para la programación del riego se aplicó el 100% de la E_{Tr} estimada mediante el uso de un atmómetro (equipo para estimar la E_{Tr}) y este se multiplico por un K_c

derivado de índices de vegetación del cultivo para aplicar la ET actual (Reyes et al., 2024).

Las láminas de riego aplicadas para cada tratamiento con diferentes densidades de población en maíz forrajero durante el ciclo agrícola primavera 2023, se muestran en la tabla 2.1.

Tabla 2.1. Láminas de riego aplicadas para cada tratamiento.

Goteo	Densidad plantas/ha	Lámina total cm
Superficial	100 mil	75
	150 mil	80
	200 mil	80
Subsuperficial	100 mil	80
	150 mil	85
	200 mil	85

3.2.8. Fertilización

La dosis de fertilización que se utilizó fue: 300-100-00 (NPK), utilizando como fuente de nitrógeno UAN 32 y como fuente de fosforo ácido fosfórico. La fertilización se fracciona y aplicó de acuerdo con el desarrollo fenológico del cultivo mediante el sistema de riego por goteo y un inyector Venturi.



Figura 3.6. Fertilización con inyector Venturi

3.3. Diseño experimental

El diseño experimental utilizado fue un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones bajo un arreglo de parcelas divididas, donde los factores de estudio fueron: A) diferentes densidades de población (100, 150, y 200 mil) y B) dos profundidades de cintilla (15 y 0 cm). En la parcela grande se establecieron las profundidades de cintilla y en la parcela chica se establecieron las tres densidades de planta.

3.4. Variables evaluadas

3.4.1. Altura de planta

La altura se midió con una cinta métrica en las primeras etapas del cultivo, posteriormente se midió con un estadal como se muestra en la figura en dos plantas escogidas al azar en cada parcela y tratamiento durante todo el ciclo del cultivo. Las mediciones se hicieron desde la superficie del suelo hasta la penúltima hoja del cultivo y estas se tomaron semanalmente a partir de los 15 días después de la siembra (dds).



Figura 3.7. Toma de alturas con estadal en los tratamientos evaluados

3.4.2. Índice de área foliar (IAF)

El IAF se midió con el ceptómetro PAR / LAI modelo Lp-80 de AccuPAR (Decagon Devices, Inc. Pullman, WA, EE. UU.). La barra del ceptómetro se colocó en un ángulo de 45° a través del surco del cultivo para medir la interceptación de la radiación fotosintéticamente activa (PAR) a lo largo de la barra, la cual se midió en cada parcela y tratamiento. Tres lecturas se tomaron por encima y por debajo de dosel del cultivo. Las lecturas se tomaron entre las 12:00 y 14:00 horas en días despejados sin nubes. Las mediciones se hicieron semanalmente a partir de los 15 (dds).



Figura 3.8. Medición de índice de área foliar con AccuPAR en los diferentes tratamientos

3.4.1. Acumulación de biomasa

Para el muestreo de materia seca se utilizó un método destructivo, para el cual cada 15 días se elegía una planta por tratamiento y repetición y se desmenuzaban en bolsas de papel para después ser llevadas a la estufa a una temperatura de 65° C por 72 horas, para después determinar la producción de materia seca de cada tratamiento. La acumulación de biomasa en la planta se realizaba cada dos semanas en todos los tratamientos en estudio.



Figura 3.9. Muestreo de plantas para determinación de materia seca en maíz forrajero durante el ciclo agrícola primavera 2023.

3.4.3. Producción de forraje verde

La producción de forraje verde se estimó al pesar tres metros lineales en los dos surcos centrales de cada tratamiento (4.56 m^2), se tomó el peso en verde, después se tomó una planta como muestra, se trituro y se metió en una bolsa de papel canela para meterlas a un invernadero de secado. A esta muestra se pesó en verde y después se sacó del invernadero de secado y se volvió a pesar en seco para determinar el porcentaje de materia seca.



Figura 3.10. Cosecha y determinación de peso fresco de maíz forrajero durante el ciclo agrícola primavera 2023.

3.4.4. Producción de forraje seco

La producción de forraje seco es el resultado de multiplicar el rendimiento de forraje en verde y el porcentaje de materia seca (Reyes et al., 2024).

