

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE



**EFFECTO DE TRES PROFUNDIDADES DE CINTA DE RIEGO POR GOTEO EN
EL RENDIMIENTO DE MAÍZ HÍBRIDO AN-447**

POR

DAVID ALVARADO GARCÍA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Junio 2023

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE

Efecto de tres profundidades de cinta de riego por góteo en el rendimiento de maíz
híbrido AN-447

Por:

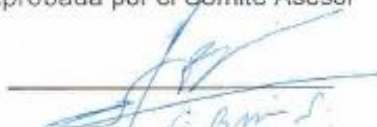
DAVID ALVARADO GARCÍA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN.

Aprobada por el Comité Asesor



M.C. Gregorio Briones Sánchez
Asesor Principal


M.C. Carlos Rojas Peña
M.C. Tomás Reyna Cepeda
Coasesor
M.C. Sergio Sánchez Martínez
Coordinador de la División de Ingeniería

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Junio 2023

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO



DECLARATORIA DE NO PLAGIO

Buenavista, Saltillo, Coahuila, junio 2023

Yo **David Alvarado García** declaro que:

El trabajo de investigación titulado "**Efecto de tres profundidades de cinta de riego por goteo en el rendimiento de maíz híbrido AN-447**" es una producción personal, donde no se ha copiado, replicado, utilizado ideas, citas integrales e ilustraciones diversas, obtenidas de cualquier tesis, obra intelectual, artículo, memoria. (En versión digital o impresa), sin mencionar de forma clara y exacta su origen o autor.

En este sentido, lo anterior puede ser confirmado por el lector, estando consciente de que en caso de comprobarse plagio en el texto o que no se respetaron los derechos de autor, esto será objeto de sanciones del Comité Editorial y/o legales a las que haya lugar, quedando, por tanto, anulado el presente documento académico sin derecho a la aprobación de este, ni a un nuevo envío.


David Alvarado García

Nombre y firma

AGRADECIMIENTOS:

A **Dios Todo poderoso** por darme vida, salud y el tiempo necesario para concluir con éxito la licenciatura.

A la **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro** por ofrecerme la oportunidad de estudiar la licenciatura con ayuda de internado y comedor.

Al **Departamento de Riego y Drenaje** por comprometerse por darme una excelente formación como Ingeniero Agrónomo en Irrigación.

Mi más sincero agradecimiento al **M.C. Gregorio Briones** por haberme aceptado como su tesista, por su valiosa amistad, así como su gran apoyo, motivación, tiempo y dedicación que fueron de gran importancia para la elaboración de este proyecto.

Al **M.C. Carlos Rojas Peña** por su gran disposición y ayuda para la presentación de mi tesis.

Al **M.C. Tomás Reyna Cepeda** por sus enseñanzas como maestro, y por apoyarme con la revisión de este proyecto.

Al **Dr. Fernando Augusto Villareal Reyna** por ser uno de los mejores maestros que he tenido en mi vida, por sus grandes enseñanzas, y por su gran amistad que me brindó.

Al **Dr. José de Jesús Cortés Bracho** por ser un gran maestro y por darme confianza para salir adelante.

Al **Ing. Antonio Naranjo Ramírez** por permitirme realizar las prácticas profesionales en su empresa, por el inmenso apoyo y por su grandiosa amistad.

DEDICATORIAS:

A mis padres:

J. Antero Alvarado Mejía Por darme hogar y comida, por enseñarme el valor del trabajo, por transmitirme amor al campo, y por el sacrificio diario para sacar adelante a mi familia, muchas gracias por tu apoyo papá.

Rosa García Sánchez por darme ánimos diarios, por ser mi pilar más grande en mi vida, por el apoyo incondicional, por todos sus consejos y sobre todo por siempre preocuparse de mí y forjarme como la persona que soy hoy.

A mis hermanos:

José Guadalupe Alvarado García † Muchas gracias por tu apoyo y tus consejos hermano, gracias a ti es que nunca me doy por vencido, porque siempre así lo quisiste, y sé que donde quiera que te encuentres estás orgulloso de mí.

A **Humberto, Mario, Isabel, Cristóbal, Vicente, Orlando, Mauricio, Reyna y Fátima** por apoyarme y darme la confianza para seguir superándome.

A mis amigos de la Universidad:

Luis Mario Heredia Domínguez, Luis Eduardo Gómez Díaz, Arturo Hernández Cárdenas, Víctor Manuel Arellano Contreras y a mis demás compañeros de generación por su gran amistad y por los buenos momentos vividos.

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN	1
ABSTRACT.....	3
I. INTRODUCCIÓN:	4
1.1 Objetivos.....	6
1.2 Hipótesis.....	6
II. REVISIÓN DE LITERATURA:	7
2.1 Riego por goteo.	7
2.2 Propiedades físicas del suelo.	7
2.3 Contenido de humedad en el suelo	10
2.4 Humedad aprovechable.....	14
2.5 Eficiencia	16
2.6 Profundidades de cinta de riego.	17
2.7 Tecnología de riego subsuperficial en maíz.....	18
2.8 Emisores.....	20
2.9 Dispositivos de filtración	23
2.10 Fertiirrigación	25
2.11 Inyectores químicos	26
2.12 Unidad de bombeo	29
2.13 Dispositivos de control.....	29

2.14 Red de distribución.....	31
2.15 Bulbo de humedad.....	32
2.16 La textura del suelo.....	33
2.17 Pérdida de carga en una tubería	34
2.18 Suelo.....	35
2.19 Clima.....	35
2.20 Uniformidad.	36
2.21 Clasificación taxonómica del Maíz.....	36
2.22 Morfología del Maíz	36
2.23 Plagas.....	41
2.24 Enfermedades.	42
2.25 Fitomejoramiento	42
2.26 Condiciones ecológicas y edáficas	43
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	46
3.1 Ubicación del experimento.....	46
3.2 Preparación del terreno	47
3.3 Material Vegetal.....	47
3.4 Propiedades del suelo	47
3.5 Siembra	47
3.6 Fertilización.....	48

3.7 Riegos.....	48
3.8 Control de maleza.....	51
3.9 Control de plagas.....	52
3.10 Diseño experimental	52
3.11 Cosecha.....	52
3.12 Tratamientos.....	53
3.13 Distribución de los tratamientos.....	53
3.14 Variables Observadas.....	53
3.14.1 Altura de planta	53
3.14.2 Ancho del tallo.....	54
3.14.3 Área foliar	54
3.14.4 Tamaño de la mazorca.....	54
3.14.5 Diámetro de la mazorca	55
3.14.6 Peso de la mazorca.....	55
3.14.7 Peso de 100 granos	55
3.15 Análisis estadístico	56
3.16 Rendimiento de maíz.....	56
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	57
4.1 Altura de planta.....	57
4.2 Diámetro del tallo.....	58

4.3 Área foliar	60
4.4 Tamaño de la mazorca	61
4.5 Diámetro de la mazorca.....	62
4.6 Peso de la mazorca	64
4.7 Peso de 100 granos.....	65
4.8. Rendimiento de maíz.	66
V. CONCLUSIONES	68
VI. LITERATURA CITADA.....	70

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Representación del triángulo de clases texturales del suelo.....	8
Ilustración 2. Diagrama de partes y funcionamiento de un inyector tipo Venturi ...	27
Ilustración 3. Diagrama de funcionamiento de una bomba inyectora	28
Ilustración 4. Diagrama de funcionamiento de tanques diferenciales para fertiirrigación.....	28
Ilustración 5. Distribución del bulbo de humedad en un suelo arenoso y un arcilloso	33
Ilustración 6. Ubicación geográfica del lote experimental en la UAAAN.....	46
Ilustración 8. Comparación de la lámina de riego aplicada contra la evapotranspiración durante el ciclo del cultivo.	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribución y medidas establecidas para las camas del lote experimental.	48
Figura 2. Altura promedio de planta de maíz regada con cinta de goteo enterrada a 0, 8 y 16 cm de profundidad.	58
Figura 3. Diámetro del tallo de maíz estimulado por la colocación de la cinta de riego.	59
Figura 4. Área foliar de hojas de maíz regada con cinta de riego colocada a diferente profundidad.	61
Figura 5. Tamaño de mazorca en relación con la colocación de la cinta de riego (0, 8, 16 cm)	62
Figura 6. Diámetro de mazorca estimulada por la colocación a diferente profundidad de la cinta de goteo	63
Figura 7. Peso de las mazorcas regadas por cinta de goteo a diferente profundidad.	65
Figura 8. Peso de 100 granos de maíz estimulados por la colocación de la cinta de goteo a diferente profundidad.....	66
Figura 9. Rendimiento de maíz (Ton/ha) obtenidos en diferentes profundidades de enterrado de cinta de goteo.....	67

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Propiedades físicas de suelos franco-arcillosos.....	45
Tabla 2. Distribución de riegos y láminas aplicadas.....	50
Tabla 3. Dosis de aplicación de plaguicida	52
Tabla 4. Distribución de los tratamientos en la parcela experimental.....	53
Tabla 5. Análisis de varianza para la variable Altura de la planta	58
Tabla 6. Análisis de varianza para la variable Diámetro del tallo	59
Tabla 7. Análisis de varianza para la variable de área foliar	60
Tabla 8. Análisis de varianza para la variable Tamaño de mazorca	62
Tabla 9. Análisis de varianza para la variable Ancho de mazorca	63
Tabla 10. Análisis de varianza de la variable Peso de mazorca.....	64
Tabla 11. Análisis de varianza de la variable Peso de 100 granos	66

EFFECTO DE TRES PROFUNDIDADES DE CINTA DE RIEGO POR GOTEO EN EL RENDIMIENTO DE MAÍZ HÍBRIDO AN-447

Por: David Alvarado García

RESUMEN

El riego por goteo subsuperficial (RGS) es una herramienta de gestión que permite un control preciso sobre el entorno de la zona radicular del cultivo de maíz. Este control a menudo resulta en rendimientos consistentemente altos. Además, una mejor gestión del agua y los fertilizantes puede ayudar a reducir los insumos de las necesidades de agua y la escorrentía. El presente trabajo se realizó con el objetivo de comparar el rendimiento de maíz híbrido AN-447 en función de tres profundidades de enterrado de cinta de riego. El experimento se realizó durante el ciclo agrícola primavera-verano 2022, en el campus de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro en Saltillo Coahuila. El experimento fue conducido bajo un diseño estadístico de bloques al azar con tres tratamientos (T1, T2, T3) y seis repeticiones, representados por tres profundidades de enterrado de cinta de goteo, los cuales fueron, T1= cinta de goteo superficial (0 cm), T2 = cinta de goteo subsuperficial (8 cm) y T3 = cinta de goteo subterráneo (16cm). La cosecha se realizó de forma manual, donde las variables evaluadas fueron: altura de planta, diámetro del tallo, índice de área foliar, tamaño de mazorca, diámetro de mazorca, peso de mazorca y peso de 100 granos. Las cintas de goteo (T1, T2 y T3) aplicaron el mismo volumen de agua (3.3 cm/aplicación), solo varió la posición de enterrado de la cinta. En ningún tratamiento se encontraron diferencias estadísticamente significativas, sin embargo, se encontró que el tratamiento con mayor rendimiento

fue por goteo subterráneo (16cm) con un valor de 13.9 ton/ha, seguido por goteo subsuperficial con un valor de 12.17 ton/ha, y por último se encuentra el goteo superficial, presentando un rendimiento de 11.12 ton/ha.

Palabras clave: Maíz, rendimiento, riego subsuperficial, híbrido, densidad.

Clave: 38111-425401001-422

EFFECT OF THREE DEPTHS OF DRIP IRRIGATION TAPE ON HYBRID CORN (AN-447) YIELD.

By: David Alvarado García

ABSTRACT

Subsurface drip irrigation (SDI) is a management tool that allows precise control over the root zone environment of corn crop. This control often results in consistently high yields. In addition, better water and fertilizer management can help reduce water needs, and runoff. This work conducted with the objective of comparing the yield of hybrid corn AN-447 based on three depths of irrigation tape. The experiment was performing during the spring-summer 2022 cycle on Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Saltillo, Coahuila. The experiment conducted under a two-way factorial design with three treatments (T1, T2, T3) and six replications, represented by three depths of drip tape, which were, T1 = surface drip tape (0 cm), T2 = subsurface drip tape (8 cm) and T3 = underground drip tape (16 cm). The harvest was making manually, the variables were: plant height, stem diameter, leaf area index, cob size, cob diameter, cob weight and one hundred grains weight. The drip tapes (T1, T2 and T3) applied the same water volume (3.3 cm/ application), only varying the position of the tape. Where not statistically significant differences found in any treatment, however, it was found that the treatment by underground drip (16 cm) was the highest yield with 13.9 ton/ha, followed by subsurface drip with 12.17 ton/ha and finally the surface drip with 11.12 ton/ha.

Key words: corn, yield, subsurface drip, hybrid, density

Key: 38111-425401001-422

I. INTRODUCCIÓN:

Una de las características de las zonas de clima árido y semiárido es la baja disponibilidad de agua, cuantificada en base a la precipitación anual. Dichas áreas reciben precipitaciones pluviales de 350 a 600 mm anuales, o incluso menores a ese rango en tiempos de sequía, por lo que la productividad de estos suelos depende de la capacidad de retención de agua, textura, profundidad y contenido de materia orgánica.

Uno de los factores de manejo más importantes que el productor puede controlar durante el desarrollo de la planta es el riego localizado, ya que ejerce influencia positiva en el rendimiento y calidad de las cosechas, además ofrece la mayor eficiencia y uniformidad que cualquier otro método de riego comúnmente utilizado.

Dentro de las formas del manejo del riego localizado, se encuentra el riego por goteo subsuperficial, que consiste en una serie de líneas regantes enterradas en el suelo, además de filtros, tuberías principales y secundarias que suministran el agua desde la fuente de abastecimiento hasta el lugar del cultivo. Este método se ha convertido en un sistema potencial para mejorar el uso de agua en los sistemas de producción agrícola durante los últimos años. Resultando en un ahorro del 35 al 55% comparado con aspersión o riego superficial.

Así mismo, uno de los cultivos que mejor se adapta a este método de riego es el maíz (*Zea mays L.*), el cuál es uno de los cereales más cultivados para alimentación humana y animal en muchos países, siendo de gran importancia comercial y económica a nivel mundial.

Derivado a esto, se han implementado variedades genéticamente modificadas, las cuales se enfocan en la generación de híbridos de amplia adaptabilidad, que presentan mayor vigor, tamaño, fructificación, velocidad de desarrollo, resistencia a plagas y enfermedades, o al estrés climático de cualquier clase.

A través de los años, se han realizado diversas investigaciones para evaluar sistemas de riego por goteo subterráneo y subsuperficial, manejados con cintas de riego a distintas profundidades o comparándolas a otros métodos de riego. Por mencionar algunos, Solano (2021) evaluó profundidades a 10,20 y 30 cm en la zona del Ecuador, sin encontrar diferencias estadísticamente significativas. Otro caso es el de Ortiz-Díaz (2022) quien evaluó profundidades a 0.05, 0.3 y 0.5 m en conjunto con diferentes dosis de estiércol en Torreón, donde encontró diferencias entre los riegos más profundos. Sin embargo, no se encontraron investigaciones en las que se evalúen profundidades cercanas a 8 y 16 cm vs riego superficial y con separaciones de 20 cm entre emisores. Por esta razón el presente trabajo tuvo como objetivo comparar el efecto de las profundidades de cinta de riego (0, 8 y 16 cm) en las respuestas en crecimiento y producción del maíz híbrido forrajero AN-447.

El trabajo se realizó en el ciclo agrícola primavera-verano de 2022 en las instalaciones del jardín hidráulico de la UAAAN Saltillo, Coahuila, ubicado en las coordenadas UTM 295210 mE y 2805770 mN dentro de la zona 14R con un clima seco y cálido con lluvias en verano.

1.1 Objetivos

Comparar el rendimiento del maíz de acuerdo con la profundidad de cinta de riego; completamente superficial (0 cm), subsuperficial a 8 cm y subterránea a 16 cm.

Obtener las mediciones de todos los parámetros de observación en los tratamientos evaluados al aplicar el mismo volumen de agua, solo variando la posición del riego localizado.