3.5. Análisis estadísticos

El análisis de los datos se realizó para un diseño experimental de bloques al azar, en arreglo de parcelas divididas utilizando el programa estadístico SAS. Para la comparación de medias se utilizó la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Clima

La Figura 4.1 muestra la temperatura máxima, y precipitación pluvial que se presentaron durante el ciclo del cultivo. La temperatura máxima osciló de 18 a 41°C y la precipitación total fue de 45.2 mm. La línea punteada negra, indica la temperatura umbral máxima (35 °C), a la cual el maíz deja de crecer y desarrollarse (Lobell et al., 2013). Algunas investigaciones indican que cuando las plantas de maíz se someten a temperaturas superiores a 35 °C por más de ocho días durante la etapa reproductiva, el rendimiento se reduce hasta un 74% (Rincón et al., 2006).

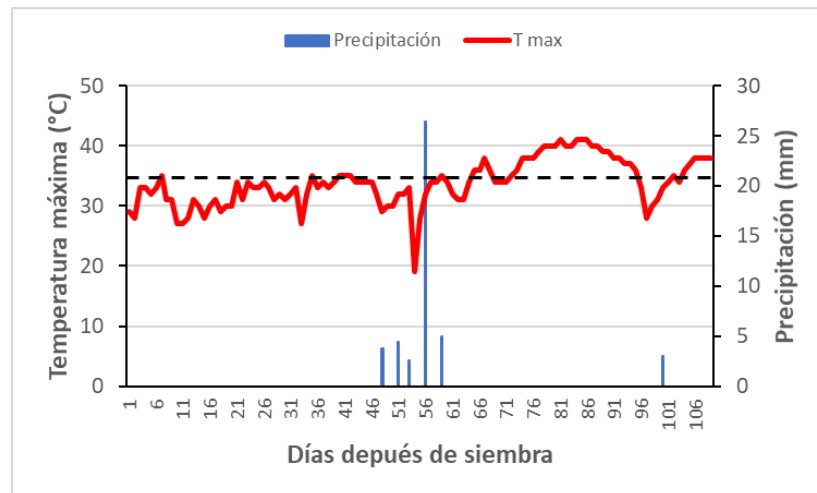
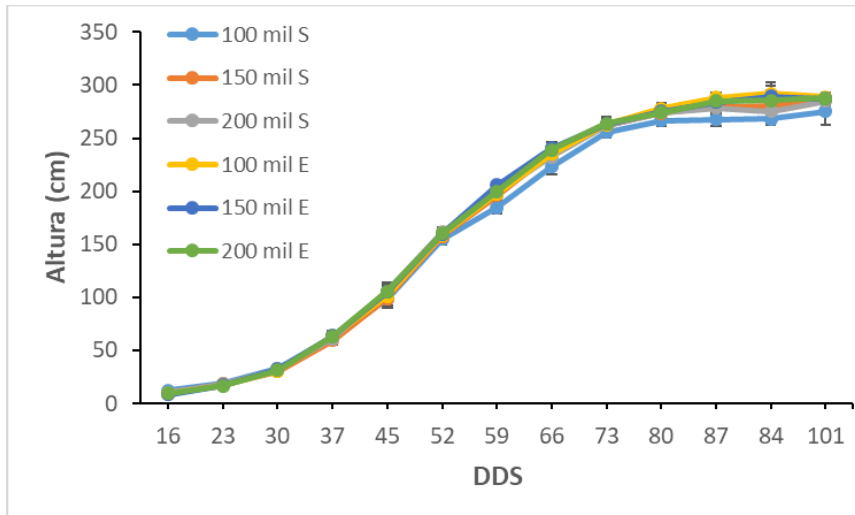


Figura 4.1. Temperatura máxima y precipitación durante el ciclo primavera 2023.

4.2. Altura de planta

La Figura. 4.2. muestra la dinámica de crecimiento de altura de planta del híbrido de maíz forrajero con diferentes densidades de población y sistemas de riego. La altura presentó una tendencia similar entre los tratamientos, sin embargo, la densidad de 100 mil plantas por hectárea con el sistema de goteo superficial mostro menor altura al final del ciclo de cultivo. Resultados inferiores de altura de planta fueron reportados por Reyes et al., (2019) (2024) con alturas promedio de 200 cm, sin embargo, resultados similares fueron reportados por Montemayor et al., (2012) y Yescas et al., (2015), quienes obtuvieron alturas de planta de 289 y 277 cm, respectivamente, en maíces para forraje.

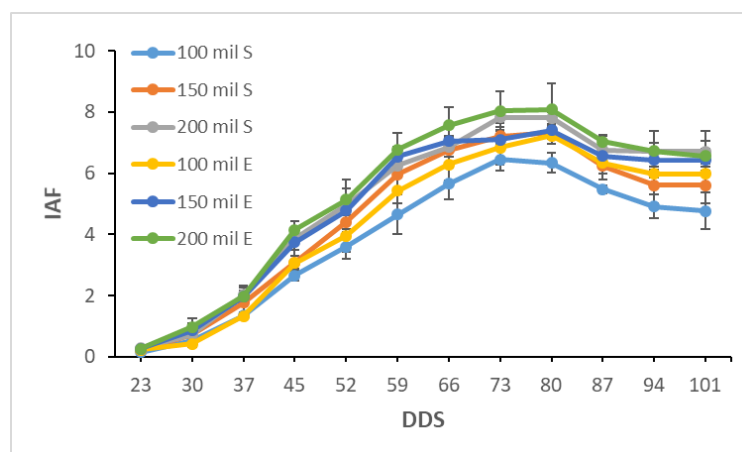


Las barras verticales indican la desviación estándar

Figura 4.2. Altura de planta de los tratamientos de riego y densidad de población para maíz forrajero, durante el ciclo primavera 2023.

4.3. Índice de área foliar (IAF)

Al inicio de la etapa de desarrollo del maíz (30-66 DDS) los valores de IAF comienzan a incrementarse, después se presentan valores constantes hasta los 80 DDS y al final del ciclo los valores disminuyen ligeramente (101 DDS), esto debido a la senescencia de las hojas cuando el cultivo alcanza su madurez fisiológica. (Figura 4.3). Los valores de IAF para el maíz establecido con 200 mil plantas fueron superiores a los valores registrados para la densidad de población de 100 mil plantas por hectárea y goteo superficial. Esto era de esperarse ya que en el tratamiento de 200 mil se tuvo mayor número de plantas por hectárea. Graficas similares de IAF fueron reportadas por Ortiz et al., 2022 quienes establecieron un experimento de maíz con diferentes profundidades de cintilla de riego (0.05, 0.15 y 0.0 m).

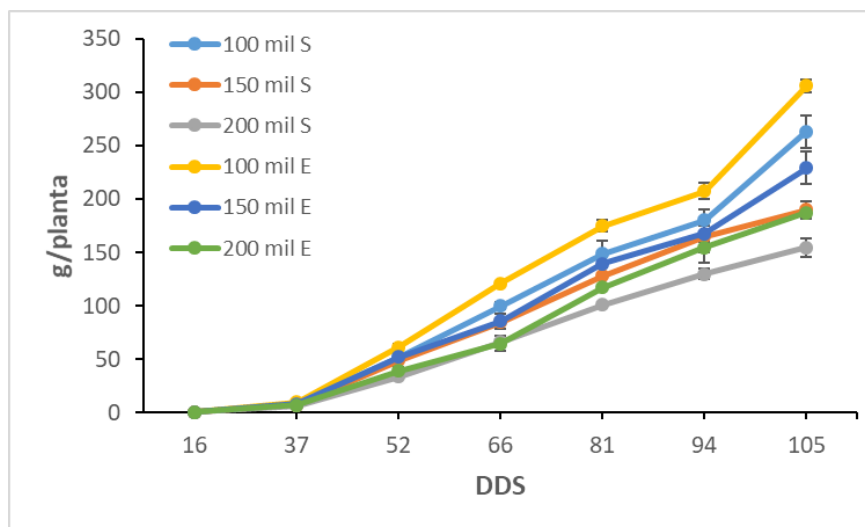


Las barras verticales indican la desviación estándar

Figura 4.3. Índice de área foliar en maíz forrajero con tratamientos de riego y densidad de población de plantas los, durante el ciclo primavera 2023.