Evaluar las respuestas de crecimiento, desarrollo y producción de las plantas cultivadas con cinta de riego a tres profundidades diferentes.

1.2 Hipótesis

La cinta de riego subterráneo enterrada a 16 cm del suelo se diferenciará de los demás tratamientos al presentar mayor rendimiento y producción en las plantas de maíz.

En el análisis de significancia estadística, las hipótesis de la investigación planteada fueron: $H_0: T_1 = T_2 = T_3$, $H_0: Y_1 = Y_2 = Y_3$, $H_a: T_1 \neq T_2 \neq T_3$ y $H_a: Y_1 \neq Y_2 \neq Y_3$, donde Y_i representa la respuesta de la planta regada con cinta de goteo a diferente profundidad (T_i).

II. REVISIÓN DE LITERATURA:

2.1 Riego por goteo.

Según describe Demin (2014), este método consiste en la aplicación de agua en forma de gotas de manera continua en un lugar próximo a la planta, mojando solo una parte del volumen de suelo. Además, agrega que es un riego de alta frecuencia donde se debe reponer el agua que la planta consumió uno o dos días atrás.

El tamaño necesario del caudal viene determinado principalmente por el número y tipo de goteros, el tipo de suelo, el cultivo y el agotamiento del agua disponible en el suelo (Arango, 1998).

Shock et al. (2013) mencionan que un sistema de riego por goteo bien diseñado pierde muy poca agua porque hay poco escurrimiento, evaporación o percolación profunda en suelos limosos. También hay menos contacto del agua con el follaje, los tallos y los frutos. Con un buen programa de riego que cubre necesidades de las plantas, es posible aumentar el rendimiento y la calidad de la cosecha.

2.2 Propiedades físicas del suelo.

2.2.1 Textura.

La textura representa el porcentaje en que se encuentran los elementos que constituyen el suelo; arena gruesa, arena media, arena fina, limo o arcilla. Según afirma Rucks (2004), el suelo tiene una buena textura cuando la proporción de los elementos que lo constituyen le dan la posibilidad de ser un soporte capaz de favorecer la fijación del sistema radicular de las plantas y su nutrición.

Uno de los métodos más populares para determinar la clase textural de un suelo, y que se usa hasta la fecha es el triángulo de texturas. Cada uno de sus lados tiene un eje graduado de 0 a 100, sobre el cual se transporta la cantidad del elemento que representa; en general un lado del triángulo corresponde a la arcilla, el otro al limo y el tercero a la arena.

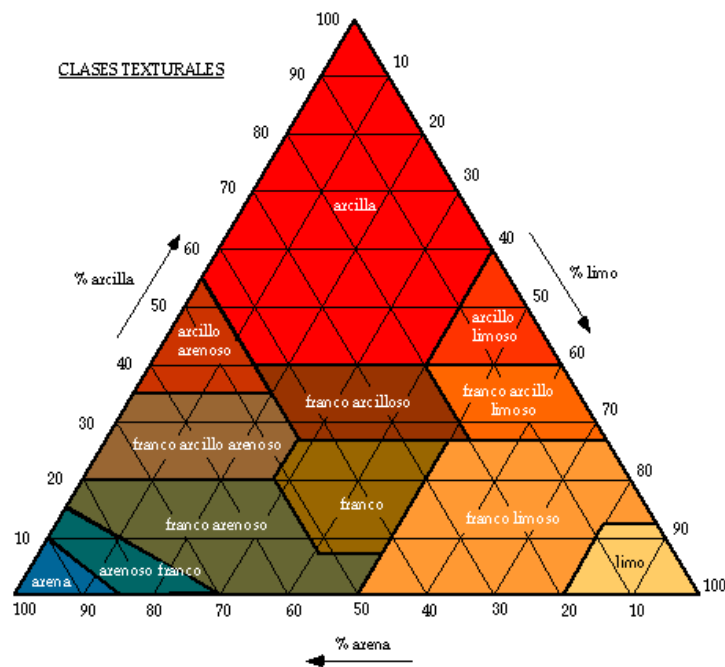


Ilustración 1. Representación del triángulo de clases texturales del suelo

2.2.2 Estructura.

De acuerdo con Bronick & Lal (2005), la estructura del suelo es definida como la forma en que se agrupan las partículas individuales de arena, limo y arcilla, generando espacios vacíos denominados poros. Es de vital importancia para el funcionamiento del suelo ya que regula el flujo de agua, nutrientes y el almacenamiento y el flujo de gases, lo cual influye en la actividad y desarrollo de los organismos vivos.

La estructura es una de las propiedades que puede alterarse fácilmente, debido a los labores agrícola-ganaderas o cualquier otro tipo de perturbación. Palma (2000), menciona que los suelos bien estructurados disminuyen notablemente los perjuicios que puedan ocasionar las labranzas; ofrecen óptimas condiciones para la penetración, crecimiento y anclaje de las raíces, permiten un buen drenaje y presentan a la vez buena capacidad de retención hídrica. Un suelo con estas características presenta mayor resistencia a los procesos de erosión.

2.2.3 Porosidad.

Según describe Rucks (2004), la porosidad total del suelo es la suma de macroporos y microporos. Los primeros no retienen el agua contra la fuerza de gravedad, y por lo tanto son los responsables del drenaje y la aireación del suelo, además es el principal espacio donde se desarrollan las raíces. Los segundos son los que retienen el agua, parte de la cual es disponible para las plantas.

En cuanto a la magnitud de la porosidad total, es mayor cuando en la textura dominan las fracciones finas que cuando dominan las gruesas, por lo tanto, los suelos arcillosos poseen más porosidad total que los arenosos.

2.2.4 Densidad Aparente

Santos et al. (2007), sostienen que la densidad aparente de una capa de suelo es la relación que existe entre la masa de suelo seco y el volumen que ocupa, considerando la parte sólida del suelo y también el espacio poroso, expresando los resultados en g/cm^3 .

La densidad aparente del suelo depende de la densidad real o de partículas y de la ordenación de éstas en el espacio formando agregados. Lamas y Moreno (2000), agregan que varía con la textura, estado de agregación, materia orgánica y manejo del suelo. Algunas de sus aplicaciones son la evaluación de la densificación, el peso de la capa arable, cálculo de la porosidad, lámina de riego y cálculo del espacio aéreo.

2.2.5 Velocidad de infiltración

La infiltración según Hillel (1971), se define como el ingreso vertical del agua al suelo desde su superficie. Donde el agua inicia su penetración en los macroporos, desplazándose hacia abajo debido principalmente a gradientes de potencial gravitacional y mátrico, formando un frente húmedo.

Por lo tanto, como cita Génova (2017), la velocidad de infiltración es la relación entre la lámina de agua que se infiltra y el tiempo que tarda en hacerlo; expresándose generalmente en mm/h o cm/h.

2.2.6 Conductividad hidráulica

Villaraga (2015) asegura que la permeabilidad o conductividad hidráulica de un suelo es la medida que señala la capacidad de un suelo de permitir el paso de fluidos a través de su estructura, generalmente el agua.

2.3 Contenido de humedad en el suelo

Se refiere a la cantidad de agua que se encuentra en el suelo y se puede expresar como:

2.3.1 Humedad higroscópica.

Es el agua que es retenida fuertemente entre partículas muy finas y que generalmente no se considera disponible para las plantas.

2.3.2 Humedad capilar.

Es el agua contenida en los espacios porosos del suelo y es retenida mediante la tensión superficial que existe entre el agua y las partículas sólidas del suelo.

2.3.3 Humedad gravitacional.

De acuerdo con Van der Guilk (1999), es el agua que se mueve libremente a través del suelo bajo la influencia de la gravedad. Después de que el suelo ha sido saturado, el exceso de agua que no puede retener se mueve hacia abajo por la fuerza de gravedad.

2.3.4 Contenido volumétrico

Representa el volumen total de agua de una muestra en relación con el volumen total de suelo.

Si se multiplica el contenido gravimétrico en porcentaje por la densidad aparente del suelo se obtiene el contenido volumétrico:

$$\theta_V = \theta_W * d_{ap}$$

Donde θ_V es el contenido de humedad volumétrico (%) y d_{ap} es la densidad aparente del suelo.

2.3.5 Lámina de riego

Rojas (2002), menciona que la determinación de la lámina de riego indica la cantidad de agua que se debe aplicar a un suelo, y el conocimiento de ella depende principalmente de los parámetros de campo como es capacidad de campo, punto de marchitez permanente, contenido de humedad, densidad aparente, profundidad radicular indicándose por:

$$Lr = \frac{(CC - Pw)Da * Pr}{100}$$

Donde:

Lr= Lámina de riego.

CC= Capacidad de campo.

Pw= Contenido actual de agua en el suelo.

Da= Densidad aparente.

Pr=Profundidad radical.

2.3.6 Constantes hídricas.

Son determinados contenidos de agua en el suelo que caracterizan situaciones particulares y que su interpretación y conocimiento es de interés para los cálculos en riego.

2.3.7 Saturación

Nabard (2019) menciona que el punto de saturación es la máxima capacidad de retención de agua en el suelo, donde todos los espacios porosos del suelo (macroporos y microporos) están completamente llenos de agua.

2.3.8 Capacidad de Campo

Desde el punto de vista de Solís (2017), se refiere como la porción húmeda del suelo, después que el exceso ha sido drenado y la velocidad del descenso disminuida de grado considerable y depende fundamentalmente de la textura, contenido de materia orgánica y grado de compactación de este.

Por otra parte, Van der Guilk (1999) plantea que la capacidad de campo es el agua que retiene el suelo después de cesar la acción de la gravedad. Cuando el suelo ha recibido una lluvia abundante o un riego pesado, este proceso, generalmente se presenta de uno a tres días después.

2.3.9 Punto de Marchitez Permanente

De acuerdo con Martin (2017), quien considera que una vez que el suelo se seca hasta llegar al PMP, las plantas ya no pueden seguir extrayendo agua del suelo y mueren por falta de hidratación. Aunque por debajo del PMP todavía hay un poco de humedad, esta agua está retenida tan fuertemente por las partículas de suelo que las raíces de la planta ya no pueden extraerla.

Asimismo, Zotarelli et al. (2013) describen que la mayoría de las plantas estarán sometidas a un estrés hídrico significativo antes de este punto, y será muy factible

que las plantas sufran una reducción importante en su rendimiento mucho antes de alcanzar el punto de marchitamiento.

2.4 Humedad aprovechable

Cisneros (2003) destaca que la diferencia entre la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente es lo que se define como humedad aprovechable por las plantas. Cuando en un suelo existe abundante agua y no se drena, las raíces de las plantas pueden morir por la carencia de oxígeno. Por otra parte, si no hay agua presente, el crecimiento de las plantas se detiene y finalmente sobreviene el marchitamiento.

2.4.1 Deflexión permitida de la humedad

Como propone Fernández (2010), el nivel de humedad entre el límite superior y el inferior a partir del cual las raíces encuentran mayor dificultad para extraer el agua y se produce una disminución en la transpiración, lo que suele traer consigo pérdidas de producción.

Según recomienda Van der Guilk (1999), un abatimiento permisible del 25% debe ser usado para sistemas de riego por goteo y 30% para los sistemas de riego por aspersión, el cual es usado para determinar el intervalo de riego.

2.4.2 Evapotranspiración

Teniendo en cuenta a Villafañe (1998), es una pérdida de agua donde se hallan involucrados varios procesos, la evaporación directa desde el suelo expuesto, la correspondiente agua depositada sobre el follaje de las plantas y la transpiración subestomática de las hojas a la atmósfera circundante.

Así que, puede ser afectada por el tipo de cultivo, su estado de desarrollo, los métodos de aplicación del agua, la operación del riego y las prácticas agronómicas.

2.4.3 Frecuencia de riego

La frecuencia de riego hace referencia al número de veces que se riega en una unidad de tiempo determinada (días, semana, quincena, etc.) y estará determinada por factores tales como el tipo de planta, el suelo, el clima, el tiempo disponible para realizar los riegos, etc.

Los riegos de alta frecuencia permiten suministrar a las plantas pequeñas dosis de agua mediante la realización de riegos muy continuos, mientras que los de baja frecuencia aportan dosis más elevadas en riegos no tan regulares.

2.4.4 Intervalo de riego

Como lo señala Villafañe (1998), el intervalo entre riegos (I_r) es el tiempo transcurrido entre un riego y el siguiente. Por lo tanto, su valor depende de la magnitud de la lámina faltante programada y la tasa de evapotranspiración del cultivo (ET_c). Se puede calcular de la siguiente manera:

$$I_r = L_{fa}/ET_c \text{ (para riego por superficie y aspersion)}$$

$$I_r = L_{fa} * C/ET_c \text{ (para riego localizado)}$$

Donde:

I_r = intervalo entre riegos.

L_{fa} = lámina faltante programada.

ETc= evapotranspiración diaria del cultivo.

C= fracción del área humedecida.

2.4.5 Tiempo de riego.

El tiempo de riego es el periodo que debe permanecer el agua escurriendo sobre el suelo para que penetre hasta la profundidad de raíces del cultivo (Santavana et al., 2004). Una forma práctica de determinarlo es a través de la profundidad de las raíces. Generalmente se toma como referencia la profundidad en la que la capa de suelo produce cerca del 90% de absorción de agua.

2.5 Eficiencia

2.5.1 Eficiencia de riego

La eficiencia de riego o eficiencia agronómica está definida como la resultante de la ponderación de las eficiencias de aplicación, de almacenamiento y de conducción (Howell, 2003). Se considera eficiente un sistema de riego cuando el agua aplicada al cultivo es utilizada en un porcentaje superior al 70 %. Un equipo mal diseñado, ineficiente o con problemas de mantención, disminuye el control que ejerce el regador sobre la forma de aplicación del agua.

2.5.2 Eficiencia de conducción

Normalmente se define como la relación del volumen de agua suministrada en campo, entre el volumen de agua que se deriva desde la fuente de almacenaje de esta, ya sea un río, lago, depósito, etc. (Howell, 2003). Regularmente las pérdidas en la conducción son mucho más bajas en conductos cerrados o tuberías comparado con canales revestidos o rústicos.

2.5.3 Eficiencia de aplicación

La eficiencia de aplicación es la relación entre el volumen de agua que es necesario reponer en la zona de raíces y el volumen total de agua aplicado al terreno (Howell, 2003). Para el riego por surcos esta eficiencia está alrededor de 31 al 60 %; para aspersión móvil, del 65 al 80 %; para aspersión permanente, del 75 al 85 %; para microaspersión, del 80 al 90 % y para goteo, del 85 al 95 %.

2.5.4 Eficiencia de almacenamiento

De acuerdo con Antúnez et al. (2010), esta determina la parte del agua aplicada que queda almacenada en el suelo, en relación con la necesaria para llevar al suelo a capacidad de campo.

La eficiencia de almacenamiento es frecuentemente más aplicada en métodos de riego por superficie, mientras que para riegos por aspersión o micro irrigación es poco usada (Howell, 2003). La eficiencia de almacenamiento está dada como:

$$E_s = 100 \frac{V_s}{V_{rz}}$$

Donde E_s (En inglés conocido como Storage Efficiency) es la eficiencia de almacenamiento (%), V_s es el volumen de riego que necesita el cultivo (m^3), y V_{rz} es la capacidad de almacenamiento de la zona radicular (m^3).

2.6 Profundidades de cinta de riego.

Según Fenech (2008), los diferentes tipos de riego subterráneo pueden clasificarse en tres grupos según la profundidad de tendido.

1.- Tendido poco profundo. Según este método los laterales se entierran de forma superficial. El tendido poco profundo cumple con evitar daños de roedores y pájaros; fijación de la posición de los laterales a lo largo de las plantas como protección contra los vientos.

2.- Profundidad media. Hasta 20 cm de profundidad, este método es el más difundido, aunque en él solamente se pone en manifiesto parte de las ventajas del riego subterráneo e impide el riego profundo del laboreo profundo del suelo.

3.- Tendido profundo. Profundidades a partir de 30 cm, en términos generales se puede definir como “tendido profundo” cuando la superficie del terreno se mantiene seca. Se manifiestan ventajas como ahorro de agua, alargar vida útil del sistema, disminuye la germinación de malas hierbas, etc.