4.4. Acumulación de biomasa por planta

La Figura 4.4. presenta la dinámica de acumulación de materia seca durante el ciclo del cultivo para los tratamientos utilizados en esta investigación, mientras que la Figura 4.5 muestra el peso de cinco plantas por tratamiento. Los resultados mostraron mayor acumulación de materia seca por planta en el tratamiento de 100 mil plantas por hectárea y riego por goteo enterrado, seguido por el tratamiento de 100 mil con riego por goteo superficial y la menor acumulación fue con la población de 200 mil plantas por hectárea con riego por goteo superficial. Esto se debe a que en el tratamiento de 100 mil plantas por hectárea, la planta mostró mayor diámetro de tallo y peso por planta, por lo que los valores de biomasa por planta fueron mayores en este tratamiento en comparación altas densidades donde hubo mayor número de plantas, pero con tallos y peso menor.



Las barras verticales indican la desviación estándar

Figura 4.4. Tratamiento de riego y densidades de población de plantas durante el ciclo primavera 2023.

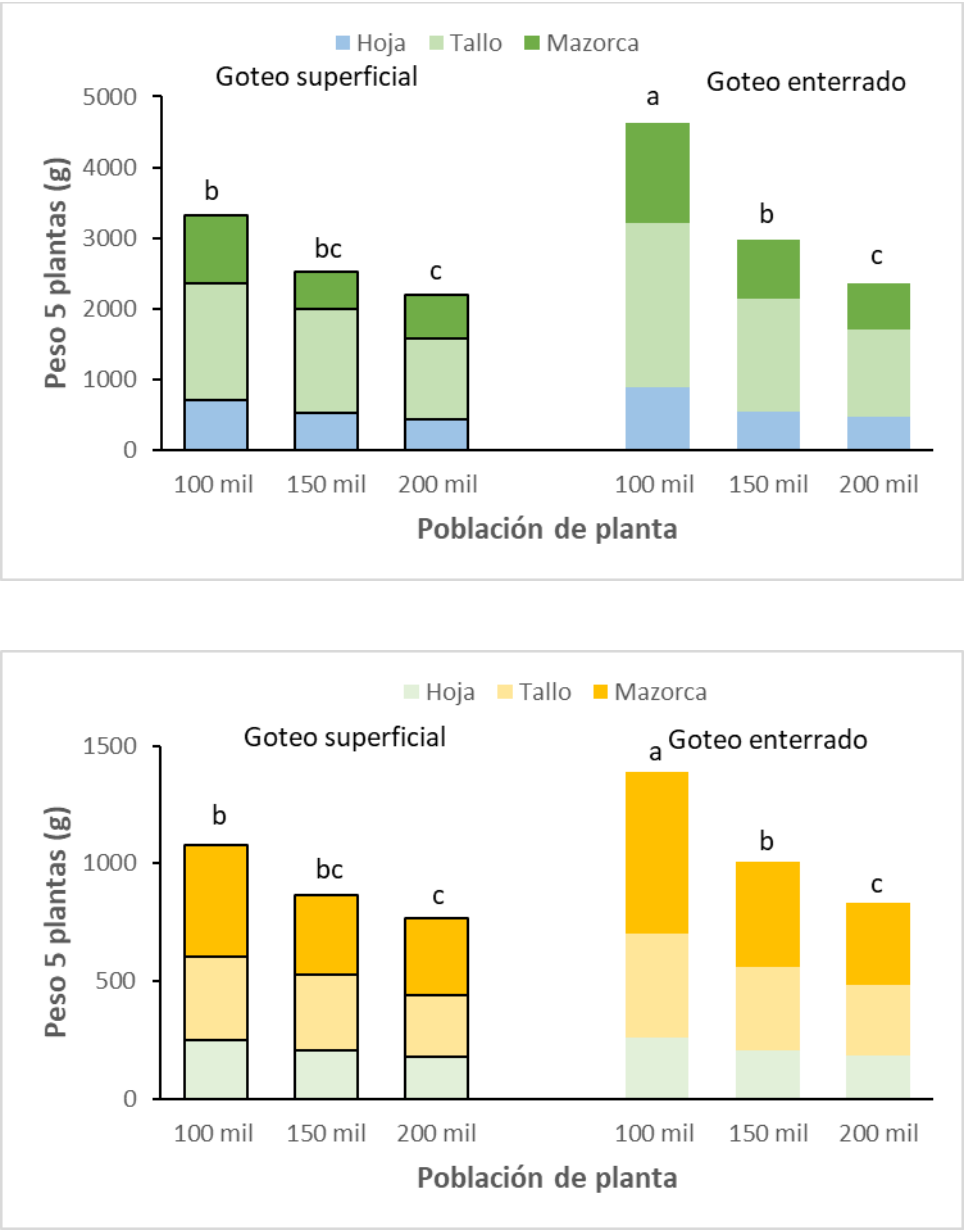


Figura 4.5. Peso fresco y seco de cinco plantas en maíz forrajero en función de tratamiento de riego y densidades de población de plantas durante el ciclo primavera 2023.

4.5. Rendimiento de forraje verde

Respecto a la producción de forraje verde (ton/ha), el análisis de varianza mostró diferencias significativas entre sistema de riego para las densidades evaluadas.

Como se puede observar en la Figura 4.6, aunque la combinación de riego riego enterrado con 200 mil plantas por hectárea muestra mayor valor de rendimiento, es estadísticamente similar en las tres densidades para goteo enterrado y 200 mil plantas por hectárea en goteo superficial. Los tratamientos con menor rendimiento y estadísticamente iguales fueron los de 100 y 150 mil plantas con goteo superficial. Cabe mencionar que los rendimientos obtenidos en este trabajo son altos (83 t/ha) comparados con los rendimientos promedio regionales.

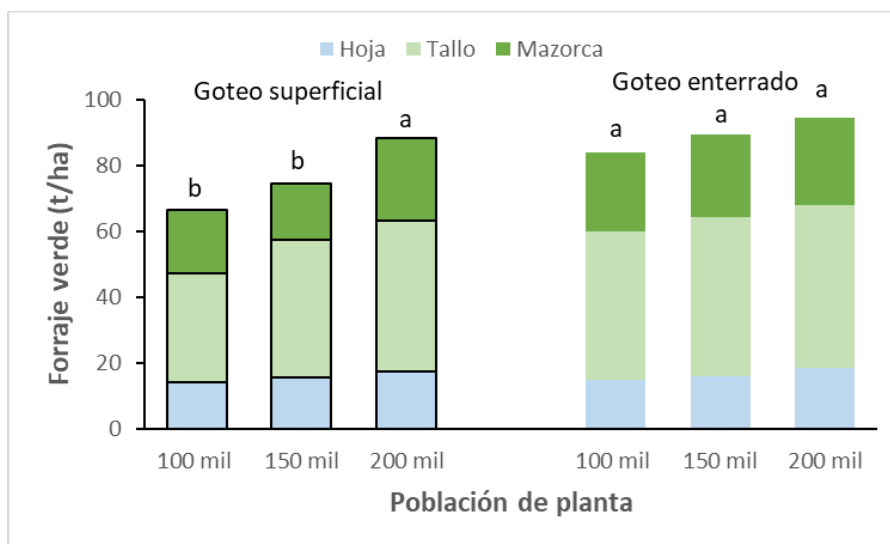


Figura 4.6. Rendimiento de forraje verde para diferentes densidades de población y sistemas de riego en el ciclo de primavera 2023.

4.6. Rendimiento de forraje seco

El rendimiento de forraje seco por hectárea para las tres densidades de población y dos tratamientos de riego se presentan en la Figura 4.7. El análisis de varianza para producción de forraje seco mostró diferencias significativas entre tratamientos de riego para las densidades evaluadas. Los mejores rendimientos de forraje seco se presentaron en el sistema de goteo enterrado en las las tres densidades sin embargo fueron similares a las de goteo superficial para 200 y 150 mil plantas por hectarea, mientras que el menor rendimiento se obtuvo con la densidad de 100 mil plantas por hectárea en goteo superficial. Los resultados de esta investigación son similares a los obtenidos por Larrondo *et al.*, (2021), quienes reportaron rendimientos de 32.5 t ha⁻¹, en

maíz forrajero establecido con altas poblaciones en la ciudad de Querétaro, pero superiores a los obtenidos por Ortiz et al., (2024) quienes obtuvieron rendimientos de forraje seco que oscilaron entre 22 y 24 t ha⁻¹ en un maíz establecido con cintilla a diferentes profundidades.