2.7 Tecnología de riego subsuperficial en maíz

Panget (2017) reporta que la manguera de goteo Streamline, con goteros turbulentos es tendida al inicio del ciclo entre dos hileras de maíz separadas de 1.40 a 1.60 m de acuerdo con el método de siembra. Los goteros van espaciados a 40-50 cm de acuerdo con la textura de suelo para crear una franja de mojado continuo a lo largo de las camas de siembra. La mayoría de los sistemas de riego por goteo instalados en Francia y en Italia tienen goteros con un gasto de 1 litro/ hora, lo cual promueve una óptima distribución del agua en el suelo.

Por su parte en la guía técnica de Netafim (2019), para producir maíz usando riego por goteo subsuperficial indica que el espaciado de las cintas de goteo entre dos hileras, la profundidad de la colocación, la separación de los emisores, y el gasto de

los goteros son las cuatro variables que definen la tasa de aplicación de un sistema de riego por goteo subsuperficial o enterrado. Para maíz sembrado en doble hilera en camas de 76 cm de anchura, la cinta de goteo enterrado se coloca a una separación de 152 cm de tal manera que una cinta de goteo alimente dos hileras de maíz. Las cintas de goteo y las mangueras de goteo integrado generalmente son colocadas de 10-20 cm de profundidad en maíz, pero pueden ser enterradas a mayores profundidades que varían de 20 cm a 40 cm. El riego por goteo subsuperficial está bien adaptado a los sistemas de cero labranza y mínima labranza.

Hansen et al (2008) estudiaron el patrón de mojado en suelo arcilloso para goteros colocados a varias profundidades encontrando que, en una cinta de goteo colocada a 15 cm de profundidad, poca humedad alcanza la superficie del suelo, con el movimiento horizontal ocurriendo hacia afuera del emisor alcanzado a humedecer 30 cm. A profundidades de 30 y 45 cm, la superficie del suelo permanecía casi seca y la máxima expansión horizontal humedeció de 63-76 cm.

Petkovsky (2020) menciona que, aunque los costos de la irrigación eran relativamente bajos en el pasado, gracias al subsidio de la energía, y los campos de maíz eran principalmente regados por inundación, o mediante pivote central; el escenario actual está caracterizado por altos costos de la irrigación y escasez de agua debido al aumento de las tarifas eléctricas y abatimiento de los acuíferos. Por esta razón, el riego por goteo enterrado es una forma comprobada para reducir los costos y la cantidad de agua utilizada en la producción de maíz.

Aunque el sistema de riego por goteo enterrado puede ahorrar agua e incrementar los rendimientos, investigaciones adicionales son requeridas para evaluar la factibilidad de la irrigación con cinta de goteo subsuperficial o enterrada en localidades específicas para que el método de riego adecuado pueda ser usado por el productor. Las mangueras de goteo se colocan a una separación de 96 a 213 cm, y a una profundidad de 15 a 25 cm por debajo de la superficie del suelo.

Lamm (2003) encontró en una revisión de los resultados de 10 años de experimentación que el riego por goteo subsuperficial es un método que mejoró la producción del maíz en los suelos franco-limosos de las Llanuras Centrales de los Estados Unidos. El uso del agua de riego para el maíz disminuyó hasta un 35-55% cuando el cultivo se regó con sistemas de goteo enterrado en comparación con los métodos más tradicionales de riego en la región.

Cuando se utiliza el riego por goteo enterrado en la producción de maíz en suelos de textura media y fina, un espaciamiento de las líneas de goteo de 1.5 m ha sido encontrado el más económico para el maíz sembrado a doble hilera. La inyección de fertilizantes solubles en el agua de riego a través de la cinta de goteo ayuda a incrementar los rendimientos de maíz, los sistemas de goteo enterrado han durado de 10 a 20 años sin remplazo ni desgaste significativo.

2.8 Emisores

Son los dispositivos de la instalación encargados de efectuar la distribución del agua sobre la superficie de riego (Ávila, 2004). El emisor es usado para regular el gasto a cada punto de emisión y asegurar que la uniformidad sea mantenida a lo largo de la hilera del cultivo (Van der Guilk, 1999).

Una de las principales características de los emisores de riego es la forma de realizar el reparto de agua, bien de forma localizada mediante un goteo continuo, o generando una lluvia de gotas de agua de mayor o menor grosor, lo que definirá el tipo de sistema de riego al que pertenecen.

Las principales características que suministra el fabricante para cualquier tipo de emisor son:

Presión nominal: Presión a la que se diseña el emisor y a la que éste debería funcionar.

Caudal nominal: Caudal que proporciona el emisor cuando trabaja a la presión nominal.

Coefficiente de variación de fabricación: dato indicativo de la variabilidad que se produce en el proceso de fabricación de los emisores.

Diámetro mínimo de paso: Indica la dimensión del paso más estrecho del agua en el interior del emisor.

Régimen hidráulico: Que puede ser laminar o turbulento. Un emisor de régimen laminar es más sensible a variaciones de presión y de viscosidad y temperatura del agua, y más sensible a obturaciones.

Exponente de descarga (x): Es un dato que indica la sensibilidad del emisor a las variaciones de presión. Si su valor está próximo a 1 se trata de un emisor con un régimen próximo al laminar, y por tanto sensible a las variaciones de presión. Si el valor de este exponente es 0.5 el emisor es de régimen turbulento. Los emisores auto compensantes tienen un valor de x menor de 0.2 (Ávila, 2004).

2.8.1 Cinta de riego.

Es una manguera de polietileno delgada, que cuenta con orificios de suministro para introducir el agua antes de que entre a los goteros incluidos dentro de la línea, luego, el agua pasa a través de un laberinto donde el flujo sigue un camino hasta disiparse por muchos orificios separados a una misma distancia dentro de toda la línea regante (Enciso et al., 2005).

2.8.2 Goteros.

Son emisores de tamaño pequeño fabricados con plásticos de alta calidad. Los cuales se montan en pequeños tubos blandos de Polietileno en espacios frecuentes. El agua entra a los emisores del gotero a aproximadamente 1 bar y se entrega a la presión atmosférica en forma de gotas continuas a tasas bajas de 1 a 24 litros por hora (Génova, 2017).

Se suelen clasificar por los siguientes tipos.

Microtubo: Es un tubo muy fino, de diámetro muy pequeño que disipa la presión por fuerza capilar y la trayectoria del flujo a lo largo del microtubo. El tubo va insertado sobre una lateral de 12, 16 o 20 mm.

Una de sus ventajas es que es económico, sin embargo, la descarga es variable y se obstruye fácilmente dado que su flujo es laminar, por lo tanto, regulan la descarga disipando la energía usando la fricción (Van der Guilk, 1999).

Laberinto: La gota se genera por la pérdida de carga ocasionada por el recorrido turbulento. La turbulencia estabiliza la descarga, aún en presencia de cambios de

temperatura. El trayecto del flujo turbulento puede llegar a ser de entre 25 y 33 cm de largo en un gotero.

Diafragma: Son goteros en los que un diafragma de goma controla la descarga, lo que genera una altísima uniformidad entre la descarga de los distintos goteros de la línea. El problema principal está dado por la calidad del material del diafragma.

2.8.3 Auto compensantes

Son goteros que regulan la descarga bajo condiciones de presión variable. El principio de regulación está basado en un diafragma que limita la salida de agua y aumenta la presión. Este aumento permite incrementar el número de goteros sobre el lateral sin que varíe la descarga entre el primer y último gotero (Génova, 2017).

Los beneficios de usar goteros auto compensantes es que se elimina el factor topográfico, la descarga es uniforme ante las variaciones de presión, hay más flexibilidad en el largo de los laterales y se puede trabajar con descargas elevadas. Los emisores de flujo compensado están diseñados para operar en rangos de presiones que van de 15 a 40 psi, mientras que mantienen un gasto relativamente constante (Van der Guilk, 1999).

2.9 Dispositivos de filtración

La calidad del agua y la filtración son los problemas más serios para considerar al diseñar un sistema de riego por goteo. A la vez que se descargan caudales más bajos, el diámetro del orificio de los emisores se vuelve cada vez más pequeños. Esto resulta en que los emisores puedan ser tapados fácilmente por las pequeñas partículas suspendidas en el agua (Taghvaeian, 2015). Un sistema con mala calidad

de agua y mala filtración simplemente no funcionarían de manera suficientemente confiable para mantener una buena operación.

2.9.1 Filtro de arena

Los filtros de grava son muy utilizados cuando se dispone de aguas con altos niveles de partículas orgánicas e inorgánicas, ya que tienen la particularidad de atrapar y retener niveles importantes de contaminantes sin aumentar significativamente la pérdida de carga. Consisten generalmente en dos o más tanques conectados en paralelo con una entrada y salida de agua común. El agua ingresa al tanque por arriba, pasa a través de la arena que actúa como medio filtrante y sale como agua limpia a la tubería principal (Martínez, 2001).

2.9.2 Hidrociclón

Es un aparato cilíndrico que permite eliminar las partículas de densidad superior a 200 mesh (número de orificios por pulgada lineal), donde el agua entra tangencialmente a la parte superior cilíndrica lo que provoca un torbellino descendente. La fuerza centrífuga generada en este torbellino proyecta las partículas sólidas contra las paredes de la parte cónica, por la cual descienden hasta el tubo inferior que las conduce al depósito de sedimentos. El agua sin sedimentos forma un torbellino que sale por la parte superior (Pizarro, 1996).

2.9.3 Filtro de malla

El elemento filtrante lo constituye una malla de metal o nylon muy fina. De acuerdo con Martínez (2001), este tipo de unidades es utilizado principalmente para filtrar aguas con contaminantes inorgánicos como arenas de distintas clases y moderadas

cantidades de contaminantes orgánicos. No es recomendable su uso en aguas con alto contenido de residuos orgánicos ya que estos obstruyen rápidamente las cribas (aperturas de la malla) aumentando rápidamente la pérdida de carga más allá de los niveles aceptables.

2.9.4 Filtros de discos

La filtración por discos se logra mediante la entrada de agua sucia desde el exterior del disco, a través de las diversas intersecciones de los discos atrapando la suciedad (Netafim, 2019). Cada anillo o disco está especialmente diseñado con líneas ranuradas en ambos lados, donde el ancho de la ranura permanece constante y el ancho de la nervadura disminuye hacia el centro.

2.10 Fertiirrigación

Como señala Martínez (1998), la fertiirrigación es el proceso mediante el cual los fertilizantes o elemento nutritivos que necesita una planta son aplicados junto con el agua de riego. Cuando además de fertilizante se aplica otro tipo de productos químicos como herbicidas, insecticidas, fumigantes de suelo, acondicionadores de suelo y compuestos que permiten el buen funcionamiento de los sistemas de riego presurizados (goteo y microaspersión), se usa el término “quimigación”.

Ventajas:

Entre las ventajas que presenta la aplicación de fertilizantes a los cultivos por medio de un sistema de riego, se encuentran las siguientes:

Mayor eficiencia en el uso de fertilizantes. Una mayor cantidad de fertilizante es utilizado por la planta en relación con el total de fertilizante aplicado, ya que existe una mayor distribución y uniformidad.

Adaptación del programa de fertilización a diferentes etapas de desarrollo del cultivo. Las aplicaciones de fertilizante pueden hacerse al ritmo que el cultivo lo necesita en las fases de crecimiento vegetativo, floración, cosecha, etc.

Uso de suelos marginales. Suelos pedregosos o muy arenosos que se caracterizan por una baja fertilidad natural, pueden ser cultivadas sin problemas.

Desventajas:

La mayoría de los inconvenientes asociados a la fertirrigación no se deben al método en sí, sino más bien a un manejo incorrecto o al desconocimiento de los aspectos de nutrición vegetal.

Obturaciones. Taponamiento por precipitados causados por la incompatibilidad de los distintos fertilizantes entre sí o con el agua de riego.

Dosificación. Las aplicaciones de fertilizantes y otros productos deben ser bien dosificadas para no producir daño al cultivo. Un exceso de productos químicos puede inducir toxicidad afectando los futuros rendimientos.

2.11 Inyectores químicos

2.11.1 Inyector tipo Venturi

El Venturi es un dispositivo hidráulico con forma de dos embudos unidos por la parte más angosta (Martínez 1998). Al pasar el agua por la “garganta” aumenta

rápidamente su velocidad. Esto provoca una presión negativa en la segunda sección, que es aprovechada para inyectar una solución madre en ese punto (Martínez 1998).

Los inyectores tipo Venturi están en función del caudal de succión deseado, el caudal que pasa por el inyector y la forma o modalidad de instalación.

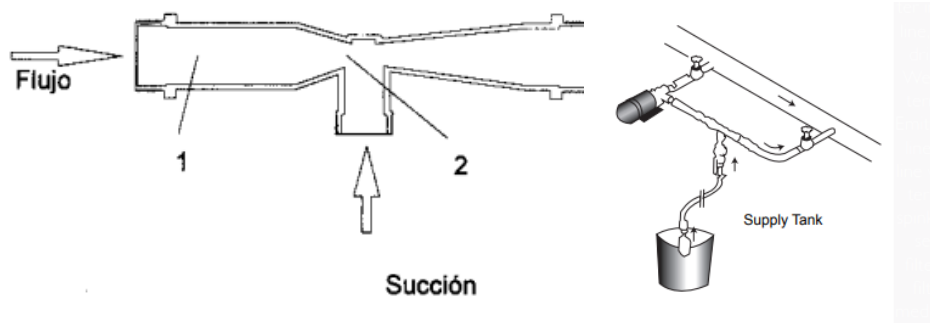


Ilustración 2. Diagrama de partes y funcionamiento de un inyector tipo Venturi

2.11.2 Bomba de inyección

La bomba de inyección tiene un pequeño motor que funciona con electricidad, el motor mueve pequeños diafragmas o pistones para inyectar fertilizante en el sistema (Enciso et al., 2005). La ventaja de las bombas de inyección es que los productos químicos se pueden inyectar con una alta uniformidad ajustándose fácilmente a tasas independientemente de la presión de descarga.

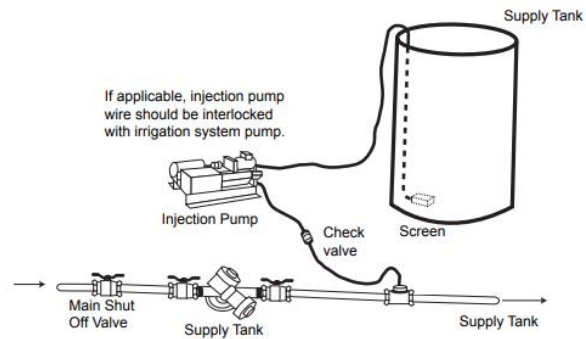


Ilustración 3. Diagrama de funcionamiento de una bomba inyectora

2.11.3 Tanques diferenciales.

El agua es forzada a través de un tanque que contiene el producto químico a inyectar. Cuando el agua pasa al tanque, el fertilizante se inyecta en el sistema de riego. Una desventaja de este sistema es que la concentración del producto químico en el tanque disminuye con el tiempo.

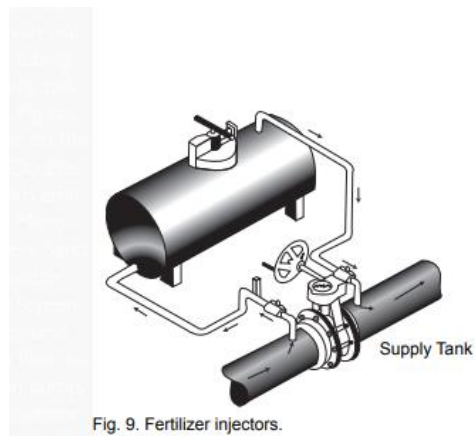


Fig. 9. Fertilizer injectors.

Ilustración 4. Diagrama de funcionamiento de tanques diferenciales para fertirrigación

2.12 Unidad de bombeo

Está constituida generalmente por una bomba centrífuga, accionada por un motor eléctrico o de combustión interna, donde el tamaño de la unidad está determinado por la carga total necesaria para la conducción y distribución del agua y el gasto total requerido para regar el área beneficiaria en el tiempo disponible (Blair, 1979).