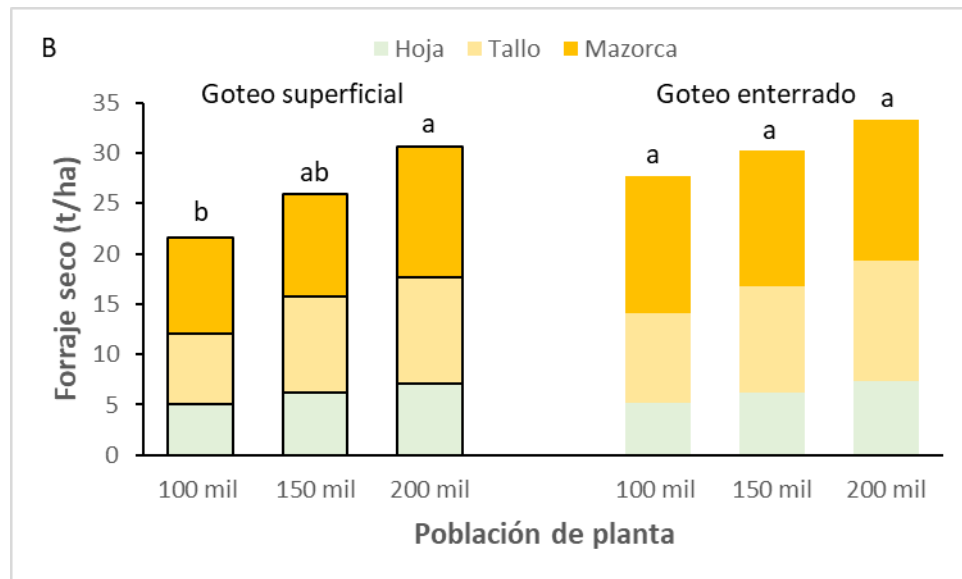


Figura 4.7. Rendimiento de forraje seco para tres densidades de población con riego por goteo en el ciclo de primavera 2023.

5. CONCLUSIONES

En esta investigación, la altura de planta de maíz forrajero no mostro diferencia entre densidades de población, ni sistemas de riego. Sin embargo, para la acumulación de materia seca por planta, el tratamiento de 100 mil plantas por hectárea, fue el que registro los mayores valores en peso fresco y seco, debido principalmente a que la planta mostró mayor diámetro de tallo.

EL mayor indice de área foliar se obtuvo con el tratamiento de 200 mil plantas por hectárea.

En lo que se refiere al rendimiento de forraje verde y seco el rendiminiento (ton/ha) fue similar para las tres densidades de población con goteo enterrado e igual al rendimiento de 200 mil plantas con goteo superficial.

El uso de altas densidades y riego por goteo representa una estrategia para incrementar el rendimiento en maiz forrajero para la comarca Lagunera. Sin embargo aunque una de las ventajas del riego por goteo subsuperfial es reducir pérdidas de agua por evaporación; en este estudio se observó que la lamina aplicada en goteo enterrado fue mayor debido a la necesidad de mayor volumen para lograr una humedad adecuada para la germinación en la siembra; por lo que se puede concluir que utilizando riego superficial y densidad de población

de 200 mil plantas se logran incrementar significativamente la producción de maíz forrajero con un ahorro de agua del orden de 500 mil litros por hectárea.

6. LITERATURA CITADA

Arocena, F. 1993. La introducción del maíz: Gonzalo de Perscaztegui. *Revista internacional de estudios vascos*, año 27, tomo XXIV, p.361 – 362.

Cabrerizo, C. 2012. “El maíz en la alimentación Humana”. [en línea] www.infoagro.com. Consultado el 24/03/2024.

Charles M B., et al 1999. Drip and micro irrigation for trees, vines and row crops. Design and management (with special sections on SDI). Irrigation Training and Research Center. California Polytechnic State University. San Luis Obispo, CA. USA.

CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2018. Estadísticas agrícolas de los distritos de riego. Año agrícola 2008-2009. Edición 2010. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (ed.). México, D. F. p.323

Díaz, VT; Pérez D, NW; Páez, OF; López, GA; Partidas, RL. 2007. Evaluación del crecimiento del maíz (*Zea mays* L.) en función de dos técnicas de riego y diferentes niveles de nitrógeno. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias* 16(4):84-87.

Gao, J. P.; Chao, D. Y. and Lin, H. X. 2007. Understanding abiotic stress tolerance mechanisms: recent studies on stress response in rice. *Journal*

of Integrative Plant Biology. 6(49):742-750. DOI: 10.1111/j.1672-9072.2007.00495.x

Garces, M. A. M., Berrio, R. L., Ruiz, A. S., Serna L. J. G., Builes A. A. F. 2004. Ensilaje como fuente de alimentación para el Ganado. Revista Lasallista de Investigación Vol 1 No. 1.