En ocasiones es posible disponer de una diferencia de nivel adecuada entre la fuente de agua y los terrenos de riego, para dar la presión necesaria para la conducción y distribución. En tales casos, puede omitirse la unidad de bombeo.

2.12.1 Bombeo.

Los sistemas de riego por goteo generalmente requieren de baja presión (<35 psi). Por lo general se requiere una bomba, como lo es el caso de la mayoría de los sistemas de riego en las grandes llanuras. El tamaño de la bomba depende del caudal y de los requisitos de carga total.

Los requisitos de carga total incluyen elevación de bombeo, pérdidas por fricción, presión del sistema, pérdidas de carga en filtros, válvulas de control, medidores de flujo, etc. (Roger, 2018).

2.13 Dispositivos de control

2.13.1 Manómetro.

Es un dispositivo que mide la presión con la que es conducida el agua a través de la tubería.

Es necesario que una estación de bombeo sea equipada con manómetros en la tubería principal de descarga. Conviene, además, instalar un manómetro después

del filtro, para ir visualizando periódicamente el grado de obturación que van teniendo los filtros (Ferreyra, 2000).

2.13.2 Medidor de flujo.

El medidor de flujo o caudalímetro mide el volumen de agua que se mueve a través del sistema, ya sea como caudal o como un volumen total acumulado (Roger, 2018).

El caudalímetro proporciona la información al operador sobre cómo está funcionando el sistema, como y cuando programar la aplicación de agua, y en algunos casos cuánta agua está disponible para gestionar.

2.13.3 Válvula de retención

De acuerdo con Blair (1979), en algunas instalaciones se utiliza esta válvula como parte inicial del cabezal y tiene como finalidad evitar, de manera instantánea, el retorno del agua cuando se suspende por alguna causa el bombeo. De esta manera, se protege la bomba y se pretende evitar el golpe de ariete.

2.13.4 Reguladores de presión

Los reguladores de presión, al igual que los goteros auto compensantes, son dispositivos que se instala en sistemas hidráulicos y tienen la función de mantener constante la presión de salida en las distribuidoras, siempre y cuando sean impulsados por una presión de entrada superior a su presión de salida en las líneas regantes (Taghvaeian, 2015).

2.13.5 Válvulas de aire.

La importancia de la evacuación del aire del sistema radica en que cuando el agua entra a las tuberías se empuja el aire, concentrándose en los puntos más altos o en los finales de las tuberías. En dichos lugares, se pueden formar burbujas que originan graves problemas de pérdidas de carga, o bien, se pueden producir sobrepresiones que podrían causar la rotura de los tubos.

El aire debe entrar en la red cuando hay una caída brusca de la presión en la tubería, ya sea por drenaje, paro de bombas, cierre de válvulas, rotura, etc., ya que esta situación acarrea un efecto de succión que produciría un colapso de la tubería por vacío (Ferreyra, 2000).

2.14 Red de distribución.

Las tuberías que se utilizan en las instalaciones de riego presurizado son fundamentalmente de PVC y PE. Los conjuntos de tuberías deben ser capaces de conducir, con la mayor eficiencia posible, el agua desde la fuente de abastecimiento hasta la planta misma (Gil 2015). Desde el punto de vista de distribución, las tuberías de una red de riego desde el cabezal al cultivo se clasifican en:

2.14.1 Tubería principal

Usualmente es de PVC y la de mayor diámetro, su función es conducir todo el caudal requerido por los diferentes sectores de riego (Gil 2015).

También se le conoce como Manifold, que se refiere a la línea principal que entregan agua del lugar de bombeo a los colectores de cabecera conectando los laterales de la línea de goteo (Rogers, 2018).

2.14.2 Tubería secundaria

Corresponden a tuberías de menor diámetro que son las encargadas de llevar el agua desde la tubería principal al sector correspondiente (Gil, 2015).

2.14.3 Terciarias o porta laterales

Estas son tuberías que distribuyen el agua hacia los goteros actuando como cabecera de línea porta goteros o lateral (Gil, 2015).

2.14.4 Tuberías laterales

En estas tuberías se insertan los emisores (goteros o micro aspersores). Hoy también existen líneas con goteros integrados. Son fabricadas generalmente de polietileno negro y por lo general miden 12 a 16 mm de diámetro. Estas tuberías se ubican sobre la superficie en la hilera de cultivo (Gil, 2015).

2.14.5 Conectores.

Se necesitan conectores para unir la línea de goteo al colector. El número y el tipo depende del diseño del sistema. Las opciones de conector incluyen pegado, arandela, lengüeta y compresión. Estos pueden tener una conexión directa a la línea de goteo o puede recibir un tubo de suministro que está conectado a la línea de goteo (Rogers, 2018).

2.15 Bulbo de humedad

Se llama bulbo húmedo al volumen de suelo humedecido por un emisor de riego localizado. El movimiento del agua en el suelo determina la forma y el tamaño del

bulbo húmedo, que tiene una gran importancia, ya que en él se desarrolla el sistema radical de las plantas (Martínez, 2020).

La forma y el tamaño del bulbo húmedo dependen de los siguientes factores:

2.16 La textura del suelo

En suelos arenoso, con gran cantidad de poros grandes, el agua circula con mayor facilidad hacia abajo, mientras que en suelos arcillosos se extiende con más facilidad hacia los lados.

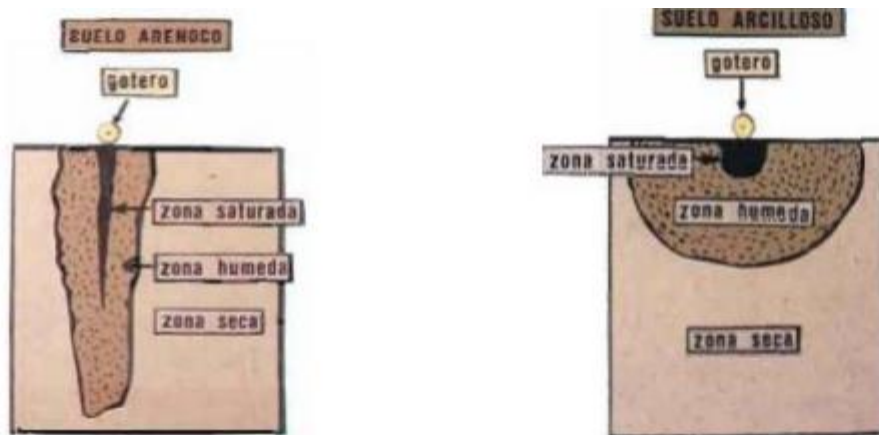


Ilustración 5. Distribución del bulbo de humedad en un suelo arenoso y un arcilloso

El Caudal de cada emisor. Cuando el agua empieza a salir por un emisor se forma un pequeño charco, a la vez que el suelo empieza a absorber agua en toda la superficie de este. El tamaño del charco depende del caudal que sale por el emisor: entre más grande sea el charco, el bulbo estará más extendido en sentido horizontal.

El tiempo de riego. A medida que aumenta el tiempo de riego, el tamaño del bulbo aumenta en profundidad, pero apenas aumenta su extensión en sentido horizontal.

2.17 Pérdida de carga en una tubería

Es aquella pérdida de energía del agua en su recorrido al interior de la tubería, desde la entrada hasta el final, provocando una disminución de la presión interna del sistema o un diferencial de presión (Santavana *et al.*, 2004). La pérdida de carga en una conducción está estrechamente relacionada con el caudal conducido, diámetro, longitud y rugosidad de las tuberías. Otro factor que afecta la presión son las pérdidas por singularidades, que son producidas por uniones, válvulas, codos, bifurcaciones, etc. (Santavana *et al.*, 2004).

2.17.1 Pérdidas por fricción.

Según se mueve el agua por las tuberías se pierde energía por fricción, es decir, por el rozamiento del agua contra la superficie de las tuberías.

Estas pérdidas por fricción dependerán básicamente de:

La velocidad media del agua: cuanto mayor sea esta, mayor será la fricción.

La longitud de la tubería: en una tubería más larga se acumularán lógicamente más pérdidas por rozamiento.

El diámetro de la tubería: a menor diámetro el rozamiento será mayor.

El material de la tubería, pues diferentes materiales tendrán también diferentes rugosidades.

2.18 Suelo

El suelo es el medio por el cual se mueve el agua y es de gran importancia conocer su estructura y textura cuando se desea una uniformidad óptima para maximizar el crecimiento y la producción de plantas.

El tipo de suelo comprende principalmente las características físicas internas del perfil, como son profundidad, textura, estructura, drenabilidad, capacidad de retención de humedad y velocidad de infiltración, que son considerados los factores principales que determinan la selección del método. Así mismo tenemos que suelos poco profundos y/o con alta capacidad de infiltración se riegan muy ineficientemente con métodos superficiales, si por otro lado se cuenta con una topografía muy irregular, el riego por aspersión constituye la única posibilidad (Rojas 2002).

2.19 Clima

El factor climático son ciertas condiciones físicas distintas de los elementos climatológicos, que habitualmente influyen sobre el clima: latitud, altitud, distribución de tierras y mares, continentalidad, distancia al litoral, topografía, corrientes oceánicas, etcétera.

La atmósfera, por su composición y por la energía de que dispone (que originalmente han provenido del sol por radiación electromagnética) tiene propiedades y condiciones propias. Sin embargo, la presencia habitual de ciertas condiciones físicas (factores climáticos), hace que cambien los valores y distribución de las propiedades y condiciones originales y, por ello, los factores climáticos se convierten en agentes que producen o modifican el resultado visible con los valores de los elementos que forman el clima (Lowry, 1973).

2.20 Uniformidad.

La uniformidad de riego es una medida que se refiere a qué tanto se aplica el agua a un campo de forma homogénea. Está comúnmente conocida como uniformidad de distribución (UD) y se expresa como un porcentaje. Cuando un sistema de riego aplica agua con una alta uniformidad, es posible lograr una alta eficiencia de riego.

2.21 Clasificación taxonómica del Maíz

Reino: Vegetal

División: *Tracheophyta*

Clase: *Angiospermae*

Subclase: *Monocotyledoneae*

Grupo: *Glumiflorae*

Orden: *Graminales*

Familia: *Graminae*

Tribu: *Maydeae*

Género: *Zea*

Especie: *mays*

2.22 Morfología del Maíz

EL maíz es una gramínea de porte robusto, de fácil desarrollo y de producción anual. Como otras gramíneas, esta planta es de inflorescencia monoica con inflorescencia masculina y femenina separada dentro de la misma planta. Se trata de una planta

originaria de Mesoamérica que hoy en día se cultiva en todo el mundo, siendo la tercera cosecha más importante después del trigo y arroz. (Junta de Casillas y León, 2012).

2.22.1 Raíz

El sistema radicular presenta una parte de raíces adventicias seminales que constituye cerca del 52 % de la planta además de ser el principal sistema de fijación y absorción de la planta, mientras que el sistema nodular es el 48 % de la masa total de raíces de la planta (Sánchez, 2014).

La anatomía de la radícula y raíces laterales en maíz muestran la organización típica de las monocotiledóneas (haces vasculares dispersos). El arreglo histológico comprende la epidermis, número variable de capas de córtex, endodermis, periciclo y un cilindro vascular con varios haces vasculares y floemas (Gould y Shaw, 1983).

El sistema radicular principal se localiza propiamente en la corona, para ramificarse en raíces secundarias, terciarias, etcétera, hasta rematar en cada uno de los pelos radiculares, en estos pelos radiculares es donde se presentará el máximo de absorción de agua y de los nutrientes contenidos en el suelo. Los pelos radiculares se encuentran por millones en el sistema radicular de una planta de maíz.

Además de la función importante de la absorción, existe otra de gran interés, en lo que se refiere a que constituyen el medio de fijación o anclaje de la planta, de otra forma, se perdería la estabilidad de esta en demérito de su buen desarrollo y por consecuencia, mal rendimiento de grano y forraje (Robles, 1976).

2.22.2 Tallo

En la planta de maíz este órgano es cilíndrico en su base, pero conforme se va desarrollando, se va haciendo algo ovalado; es sencillo, rayado longitudinalmente, erguido robusto, nudoso y presenta desde ocho hasta treinta y ocho nudos que le sirven de refuerzo; el espacio comprendido entre ellos se llama entrenudo, y su longitud está comprendida entre 15 y 20 centímetros (Díaz, 1964).

El tallo normalmente alcanza una altura de 2 a 3 m. Por regla general el tallo se desarrolla hasta un grosor de 3 a 4 cm y normalmente posee 14 (desde 8 hasta 21) entrenudos, los cuales son cortos y bastante gruesos en la base de la planta y se vuelven más largos y gruesos más arriba, para agudizarse de nuevo en la inflorescencia masculina, que termina en el eje de la planta (Berger, 1967).

2.22.3 Hojas

En el maíz las hojas son alternas, sésiles y envainadoras, de forma lanceolada, anchas y ásperas en los bordes; vainas pubescentes; lígula corta. Llegan a alcanzar un metro de longitud y su número es constante en cada variedad.

El número de hojas varía entre 8 y 48, pero en promedio es de 12 a 18. Las variedades precoces de maduración temprana poseen pocas hojas, en tanto que las tardías tienen muchas. La longitud de la hoja varía entre 30 y 150 cm y su anchura puede ser hasta de 15 centímetros (Berger, 1967).

Las hojas de maíz constan de tres partes, que son: la vaina, el limbo y la lígula.

La vaina sale del nudo y envuelve al tallo.

El limbo, que es la parte más grande de la hoja, está constituido por la vena central, las venas paralelas a esta y el tejido intracelular.

La lígula, que no es más que una saliente en forma de collar, está situada entre el punto de unión de la vaina con el limbo, y desempeña un papel de protección contra el agua y el polvo, para que no penetren entre la vaina y el tallo. En las extremidades de la lígula están ubicadas las aurículas, que son de un color verde claro y de forma triangular (Díaz, 1964).

2.22.4 Flores

El maíz es una planta monoica, es decir, que tiene en el mismo pie las flores masculinas y femeninas, pero separadas. Esta disposición floral hace que la polinización sea cruzada.

Las flores masculinas aparecen antes que las femeninas y están situadas en la parte superior del tallo, sobre una panícula, llamada comúnmente banderilla. En la espiga central se observan de cuatro a once hileras de espiguillas, por pares; de cada par, una espiguilla es pedicelada y la otra sentada, aunque se dan casos en que ambas espiguillas son sentadas.

Las flores femeninas están reunidas en espiga y brotan de las axilas de las hojas; componen un espádice (espigas de flores unisexuales con eje carnososo, casi siempre con porción terminal estéril), llevan de ocho a veintiséis series longitudinales de espiguillas insertadas en un eje esponjoso, que recibe entre muchas otras denominaciones, las de olote y zuro (Díaz, 1964).

Cada espiguilla se compone de seis bractéolas, que hasta el ápice rodean un ovario globoso durante la floración, de 2.5 milímetros de diámetro. El ovario mismo está coronado por un largo estilo, es decir el cabello de la mazorca tierna, el cual crece rápidamente y surge de la punta de las hojas de ésta. El cabello es bifurcado en la punta, pero a través de casi toda su longitud es estigmático y receptivo (Berger, 1967).

2.22.5 Semilla

En el elote, las semilla (granos) están rodeadas por los restos pajizos de las glumas, y están sostenidas por pedicelos muy cortos y esponjosos. La longitud del elote varía entre 8 y 42 cm. El diámetro puede ser hasta de 7.5 cm en las mazorcas grandes, pero normalmente es de 3 a 5 cm. Usualmente una mazorca de maíz contiene de 300 a 1000 semillas, las que son dentadas o redondeadas.

La capa exterior del grano (cariópside) es una cubierta delgada de varias capas de células, las cuales encierran la semilla unida firmemente a estas capas. La capa exterior del endosperma, el cual forma la mayor parte de la semilla. La capa exterior del endosperma es la aleurona, otra capa de células en la que se deposita la proteína almacenada en la semilla. El endosperma de la semilla del maíz es de dos tipos: el duro y vítreo de apariencia opalescente y el cual contiene una mayor proporción de proteína que el tipo amiláceo, que es más harinoso y blanco en apariencia. La porción y disposición de estas clases de endosperma en la semilla son distintas, según las variedades (Cobley, 1956).

El embrión ocupa un volumen pequeño en la semilla y está situado en la base de la superficie inferior y en estrecho contacto con el endosperma. El escutelo encierra o envuelve en diverso grado el ápice de la raíz protegido por su vaina. La coleorriza y el ápice del tallo también van encerrados por una vaina (Berger, 1967).

2.23 Plagas

La Dirección General de Sanidad Vegetal, ha identificado las siguientes plagas, como las más importantes para el maíz en México:

- Araña roja (*Oligonychus mexicanus*). La ninfa y el adulto chupan los jugos de las hojas.
- Barrenadores del tallo: neotropical (*Zeadiatraea lineolata*) suboccidental (*Zeadiatraea grandiosella*), etc. La larva barrena el tallo.
- Chapulines (*Sphenarium purpurascens*). La ninfa y el adulto se alimentan de las hojas.
- Catarinas (*Diabrotica undecim punctata*). La larva ataca la raíz y perfora la base del tallo; el adulto come las hojas agujerándolas, así como los cabellitos y elotes tiernos.
- Gallina ciega. (*Phyllophaga spp*). La larva ataca la raíz.
- Gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) La larva se alimenta de las hojas del cogollo y ocasionalmente barrena el tallo y los elotes por la parte inferior.
- Trips (*Frankliniella occidentalis*). La ninfa y el adulto extraen los jugos de las hojas.

2.24 Enfermedades.

Son varias las enfermedades presentadas en el maíz, aunque su importancia económica es reducida pues generalmente se utilizan variedades resistentes a las mismas.

- Tizones, ocasionados por la presencia de: *Helminthosporium spp.* y *Trichometasphaeria turcica Lutt.*
- Carbones, provocados por la presencia de *Tilletia spp.*, *Ustilago spp.* y *Urocystia spp.*, dentro de éstos, se cuenta el hongo comestible conocido como huitlacoche: *Ustilago maydis.*
- Manchas foliares causadas por *Alternaria spp.*, *Cercospora sp.*, *Cochliobolus sp.*, etc.

2.25 Fitomejoramiento

Según Reyes (1980), las variedades de maíz híbrido, gracias al vigor genético que poseen, son de una productividad excepcional, superior en 70 % o más a las variedades criollas, pero tienen las siguientes desventajas:

Son obtenidas en las condiciones óptimas de los campos experimentales, por lo que su adaptación a diferentes condiciones ecológicas es reducida.

Su productividad se manifiesta en una magnífica respuesta a las condiciones óptimas en las que fue producido, por lo que requiere de una buena preparación del suelo, altos niveles de fertilización, agua disponible en cantidades suficientes y un adecuado control de malezas; lo anterior impide su uso al grupo mayoritario de agricultores que cuentan con insuficientes recursos para la producción.

La semilla tiene que ser renovada cada año, pues el híbrido pierde su vigor después de la primera siembra.

2.26 Condiciones ecológicas y edáficas

2.26.1 Temperatura

Temperaturas menores de 10°C retardan o inhiben la germinación, y al disponer la semilla de humedad, se pueden presentar fitopatógenos que dañen parcial o totalmente al embrión, en general la temperatura media óptima durante el ciclo vegetativo del maíz, es de 25 a 30°C. Temperaturas medias máximas de 40°C, son perjudiciales en especial en el periodo de la polinización, por lo que los granos de polen germinan y mueren antes de que se realice la fecundación, lo cual origina disminución en el número de granos por mazorca, y por consecuencia, bajos rendimientos por unidad de superficie (Robles, 1976).

2.26.2 Humedad

Las necesidades de agua para la evapotranspiración en el cultivo del maíz varían de 400 a 800 mm. El total de agua usado en la evapotranspiración varía considerablemente de acuerdo con los siguientes factores: duración del ciclo del cultivo, clima, disponibilidad de agua, características hidrodinámicas del suelo y prácticas de manejo del sistema agua-suelo-planta.

La escasez de agua en cualquier etapa de desarrollo de la planta afectará a la cosecha, pero las investigaciones en maíz han confirmado que la deficiencia de agua en el suelo durante el periodo de floración e inicio del llenado de grano es particularmente crítica para el rendimiento del grano de maíz (Reyes, 1980).

2.26.3 Altitud y Latitud

Se cultiva el maíz con buenos rendimientos desde el nivel del mar, hasta alrededor de 2500 metros, sin embargo, con altitudes mayores a los 3000 metros sobre el nivel del mar, los rendimientos disminuyen, sobre todo por bajas temperaturas propias de altitud excesiva.

Del mismo modo, el maíz se adapta desde más o menos 50°C de latitud norte, hasta alrededor de 40°C de latitud sur, pasando por todas las latitudes comprendidas en este rango tan amplio en diferentes regiones agrícolas del mundo. Recordando que el factor latitud es muy importante por su influencia en el fotoperiodo y en las temperaturas (Robles, 1976).

2.26.4 Suelos

De acuerdo con Robles (1976), el maíz prospera en diferentes tipos de suelo respecto a textura y estructura. Se siembra en suelos arcillosos, arcillo-arenosos, francos, franco-arcillosos, franco-arenosos, etc.; sin embargo, son mejores los suelos con textura más o menos franca que permitan un desarrollo del sistema radicular, y por consecuencia, mayor eficiencia en la absorción de la humedad y de los nutrientes del suelo, así como un mejor anclaje o buena fijación de las plantas en el suelo. Básicamente el suelo es importante por su textura y estructura, por su contenido de elementos orgánicos e inorgánicos como fuente de nutrientes, por la humedad, aireación, temperatura, flora microbiana, etc., que contribuyan a proporcionar a la planta condiciones edáficas óptimas para un buen desarrollo vegetativo y obtener buenos rendimientos.

Tabla 1. Propiedades físicas de suelos franco-arcillosos.

Textura del suelo	% de porosidad	Densidad aparente g/cm ³	% de Humedad		Humedad disponible mm/m
			CC	PMP	
Franco	47	1.4	22	10	170
Franco arcilloso	49	1.35	27	13	190
Arcilloso	53	1.25	35	17	230

III. MATERIALES Y MÉTODOS.

3.1 Ubicación del experimento

El presente experimento se llevó a cabo en el jardín en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en el campus Saltillo, cuya ubicación geográfica se encuentra sobre la zona 14 R del sistema UTM a 295213.84 metros este y 2805770 metros norte, con una altitud sobre el nivel del mar de 1770 metros, presenta una temperatura media anual de 19.8°C, una precipitación de 443.5 milímetros, clima templado semiseco e invierno extremo.

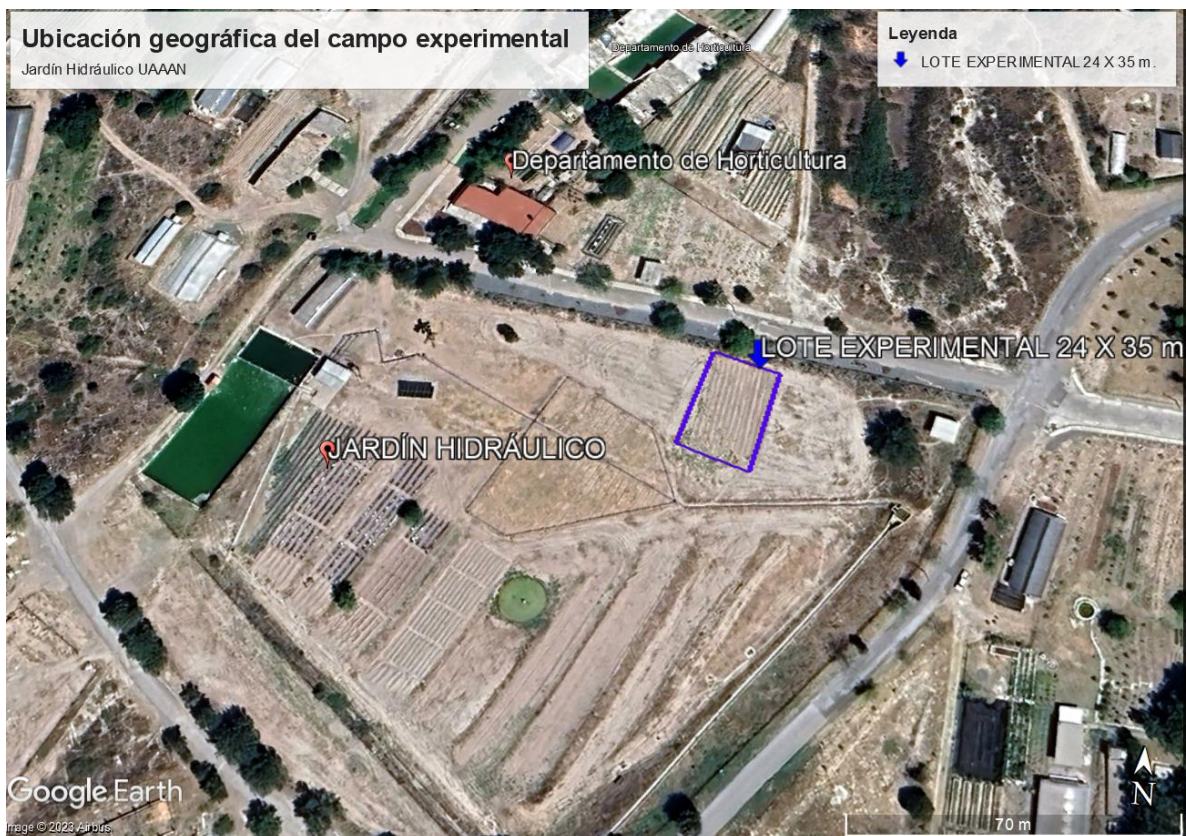


Ilustración 6. Ubicación geográfica del lote experimental en la UAAAN.

3.2 Preparación del terreno

No se realizó ninguna labor de maquinaria, el 20 de febrero de 2022 se realizó limpieza manual con azadón, en un área experimental de 24 x 35 m.

3.3 Material Vegetal

El híbrido de maíz utilizado fue el AN-447, este material se obtuvo de los genotipos con los que cuenta la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

3.4 Propiedades del suelo

Se estimó que la textura del suelo en el campo experimental corresponde a un suelo franco arcilloso con un coeficiente de Capacidad de Campo de 35.4 % y un Punto de Marchitez Permanente de 21.1 %, con una densidad aparente de 1.16 g/ cm³.

3.5 Siembra

La siembra se realizó de forma manual, el 11 de abril del 2022, se establecieron camas de 60 cm de ancho por 30 m de largo, a una distancia entre camas de 1.6 metros de centro a centro y la distribución de las plantas fue a doble hilera con una separación de 20 cm entre plantas y 25 cm entre hileras, la densidad de siembra fue de 67,500 plantas/ha. Esto se realizó con la ayuda de una cinta métrica marcando manualmente los puntos de siembra, donde posteriormente se hizo un hoyo en cada uno para depositar la semilla. Después de un mes de la siembra se llevó a cabo el primer aclareo.

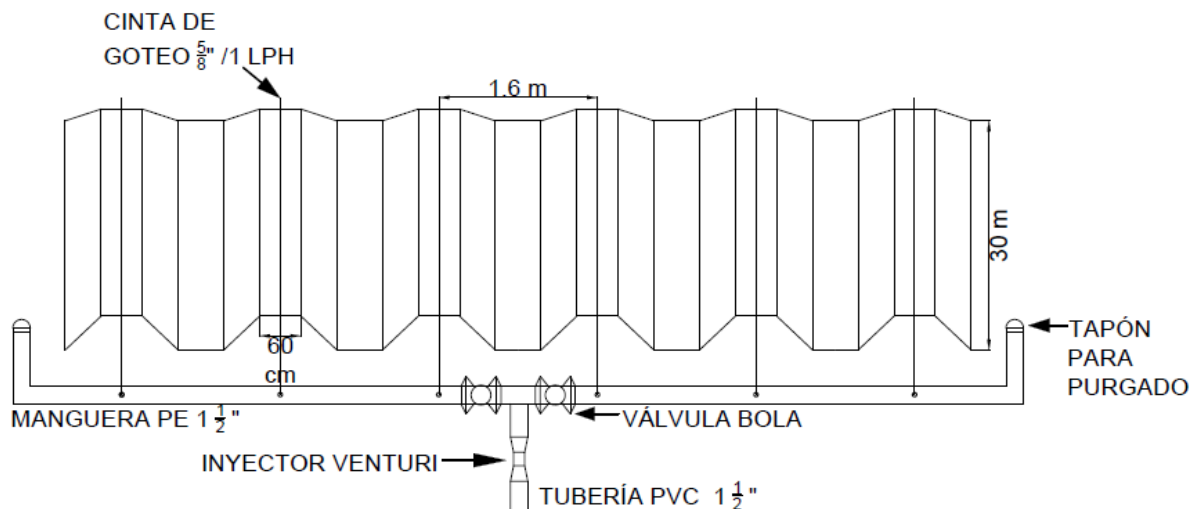


Figura 1. Distribución y medidas establecidas para las camas del lote experimental.

3.6 Fertilización

La fertilización se realizó de acuerdo con las necesidades del suelo, el cual era medianamente alcalino, con un contenido de materia orgánica medio y la disponibilidad de nitrógeno y fósforo bajos, en cuanto a carbonatos totales la disponibilidad es baja y en cuanto al potasio disponible fue medio.

La fertilización se aplicó a los 50 días después de la siembra con una dosis de 300 gr por parcela útil, utilizando Ultrasol con fórmula 20-20-20 durante la etapa de crecimiento vegetativo, ya que, contiene microelementos como Azufre y Magnesio, necesarios para un vigoroso desarrollo de raíces, tallos y hojas que crearán las reservas que la planta requiere en la etapa de floración y cuajado de granos.

3.7 Riegos

Se utilizó una línea regante en medio de la cama para regar ambas hileras de maíz, la cinta distribuye un caudal de 1 lph en un diámetro de 5/8" y una separación entre emisores de 20 cm.

Se aplicó una lámina total de 50.4 cm. El primer riego se efectuó antes de la siembra con una lámina de 7.5 cm, y los riegos posteriores se realizaron con láminas de 3.3 cm, con un intervalo entre riegos de 7 días.

En el primer riego (presiembrado) se consideró que el nivel de humedad del suelo estaba cercano al PMP, por lo que la lámina para reponer la humedad se estimó con la fórmula.

$$Lr = \frac{(CC - PMP)}{100} * Pr * Da$$

$$Lr = \frac{35.4 - 21.1}{100} * 40 \text{ cm} * 1.16 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 6.63 \text{ cm}$$

El tiempo para aplicar la lámina de riego se calculó con la fórmula

$$TR = \frac{V}{Q}$$

El volumen se calculó con una superficie de 1 metro de largo por 0.5 metros de ancho y una lámina de 6.63 cm, obteniendo un volumen total de 0.0351 m³ equivalente a 35.14 litros. El gasto de los goteros fue de 1lph y con una separación de 20 cm, por lo que en un metro de largo hubo 5 goteros repartiendo un gasto total de 5lph. Con los datos anteriores se calculó el tiempo de riego.

$$TR = \frac{35.14 \text{ l}}{5 \text{ lph}} = 7.02 \text{ horas}$$

Finalmente se aplicaron 8 horas de riego, dando así una lámina de 7.5 cm.

Las láminas de riego de auxilio se calcularon considerando un nivel de abatimiento del 50% de la humedad aprovechable.

$$HA = CC - PMP = 35.4 - 21.1 = 14.3\%$$

$$Lr = \frac{(0.5 * 14.3)}{100} * 40 \text{ cm} * 1.16 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 3.31 \text{ cm}$$

Una vez calculados los riegos se hizo un calendario de riego, donde se muestran las fechas de riego en días después de la siembra (DDS) y su lámina correspondiente sin tomar en cuenta las precipitaciones (que en este año fueron mínimas).