García, E. (2004). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Universidad Nacional Autónoma de México.

Godoy, A., C. 2000. Problemas asociados con la disponibilidad del agua. *In*: Tecnología de riego en nogal pecanero Libro Científico No. 1. Primera edición. SAGAR. INIFAP. CIFAP-Comarca Lagunera. p. 43-48.

Guevara, E. A.; Barcenas, H. G.; Salazar, M. F. R.; González, E. S. y Suzán A. H. 2005. Alta densidad de siembra en la producción de maíz con irrigación por goteo subsuperficial. Agrociencia. 39: 431-439.

INEGI, (2000) Mapa digital de México V6. Disponible en <http://gaia.inegi.org.mx/mdm6/>

INTA. 2012. Fenología del maíz. Disponible en: <http://riap.inta.gov.ar>.

Izquierdo, B. R. A. 2012. Evaluación del cultivo de maíz (*Zea mays*), como complemento a la alimentación de bovinos de leche en épocas de escasez de alimento. Cayambe – Ecuador. Tesis de Licenciatura. 103pp.

- Johnson, A, et al. 1990. El efecto de los aditivos sobre la calidad del ensilado de pacas grandes. *Ciencia de la alimentación animal Tecnología*. vol. 31: págs. 139-155.
- Kazumba, S., L. Gillerman, Y. de Malach y G. Oron. 2010. Sustainable domestic effluent reuse via subsurface drip irrigation (SDI): alfalfa as a perennial model crop. *Water Science and Technology* 61:625-632
- Lamm, F. R., & Trooien, T. P. 2006. Effect of dripline depth on field corn production in Kansas. *Irrigation Assn. Int'l. Irrigation Technical Conf*, 23(1), 18–20.
- Larrondo, O.; Juárez, M.; Orduña, F. y Escamilla A. Siembra de maíz forrajero en alta densidad con surco reducido. *Revista oficial de la Unión Ganadera Regional de la Laguna*. Diciembre 2021. P 56-62.
- Lobell, D. B., Hammer, G. L., McLean, G., Messina, C., Roberts, M. J., & Schlenker, W. (2013). The critical role of extreme heat for maize production in the United States. *Nature Climate Change*, 3(5), 497-501. <https://doi.org/10.1038/NCLIMATE1832>
- López G., J. A., J. A. Aguilar C., J. J. García Z., R. Lobato O. y P. Sánchez G. 2017. Comportamiento agronómico de poblaciones de maíz raza Jala en Nayarit y Estado de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8 (7): 1537-1548.

- Maroto, J. 1998. "Horticultura herbácea especial" 4ta edición. Ediciones mundiales de prensa. Madrid-España: 589-593 pp.
- Martinez, V. 2019. Proposición con Punto de Acuerdo.<https://infosen.senado.gob.mx/sgsp/gaceta/64/1/2019-04-10>
- Montemayor T., J.A., J.L. Woo R., J. Munguía L., R. López A., M.A. Segura C., P. Yescas C. y J.E. Frías R. 2012. Producción de alfalfa (*Medicago sativa* L.) cultivada con riego subsuperficial y diferentes niveles de fósforo. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 3: 1321-1332.
- Montemayor T., J. A., A. O. Gómez M., J. Olague R., A. Zermeño G., E. Ruiz C., M. Fortis H., E. Salazar S., y R. Aldaco N. 2006. Efecto de tres profundidades de cinta de riego por goteo en la eficiencia de uso de agua y el rendimiento de maíz forrajero. Téc. Pec. Méx. 44(3): 359-364.
- Montemayor T., J. A., H. Walter A., J. Olague R., A. Román L., M. Rivera G., P. Preciado R., I. R. Montemayor T., M. A. Segura C., J. A. Orozco V., y P. Yescas C. 2010. Uso del agua en la alfalfa (*Medicago sativa*) con riego por goteo subsuperficial.
- Moreno, et al. 1986. Supervivencia de la aplicación Azotobacter en suelos secos. Appl. Environment.Microbial.
- Nafarrete, H., Dupuy, R., George, C., & Hernández, S. 2018. Modelización y mapeo estacional del índice de área foliar en un bosque tropical seco

usando imágenes de satélite de alta resolución. 24(3), 1405-0471.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7074040>.