Tabla 2. Distribución de riegos y láminas aplicadas

Ciclo en dds	Lámina evapotranspirada acumulada en mm	Lámina aplicada acumulada (33 mm/semana) con riego de goteo sub-superficial
0	0.00	33
7	5.02	66
14	19.93	99
21	44.21	132
28	77.06	165
35	117.37	198
42	163.80	231
49	214.80	264
56	268.64	297
63	323.54	330
70	377.65	363
77	429.15	396
84	476.34	429
91	527.61	462
98	561.60	495
105	587.16	528
112	603.44	561

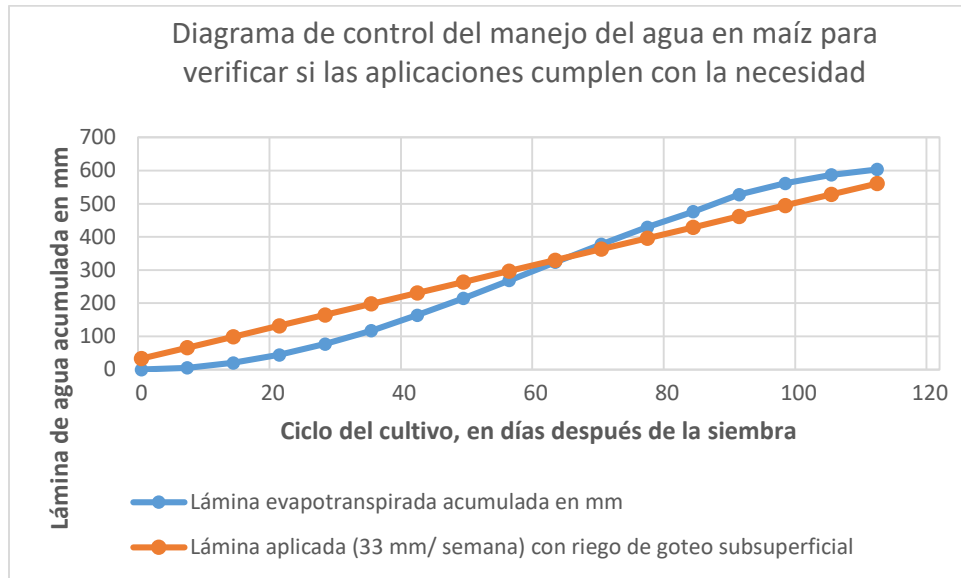


Ilustración 7. Comparación de la lámina de riego aplicada contra la evapotranspiración durante el ciclo del cultivo.

Se puede observar que, en las primeras fases fenológicas, la aplicación del agua es mayor a la demanda, y en las fases más avanzadas (espigas y jilotes) la aplicación por tandeo fijo tiende a ser menor que la requerida.

En la cinta superficial es mayor el déficit de agua en la etapa fenológica entera del maíz, mientras que la capa de suelo por encima de la cinta de goteo arroja la humedad manteniéndola por más tiempo disponible y se reduce la evaporación directa en un 25 %.

3.8 Control de maleza

Se realizó de forma manual, el cuál consistió en la eliminación de malezas utilizando un azadón entre las camas y deshierbando a mano en el bordo para no dañar la cinta con el corte de la herramienta.

3.9 Control de plagas

Se inspeccionaba el campo experimental durante el ciclo del cultivo, para detectar plagas y enfermedades que afectaran el desarrollo fenológico del cultivo. La plaga más notoria se presentó a los 45 días después de la siembra, tratándose del gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*), para lo cual se aplicó el plaguicida de contacto, de forma pulverizada sobre las hojas de las plantas. El *Bacillus thuringiensis* es el insecticida biológico más aplicado en el mundo y se utiliza para controlar diversos insectos que afectan la agricultura y la actividad fuerte, por lo que se usó la siguiente dosis.

Tabla 3. Dosis de aplicación de plaguicida

PLAGUICIDA	DOSIS (Kg/ha) / 200L agua	No. APLICACIONES	DDS*
<i>Bacillus thuringiensis</i> (Var. <i>Kurstaki</i>)	0.25-1.0	1	45

*Días después de la siembra

3.10 Diseño experimental

Se trabajó con el diseño estadístico experimental de bloques al azar con tres tratamientos y seis repeticiones, evaluando tres profundidades de enterrado de cinta, separando los tratamientos en 6 bloques para controlar las variaciones por el factor de la pendiente del terreno, y el tamaño de la parcela experimental fue de 0.6 m de ancho de la cama por 10 m de largo.

3.11 Cosecha

La cosecha se hizo de forma manual el día 20 de agosto del 2022, se identificaron las 18 parcelas y se tomaron 10 plantas en cada parcela para evaluar, teniendo en cuenta que esto se realizó cuando la planta ya contaba con un contenido de

humedad bajo, por lo que se pesaron las mazorcas y después se procedió a desgranar para pesar los granos también.

3.12 Tratamientos

Profundidad de cinta de goteo superficial (0 cm), subsuperficial (8 cm) y subterránea (16 cm).

3.13 Distribución de los tratamientos

Profundidades de cinta de riego.

T1: Cinta de riego superficial, tendida sobre la cama de siembra.

T2: Cinta de riego subsuperficial, colocada a 8 cm de profundidad del suelo.

T3: Cinta de riego subterráneo, colocada a 16 cm de profundidad del suelo.

Tabla 4. Distribución de los tratamientos en la parcela experimental

Bloques	Tratamientos		
1	T3	T2	T1
2	T2	T1	T3
3	T1	T2	T3
4	T2	T3	T1
5	T3	T1	T2
6	T1	T2	T3

3.14 Variables Observadas

3.14.1 Altura de planta

La altura de la planta se midió con una cinta métrica, aún con la planta fijada sobre en el suelo, comenzando desde la parte inferior a nivel del suelo, hasta la parte superior de la espiga, anotando los datos en una tabla de 3 x 6 sobre una libreta, los cuales posteriormente fueron insertados en una hoja de cálculo de Excel para alimentar el cuadro de concentración de datos y se exportaron a Infostat para hacer

su análisis de varianza, las medias de los tratamientos se graficaron después para apreciar la tendencia en la variable en respuesta a las profundidades de la cinta de goteo.

3.14.2 Ancho del tallo

Para obtener los datos del ancho del tallo de las plantas se procedió a medir manualmente con ayuda de un calibrador Vernier, se anotaron los datos en una libreta, posteriormente se pasaron a un cuadro de concentración de datos en Excel y se exportaron a Infostat para el análisis de varianza, se graficaron las medias de los tratamientos para observar la tendencia que tenía la variable en relación con las profundidades de cinta aplicadas.

3.14.3 Área foliar

El área foliar de las hojas se obtuvo midiendo con una cinta métrica el largo y el ancho de la hoja, para calcular la superficie se multiplicaron estas dos variables y se multiplicaron por un factor de 0.7 para corregir la forma de la hoja. Una vez que se obtuvo el área foliar de cada planta, se procedió a insertar los datos a una hoja de cálculo de Excel, donde se ordenaron en una tabla de concentración de datos y se exportaron a Infostat para su análisis de varianza, posteriormente se graficaron las medias de los tratamientos para apreciar la tendencia de la variable en respuesta a las profundidades de los tratamientos.

3.14.4 Tamaño de la mazorca

Para la medición del tamaño de la mazorca, previamente se retiraron las hojas de su cubierta y se empezó a medir desde la base hasta la punta, una vez que se apuntaron todos los valores en la libreta, se introdujeron a una hoja de cálculo en

Excel donde se ordenaron en un cuadro de concentración de datos para después pasarlos al análisis de varianza en Infostat. Posteriormente se graficaron las medias de los tratamientos para evaluar la tendencia de la variable a las profundidades de la cinta de goteo.

3.14.5 Diámetro de la mazorca

El ancho de la mazorca se efectuó midiendo con un calibrador Vernier el diámetro ecuatorial, se apuntaron los datos en una tabla sobre una libreta, donde posteriormente se insertaron los valores en un cuadro de concentración de datos en Excel y se exportaron a Infostat para su análisis de varianza, luego se graficaron las medias de los tratamientos para comparar las tendencias de la variable en respuesta a las profundidades de la cinta de goteo.

3.14.6 Peso de la mazorca

El peso se obtuvo con ayuda de una báscula electrónica, colocando la mazorca aún con olote sobre la base de la báscula, se apuntaron los valores obtenidos en una libreta, los cuales se pasaron a una hoja de cálculo de Excel y se exportaron al programa Infostat para su análisis de varianza, posteriormente se graficaron las medias de los tratamientos para observar la tendencia de la variable a las profundidades de la cinta de goteo.

3.14.7 Peso de 100 granos

Para obtener el peso de 100 granos de maíz, se desgranaron totalmente las mazorcas que tomamos de muestra, y se eligieron los granos de un solo tratamiento respetando la aleatoriedad, se recolectaron en una bolsa de plástico y se pesaron, una vez obtenido el valor, se descontó el peso de la bolsa y se apuntaron los datos

en una libreta, los datos obtenidos se insertaron en un cuadro de concentración de datos en Excel y se exportaron a Infostat para su análisis de varianza, después se graficaron las medias de los tratamientos para apreciar la tendencia de la variable a las distintas profundidades de cinta de goteo aplicadas.

3.15 Análisis estadístico

Como se mencionó antes, se aplicó el análisis estadístico (Análisis de varianza y pruebas de medias) con los datos observados en las muestras de las variables evaluadas y se procesaron con el software Infostat.

3.16 Rendimiento de maíz

Para calcular el rendimiento de maíz obtenidos en cada tratamiento, se consideró una densidad de 67,500 plantas/ha con dos mazorcas por planta, además se calculó el número de granos por mazorca multiplicando el número de hileras por el número de granos en cada hilera, y finalmente también se estimó el número de granos por kilo con la ayuda de una báscula.

La fórmula para obtener el rendimiento del maíz fue la siguiente:

Rendimiento estimado en kg/ha = plantas/ha x mazorcas/planta x granos/mazorca x 1/ (número de granos por kilo).

Una vez que se obtuvieron los valores calculados del rendimiento de maíz en cada tratamiento, se graficaron para poder apreciar la tendencia que tuvo la variable en respuesta a los tratamientos.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Posterior a la cosecha y al procesamiento y ordenamiento de la información de las diferentes variables evaluadas, se procedió a realizar el análisis estadístico, donde se obtuvieron gráficas correspondientes a cada una de las variables observadas e inmediatamente después se hizo la discusión de todos los resultados obtenidos.

4.1 Altura de planta

La altura de planta alcanzada en los tratamientos evaluados se presenta en la figura 1, donde el análisis de varianza (tabla 4) realizado para esta variable no detectó diferencias significativas (nivel de significancia $P=0.05$) con un coeficiente de variación de 4.36 %, entre los valores para la cinta superficial, cinta subsuperficial y cinta subterránea en el ciclo Primavera-Verano, alcanzando valores de 2.33, 2.34 y 2.38 m respectivamente, respecto a comparación de medias no fueron significativamente diferentes, colocando como testigo el riego por goteo superficial resultó ser el más bajo en comparación con las demás profundidades, la de 8 cm y la de 16 cm de enterrado. Estos datos fueron similares a Ortiz-Diaz (2022), quien encontró que los mayores valores para altura de la planta de maíz se dieron con profundidades de 15-30 cm, esto debido a que el agua llega directamente a la zona de raíces del cultivo y la pérdida por evaporación es menor. Este efecto se pudo haber creado por factores como el clima, temperatura, hora luz y fertilización, que son de gran importancia en el desarrollo de la planta.

Tabla 5. Análisis de varianza para la variable Altura de la planta

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV		
Altura de la planta	18	0.55	0.23	4.36		
FV	GL	SC	CM	F _c	F _{0.05,10} ²	P-valor
Bloques	5	1186.67	237.33	2.25	3.33	0.1285
Tratamientos	2	84	42	0.4	4.1	0.6814
Error	10	1053.33	105.33			
Total	17	2324				

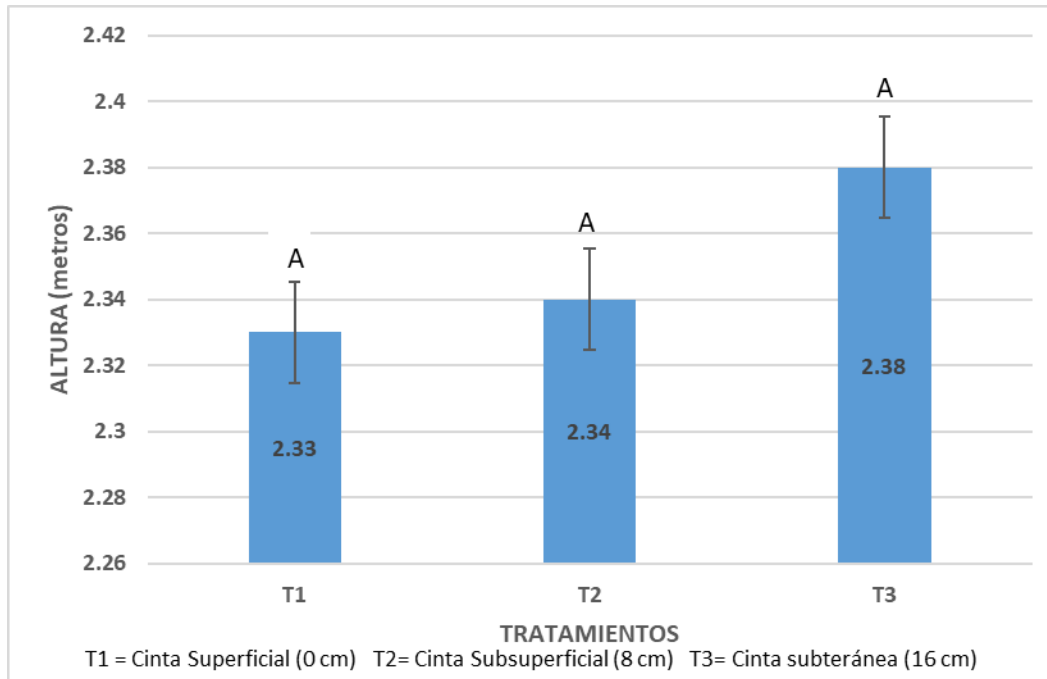


Figura 2. Altura promedio de planta de maíz regada con cinta de goteo enterrada a 0, 8 y 16 cm de profundidad.

4.2 Diámetro del tallo

El ancho o el diámetro del tallo que se obtuvo en los diferentes tratamientos se presenta en la figura 2. El análisis de varianza (tabla 5) que se realizó para esta variable no presenta diferencias significativas (Nivel de significancia $P=0.05$) con un coeficiente de variación de 13.48 %. Comparando los valores de los diferentes tratamientos analizados, el tratamiento 1 (con cinta superficial) presenta mayor diámetro del tallo con un valor de 2.40 cm, mientras que los demás tratamientos

(Subsuperficial y enterrado) mantienen un promedio de diámetro del tallo igual a 2.20 cm. De igual manera, los resultados varían de acuerdo con Montemayor (2006), donde se obtuvieron que los valores a profundidades cercanas a los 25 cm fueron las menores, mientras que profundidades como 35 o 45 cm presentaron un mayor diámetro de la mazorca.

Tabla 6. Análisis de varianza para la variable Diámetro del tallo

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV		
Diam. Del tallo	18	0.27	0	13.48		
FV	GL	SC	CM	F _c	F _{0.05,10} ²	p-valor
Bloques	5	0.19	0.04	0.4	3.33	0.8382
Tratamientos	2	0.16	0.08	0.86	4.1	0.4533
Error	10	0.93	0.09			
Total	17	1.28				

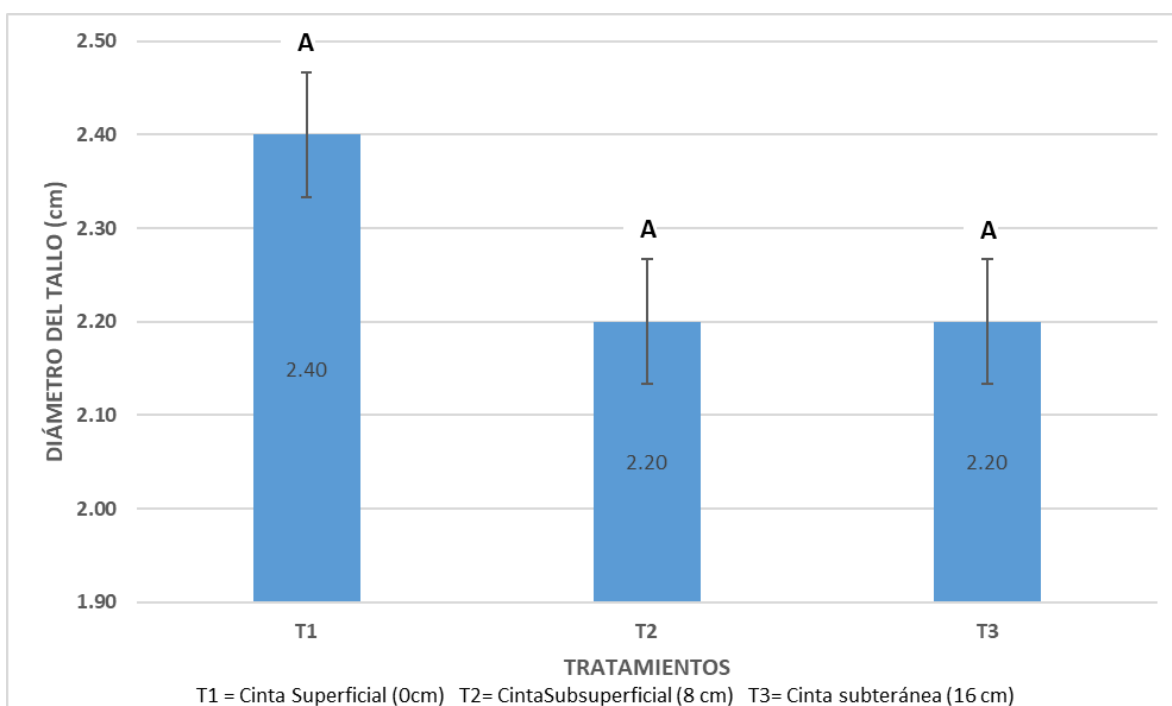


Figura 3. Diámetro del tallo de maíz estimulado por la colocación de la cinta de riego.

4.3 Área foliar

Las medias de los valores obtenidos en el experimento sobre el área foliar de las hojas de las plantas se presentan en la figura 3. De igual manera se presenta el análisis de varianza (tabla 6) respecto a la variable de área foliar, el cual se realizó con un nivel de significancia de $P=0.05$, este mismo no presentó diferencias significativas en ninguno de los tratamientos donde el coeficiente de variación fue de 16.17 %. Comparando los tres tratamientos, nos encontramos con que el riego superficial fue el que presentó mayores valores de área foliar, que se debió principalmente a hojas más largas, teniendo una media de 729.17 cm^2 , seguido del riego subsuperficial con 702.58 cm^2 y por último el riego subterráneo presentó un promedio de 638.92 cm^2 . Estos resultados fueron similares a los obtenidos por Montemayor (2004), donde tampoco se obtuvieron diferencias significativas entre los tratamientos, y donde el mayor índice de área foliar se dio entre una profundidad de 0.8 m.

Tabla 7. Análisis de varianza para la variable de área foliar

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV		
Area foliar	18	0.32	0	16.17		
FV	GL	SC	CM	F_c	$F_{0.05,10}^2$	p-valor
Bloques	5	33906.11	6781.22	0.54	3.33	0.7396
Tratamientos	2	25810.36	12905.18	1.04	4.1	0.3901
Error	10	124584.13	12458.41			
Total	17	184300.611				

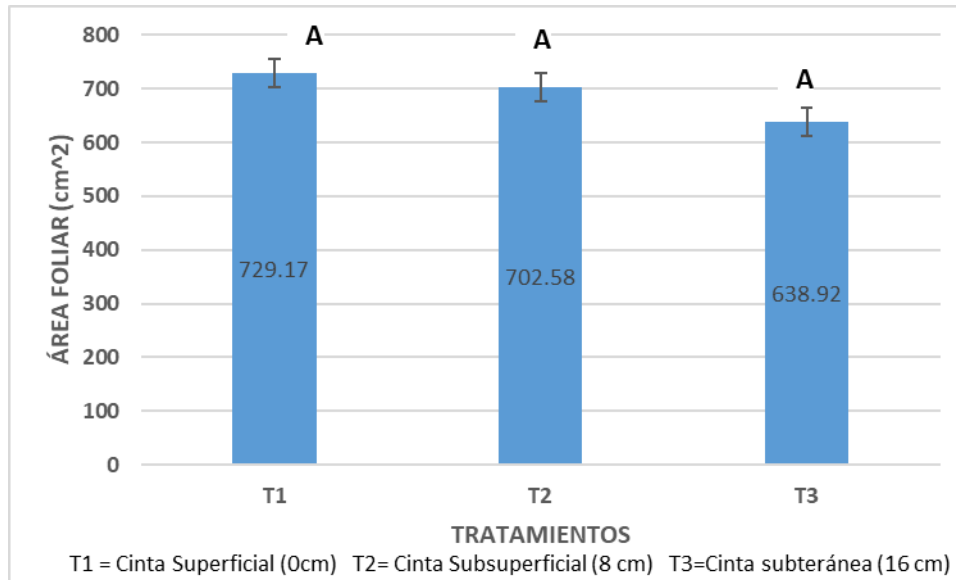


Figura 4. Área foliar de hojas de maíz regada con cinta de riego colocada a diferente profundidad.

4.4 Tamaño de la mazorca

Los resultados obtenidos en esta variable se presentan en la figura 4, que corresponde a los valores promedio de cada uno de los tratamientos para la variable del tamaño de la mazorca. También se presenta el análisis de varianza (tabla 7) que se realizó con un nivel de significancia de $P=0.05$, se tuvo un coeficiente de variación de 6.44 % y no presentó diferencias significativas en los tratamientos.

Al comparar los valores promedios de los tratamientos, se presenta nuevamente que el riego superficial obtuvo mayor longitud de la mazorca con un promedio de 19.05 cm, mientras que el riego subterráneo se lleva el segundo lugar con 18.33 cm y por último el riego subsuperficial que tiene el valor más bajo con 18.27 cm de largo. Los resultados obtenidos comparten similitud con los de Montemayor (2006), donde no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos, sin embargo, difiere en que la profundidad cercana a los 25 cm es la que presentó los

valores más bajos respecto a otras profundidades, en la que la profundidad de 45 cm fue la de mayor valor.

Tabla 8. Análisis de varianza para la variable Tamaño de mazorca

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV		
Tamaño mazorca	18	0.29	0	6.44		
FV	GL	SC	CM	F _c	F ² _{0.05,10}	p-valor
Bloques	5	3.52	0.7	0.49	3.33	0.7751
Tratamientos	2	2.26	1.13	0.79	4.1	0.4793
Error	10	14.28	1.43			
Total	17	20.07				

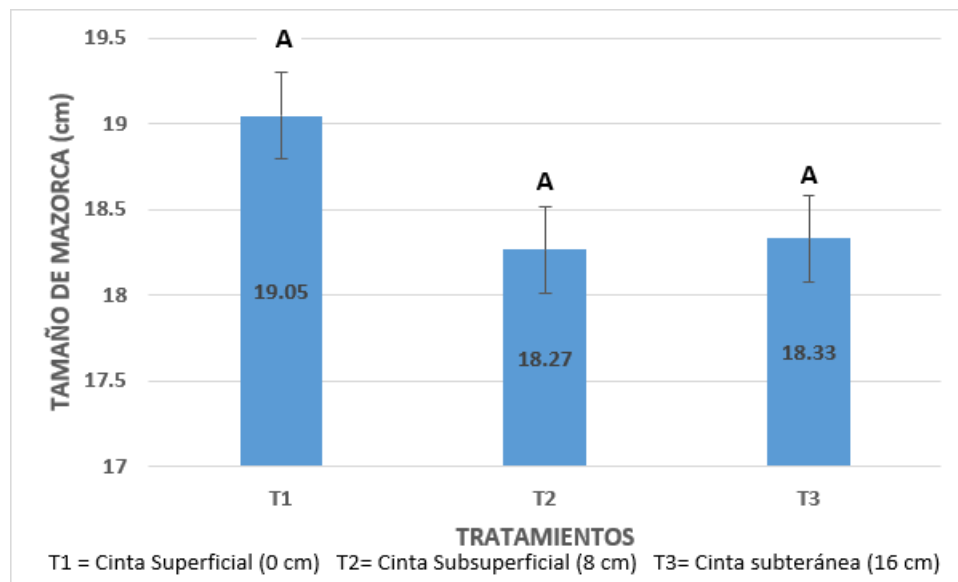


Figura 5. Tamaño de mazorca en relación con la colocación de la cinta de riego (0, 8, 16 cm)

4.5 Diámetro de la mazorca

En los resultados obtenidos en la variable de diámetro de la mazorca no se encontraron diferencias significativas a un nivel de significancia de $P=0.05$ (Tabla 8), el coeficiente de variación fue de 5.32 %. Los valores promedio de cada tratamiento para esta variable se presenta en la figura 5, donde se observa que el riego subsuperficial contiene las mazorcas más anchas con un promedio de 4.42

cm, seguido del riego superficial con un diámetro promedio de 4.20 cm, y finalmente se encuentra el riego subterráneo con un valor de 4.15 cm. Los valores obtenidos son diferentes a los propuestos por Montemayor (2006), quién encontró que el mayor valor del diámetro de la mazorca fue una profundidad de 45 cm, y donde el menor valor fue obtenido fue en una profundidad cercana a los 25 cm, sin embargo, tampoco hubo diferencias significativas entre los tratamientos.

Tabla 9. Análisis de varianza para la variable Ancho de mazorca

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV		
FV	GL	SC	CM	F _c	F _{0.05,10} ²	p-valor
Diam. mazorca	18	0.38	0	5.32		
Bloques	5	0.06	0.01	0.22	3.33	0.9457
Tratamientos	2	0.25	0.13	2.46	4.1	0.1352
Error	10	0.51	0.05			
Total	17	0.82				

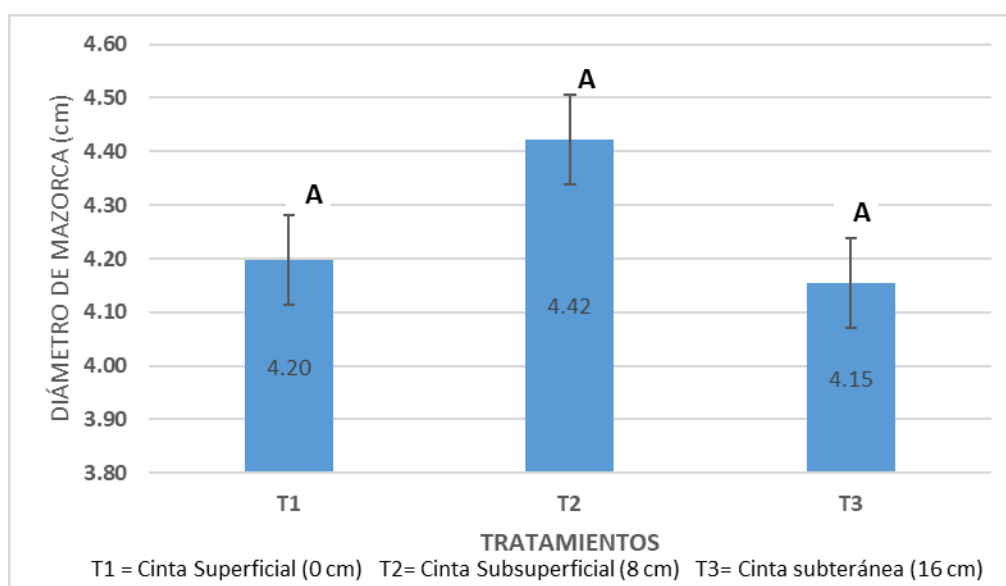


Figura 6. Diámetro de mazorca estimulada por la colocación a diferente profundidad de la cinta de goteo

4.6 Peso de la mazorca

Los resultados que se obtuvieron en esta variable se presentan en el siguiente análisis de varianza (tabla 9), en el cual se trabajó con un coeficiente de variación de 16.36 % y con un nivel de significancia de $P=0.05$, en el cual no se encontraron diferencias estadísticamente significativas.

Las medias de los pesos de las mazorcas en cada tratamiento se presentan a continuación (cuadro 6), donde se puede observar que el tratamiento 1 (riego superficial) es el que presenta los valores más bajos con un promedio de 141.25 g., mientras que el riego subsuperficial se mantiene como segundo lugar con una media de 151.35 gramos, y donde el riego subterráneo fue el que tuvo los mayores resultados en cuanto a peso, con un valor promedio de 156.89 g. Estos resultados fueron similares a Conde-Solano et al. (2021), donde a una profundidad cercana a los 20 cm se obtuvo el mayor rendimiento y eficiencia de uso del agua, aunque de la misma manera no se presentaron diferencias significativas.

Tabla 10. Análisis de varianza de la variable Peso de mazorca

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV		
Peso de mazorca	18	0.28	0	16.36		
FV	GL	SC	CM	F_c	$F_{0.05,10}^2$	p-valor
Bloques	5	1583.47	316.69	0.53	3.33	0.7514
Tratamientos	2	755.19	377.59	0.63	4.1	0.5532
Error	10	6007.85	600.79			
Total	17	8346.51				

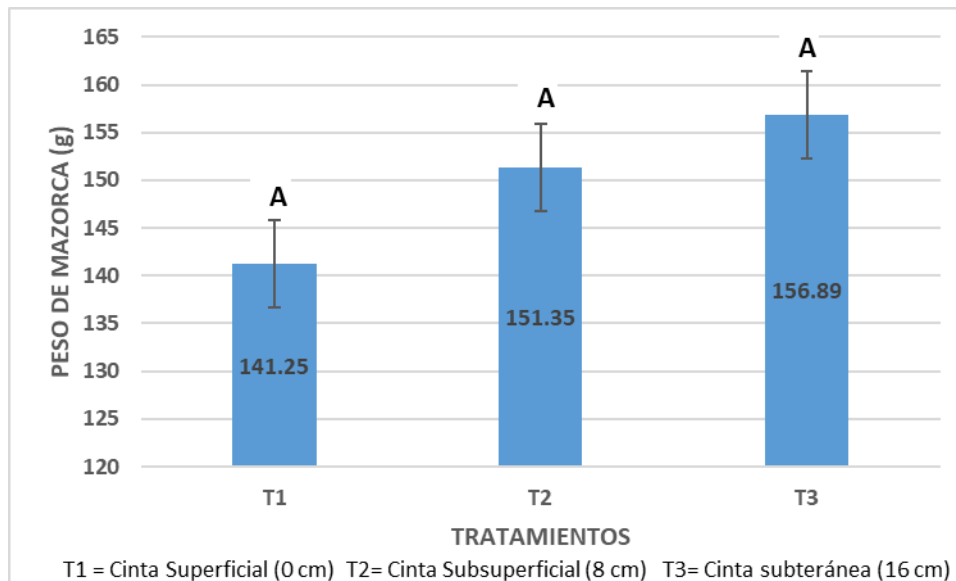


Figura 7. Peso de las mazorcas regadas por cinta de goteo a diferente profundidad.

4.7 Peso de 100 granos

Se presenta el análisis de varianza (cuadro 7) en el que se procesaron los datos obtenidos en el experimento para la variable del peso de 100 granos o semillas. Se consideró un nivel de significancia de $P=0.05$, en el que se obtuvo un coeficiente de variación de 7.99 %. Los valores promedio del peso de 100 granos en cada variable se presentan a continuación (tabla 10), en el que se observan que nuevamente el riego subterráneo (T3) es el de mayor valor con un promedio de 26.28 g, seguido del riego subsuperficial con un valor de 24.77 gramos, y por último, el tratamiento 1 (riego superficial) presentó el menor promedio con un valor de 23.54 g. Comparando los resultados con Conde-Solano et al. (2021), hubo resultados parecidos, donde la mayor producción y rendimiento de maíz fue una profundidad de alrededor de 20 cm.