Olague R. J., J. A. Montemayor T., S. R. Bravo S., M. Fortis H., R. A. Aldaco N.,
y E. Ruiz C. 2006. Características agronómicas y calidad del maíz
forrajero con riego sub-superficial. *Tec. Pec. Méx.* 44 (3):351-357.

Ortiz-Díaz, S. A., Reyes-González, A., Fortis Hernández, M., Santana, O. I.,
Zermeño González, H., & Preciado-Rangel, P. 2022. Profundidad de la
cinta de riego y estiércol solarizado en la producción y calidad de maíz
forrajero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 13(SPE28), 275-286.
<https://doi.org/10.29312/remexca.v13i28.3282>.

Ortiz-Díaz, S. A., Reyes-González, A., Fortis-Hernández, M., Rocha-Santillano,
J. J., Ayala Garay, A. V., & Preciado-Rangel P. 2024. Drip-tape irrigation
depth: water use efficiency, yield and forage quality in maize. *Agro
Productividad*. <https://doi.org/10.32854/agrop.v17i4.2682>

Revista Tecnológica CEA. 2021. Difusión vía red de cómputo. *Revista
Tecnológica CEA*, 6(15), 331-337. <http://www.revistatecnologicaceamx>

Reyes-González, A., Kjaersgaard, J., Trooien, T., Reta-Sánchez, D. G.,
Sánchez-Duarte, J. I., Preciado Rangel, P., y Fortis-Hernández, M. 2019.
Comparison of leaf area index, surface temperature, and actual

evapotranspiration estimated using the METRIC model and in situ measurements. *Sensors* 19, 1857.

Reyes, G. A., Franco, G. I., Hernández L. E., & Maltos B. J. 2020. Evaluación del potencial hídrico, temperatura foliar y rendimiento en sorgo (*sorghum* spp.) forrajero bajo riego por goteo. *Ciencia e Innovación*, 3 (1), 83-90

Reyes, G, A., Ruiz, A. O., T., Sánchez, D. J. I., Reta, S. D. G., Espinoza A. J. J. y Preciado, R. P. 2024. Effect of maximum seasonal temperature on field and water use efficiency in forage corn in consecutive growing seasons. *Terra Latinoamericana* 42, 1-10. E 1962.
<https://doi.org/10.28940/terra.v42i0.1962>

Rincón-Tuexi, J. A., 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. *Phyton*, 75, 31-40.

SAGARPA. 2009. Secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación): 1990-2009. Delegación de la Región Lagunera Coahuila-Durango. Anuario estadístico de la producción agropecuaria, CD. Lerdo, Durango, México.

Salazar, M. R.; Rojano, A. A. y López, C, I. L. 2014. La eficiencia en el uso del agua en la agricultura controlada. *Tecnología y ciencias del agua*. 2(5):177-183.

- Solano, J. L. C., Urdaneta, A. B. S., De Ortega, C. B. C., Vásquez, E. R., & Alcalá, J. O. (2021). Impacto del riego por goteo subsuperficial en la eficiencia de uso del agua en maíz (*Zea mays* L.). *Revista Científica Agroecosistemas*, 9(1), 49-57.
- Tinoco A., C. A. y Pérez P., A. 2005. "Características forrajeras y de producción de grano en genotipos comerciales de maíz en Acayucan, Veracruz.
- Yescas, C. P.; Segura, C. M. A.; Martínez, C. L.; Álvarez, R. V. P.; Montemayor, T. J. A.; Orozco, V. J. A. y Frías, R. J. E. 2015. Rendimiento y calidad de maíz forrajero (*Zea mays* L.) con diferentes niveles de riego por goteo subsuperficial y densidad de plantas. *Phyton*. 84(2): 272-279.
- Zamora, S. S.; Fenech, L. L.; Ruiz, E. F. H.; Pérez, D. W. y López, G. A. 2007. Eficiencia en el uso del agua en maíz (*Zea mays* L.) con riego por goteo, en el Valle de la Paz, Baja California Sur, México. *Rev. Cienc. Técn. Agropec*. 3(16):33-36.
- Zavala-Borrego, F., Reyes-González, A., Álvarez-Reyna, V. D. P., Cano-Ríos, P., & Rodríguez-Moreno, V. M. 2022. Efecto de la tasa de evapotranspiración en área foliar, potencial hídrico y rendimiento de maíz forrajero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 13(3), 407-420. DOI: <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i3.2294>