Tabla 11. Análisis de varianza de la variable Peso de 100 granos

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV		
Peso de 100 granos	18	0.28	0	16.36		
FV	GL	SC	CM	F _c	F _{0.05.10} ²	p-valor
Bloques	5	1583.47	316.69	0.53	3.33	0.7514
Tratamientos	2	755.19	377.59	0.63	4.1	0.5532
Error	10	6007.85	600.79			
Total	17	8346.51				

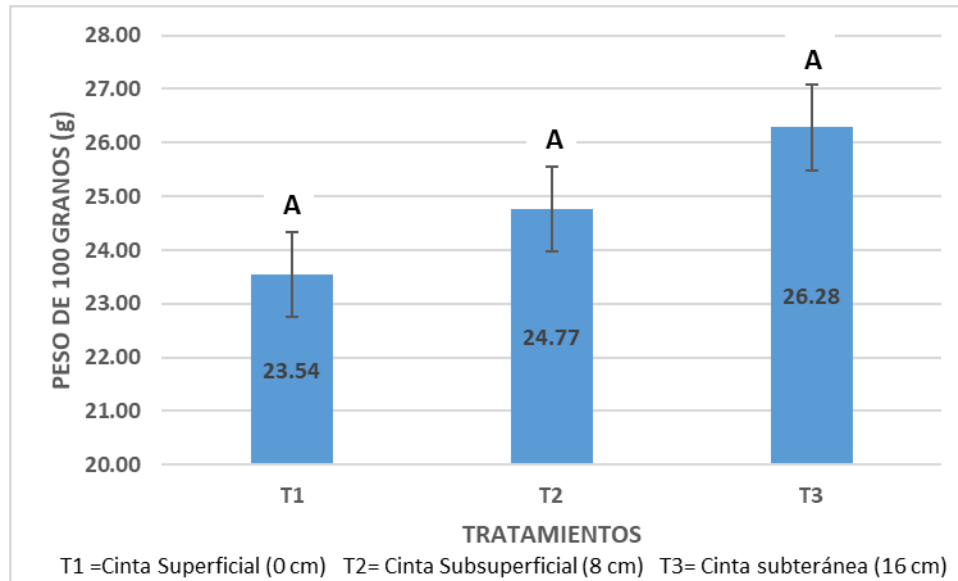


Figura 8. Peso de 100 granos de maíz estimulados por la colocación de la cinta de goteo a diferente profundidad.

4.8. Rendimiento de maíz.

Los valores promedio del rendimiento de maíz fueron de 11.12, 12.17 y 13.9 ton/ ha para los tratamientos de cinta superficial (0 cm), cinta subsuperficial (8 cm) y cinta subterránea (16 cm) respectivamente. Se observa una tendencia a rendimientos más altos respecto a mayores profundidades, coincidiendo con las evaluaciones hechas por Lamm (2003), quien obtuvo mayor producción de maíz en riego por goteo enterrado.

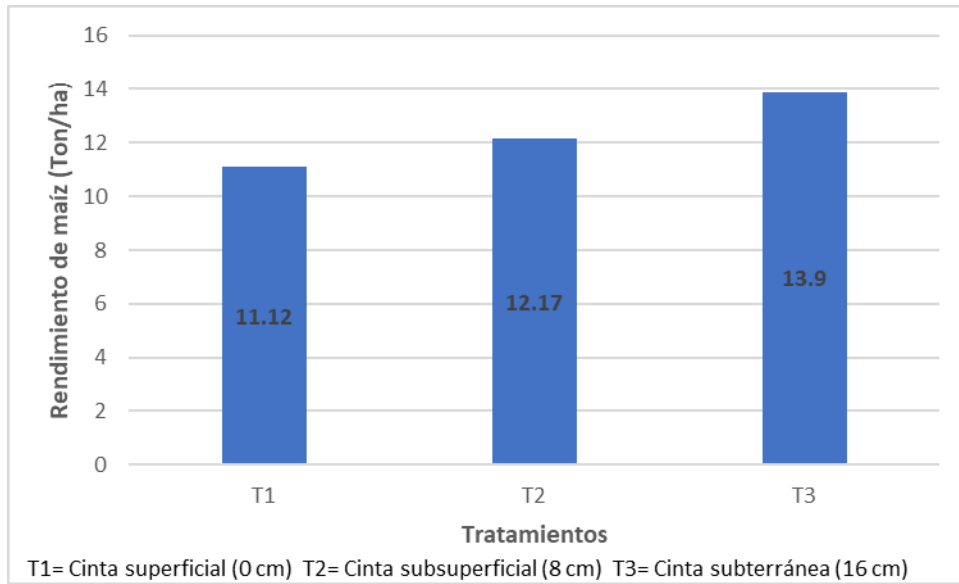


Figura 9. Rendimiento de maíz (Ton/ha) obtenidos en diferentes profundidades de enterrado de cinta de goteo

V. CONCLUSIONES

En base a los resultados obtenidos y acorde a los objetivos generales y específicos planteados al inicio del estudio, se logró reunir información relevante acerca del maíz híbrido AN-447 bajo tres tratamientos de profundidad de cinta de riego y una misma densidad, desafortunadamente en este caso no tuvimos ninguna variable con diferencias estadísticamente significativas en sus tratamientos, pero si hubo diferencias en cuanto a los promedios de cada variable.

Se concluye que el testigo de riego superficial se presentó en primer lugar en las variables de ancho de tallo, ancho foliar y tamaño de mazorca, en segundo lugar, en la variable del diámetro de mazorca, y último lugar en altura de la planta, peso de la mazorca y peso de 100 granos. El tratamiento de riego subsuperficial (8 cm) se presentó en primer lugar en la variable de diámetro de la mazorca, en segundo lugar, en altura de la planta, ancho de tallo, área foliar, peso de mazorca y peso de 100 granos, y en último lugar con la variable de altura de mazorca. Mientras que el riego subterráneo (16 cm) se encontró en primer lugar en las variables de altura de la planta, peso de mazorca y peso de 100 granos, en segundo lugar, el tamaño de mazorca, y en último lugar en las variables de ancho del tallo, área foliar y diámetro de la mazorca.

En cuestión de rendimiento de toneladas por hectáreas, el tratamiento 3 que fue el riego subterráneo a 16 cm de profundidad del suelo, se posicionó en primer lugar obteniendo el mayor rendimiento de maíz con un valor de 13.9 ton/ha, y aunque estadísticamente se rechazó la hipótesis, se alcanza a notar mayor rendimiento que los demás tratamientos, por lo que se sugiere cambiar a mayores profundidades de

enterrado de cinta con diferentes dosis de nutrición para comprobar los resultados obtenidos en este proyecto, por otra parte, también es recomendable la instalación de dispositivos como medidores de flujo y manómetros, que ayuden a tener un mejor control del volumen de agua aplicado en el suelo.

VI. LITERATURA CITADA

Antúñez, A., Mora, D. & Felmer, S. (2010). Eficiencias en sistemas de riego por goteo en el decano. INIA Tierra adentro. Edición enero-febrero, 40-41.

Arango, J. (1998). Métodos de riego. Universidad Nacional de Colombia, 36.

Berger, J. (1967). El maíz, su producción y abonamiento. Agricultura de las Américas. Kansas City, Mo, 30-36.

Blair, E. (1979). Riego por Goteo. Seminario Latinoamericano sobre Riego por Goteo. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, 2-4.

Bronick, C. J. & Lal R. (2005). Soil structure and management: a review. *Geoderma* 124, 3-22.

Cisneros, R. (2003). Apuntes de la materia de riego y drenaje. Centro de Investigación y estudios de posgrado y área agrogeodésica. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, 41-43.

Conde, J., Sánchez, A., Colmenares, G., Ramiro, E. & Ortega, J. (2021). Impacto del riego por goteo subsuperficial en la eficiencia de uso del agua en maíz (*Zea Mays L.*). *Revista Científica Agroecosistemas*, 9(1), 50-58.

Conti, M. (2000). Principios de edafología con énfasis en suelos argentinos. Editorial Facultad de Agronomía, Segunda edición 135-160.

Demin, P. (2014). Aportes para el mejoramiento del manejo de los sistemas de riego: métodos de riego; fundamentos, usos y adaptaciones. Ediciones INTA. 1ª. Ed, 19.

Díaz Del Pino, A. (1954). El maíz, cultivo, fertilización, cosecha. El semillero. S.A., 22-27.

Enciso, J. & Porter, D. (2005). Basics of micro irrigation. Texas Cooperative Extension, the Texas A&M University System, 6-13.

Fenech, G. (2008). Sistemas de riego subterráneo. Agricultura Revista Agropecuaria, 260-262.

Fernández R. (2010). Manual de riego para agricultores: módulo 1. Fundamentos del riego: manual y ejercicios. Sevilla: Consejería de Agricultura y Pesca, 58.

Ferreyra, R., Sellés, G. & Pimstein, A. (2000). Diseño, manejo y mantención de equipos de riego localizado de alta frecuencia. Centro Regional de Investigación La Platina, 17-18.

Fulton, A. (2017). Irrigation Distribution Uniformity-Why and how? University of Carolina. Agriculture and Natural Resources,1-2

Gallego-Robles, M., García-Hernández, J., Luna-Ortega J., Dimas, J., Orón-Castillo, I., Salazar-Sosa, E. & González-Torres, A. (2015). Obtención de híbridos de maíz para grano en la comarca lagunera y Aguascalientes, México. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios. 2(6): 245-254.

Genova, L., Andreau, R., Etchecheverry, M., Etchevers, P., Chale, W., Calvo, L.&Ramos, F. (2017). Unidad 2. Hidrología aplicada al estudio y manejo de cuencas y sistemas de riego y drenaje: Aplicación de metodologías para la medición y estimación del escurrimiento y la infiltración, 3.

Gil, P., Selles, G. y Ferreyra, R. Componentes de un equipo de riego localizado.

Consultado en: [\(PDF\) Capítulo 3 COMPONENTES PRINCIPALES DE UN EQUIPO DE RIEGO LOCALIZADO | Adolfo Gimenes Pari - Academia.edu](#)

Gould, F. & Shaw, R. (1983). Grass Systematics. 2nd. ed. College Station, Texas A & M Univ. Press., 397.

Howell, T. (2003). Irrigation Efficiency. United States Department of Agriculture, 467-470.

Junta de Castilla y León. (2012). El cultivo del Maíz. Conserjería de Agricultura y Ganadería. Servicios de Estadística, Estudios y Planificación Agraria.

Lamas, M. & Moreno, G. (2000). Principios de Edafología Con énfasis en suelos argentinos: Densidad de suelos. Universidad de Buenos Aires. Editorial Facultad de Agronomía, 161.

Lamm, F. (2003). Subsurface drip irrigation for corn production. A review of 10 years of research in Kansas. Irrigation science 22(3):195-200.

Lowry, H. & J. Eslava. (1985). Las precipitaciones ocurridas en Colombia durante 1971. *Atmósfera* 3: 1-28.

Martin, E. (2017). Methods for Measuring Moisture Soil for Irrigation Scheduling. When. The University of Arizona Cooperative Extension, 1.

Martínez, L. (1998). Manual de fertirrigación. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. 1er ed, 1-3, 20.

Martínez, L. F. (2001). Manual de operación y mantención de equipos de riego presurizado. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, 7-18.

Martínez, R. (2020). Sistema para la caracterización del bulbo húmedo en riego localizado. Universidad Politécnica de Madrid. Pág. 2-3. Recuperado de: https://oa.upm.es/65146/1/TFG_RAMON_MARTINEZ_PASCUAL_DE_LALLANA.pdf

Montemayor J., Gómez O., Olague J., Zermeño, A., Ruiz, E., Fortis, M., Salazar E., y Aldaco R. (2006). Efecto de tres profundidades de cinta de riego por goteo en la eficiencia de uso de agua y en el rendimiento de maíz forrajero. Tec Pecu Mex 44(3): 359-364.

Montemayor-Trejo J., Olague-Ramírez J., Fortis-Hernández M., Sam-Bravo R., Leos-Rodríguez J., Salazar-Sosa E., Castruita-López J., Rodríguez-Ríos J. y Chavaría-Galicia J. (2004). Consumo de agua en maíz forrajero con riego subsuperficial. Terra Latinoamericana 25: 163-168.

NABARD. (2019). Agriculture Chapter Irrigation Management Summary Sheet.

EduTap, 10. Disponible en: https://www.rvskvv.net/images/Irrigation-Management_16.04.2020.pdf

Netafim. (2019) Filtration module, section 1: principles and design. Consultado en: [Microsoft Word - Filtration Principles Design .doc \(irrigationexpress.co.nz\)](#)

NETAFIM-USA (2019). Manual for corn production using sub-surface drip irrigation. 5470 E. Home Ave. Fresno, CA 93727. CS 888 638 2346. 12 p.

Olague, J., Montemayor, J.A., Bravo, S.R., Fortis, M., Aldaco, R.A. & Ruiz, E. (2006). Características agronómicas y calidad del maíz forrajero con riego subsuperficial. Tec. Pecu. Mex. 44(3) 351-357.

Ortiz-Díaz, S., Reyes-González, A., Hernández, M., Santana, O., Zermeño, H. & Preciado-Rangel, P. (2022). Profundidad de la cinta de riego y estiércol solarizado en la producción y calidad de maíz forrajero. Rev.Mex.Cienc.Agric.Num.28. 275-283.

Palma, M. (2000). Principios de Edafología Con énfasis en suelos argentinos: Estructura. Universidad de Buenos Aires. Editorial Facultad de Agronomía. Pág. 136-136.

Panget, E. (2017). Drip irrigation of maize (corn) in France and Italy. Irrigazette.com/en/drip-irrigation-maize-corn.

Petkovsky, M. (2020) The advantages of subsurface drip irrigation in corn, Search agfuse.

Pizarro, F. (1996). Riegos localizados de alta frecuencia. RLAf. Goteo, microaspersión y exudación. Tercera Edición. Mundiprensa. Madrid. España.

Prakor. (2019). Componentes de un sistema de riego localizado (parte II). Disponible en: [Componentes de un sistema de riego localizado \(Parte II\) - Prakor.com](#)

Reyes, S., García, P. (1980). El cultivo del maíz en México. Centro de Investigaciones Agrarias, 29-33.

Robles, R. (1976). Producción de granos y forrajes. Editorial Limusa, S.A.,28-35.

Rodríguez, A.M., Ávila R., Yruela M.C., Plaza R., Navas A & Fernández R. 2004. Manual de Riego de Jardines. Consejería de Agricultura y Pesca.Pag.141

Rogers, D. H., Lamm, F. R. & Aguilar J. 2018. Subsurface Irrigation (SDI). Components: Minimum Requirements. Kansas State University Agricultural Experiment Station and Cooperative Extension Service. Pág. 1-4.

Rojas L. 2002. Principios y Técnicas del Riego. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Segunda edición. Pág. 71-72.

Rucks, L., García, F., Kaplán, A., Ponce de León, J., Hill, M. (2004). Propiedades Físicas del Suelo. Universidad de la República, Facultad de Agronomía.

Sánchez, I. (2014). Maíz I (Zea mays). Reduca (Biología). Serie botánica 7(2), 152.

Santavana, S., Domínguez, G., Guerrero, J., Eguzquiza, R., Toscano, A. & Paredes, H. (2004). Manejo y conservación del suelo: Fundamentos y prácticas. PRONAMACHCS. Lima-Perú. Primera Edición, 431-440.

Shock, C., Welch, T. (2013). El riego por goteo: Una introducción. Técnicas para la agricultura sostenible, 1.

Solis, A. (2017). Relación-Agua-Suelo-Planta-Atmósfera. Universidad Autónoma del Estado de México, 15.

Taghvaeian, S. (2015). Drip Irrigation Systems. Division of Agricultural Sciences and Natural Resources. Oklahoma Cooperative Extension Service, 1-3.

Van der Guilk, T. (1999). B.C. Manual de riego localizado por goteo y microaspersión. Irrigation Industry Association of British Columbia.

Villafañe, R. (1998). Diseño agronómico del riego. Universidad central de Venezuela, 51-106.

Villarraga, J., Díaz, K., Martínez, G., Determinación de la conductividad hidráulica en muestras de arena con diferentes contenidos de óxido de hierro usando un permeámetro Ksat de última generación. Universidad piloto de Colombia, 2.

Yagüe, J.L. (1996). Técnicas de riego. 2ª ed. Mundiprensa, Madrid, 28.

Zotarelli, L., Dukes, Y., & Morgan, T. (2013). Interpretación del contenido de la humedad del suelo para determinar capacidad de campo y evitar riego excesivo en suelos arenosos utilizando sensores de humedad. The Institute of Food and Agricultural Sciences (IFAS), 2-5.