

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISION DE INGENIERIA

DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE



Fertirrigación en el cultivo de Maíz Aplicada Por Un Aspersor Viajero Remolcado
Manualmente

Por:

Saul Neftali Cervantes Zuñiga

TESIS

Presentada como requisito parcial

Para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

Saltillo, Coahuila, México.

Diciembre 2017

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISION DE INGENIERIA

DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE

Fertirrigación De Maíz Aplicada Por Un Aspensor Viajero Remolcado Manualmente

Por:

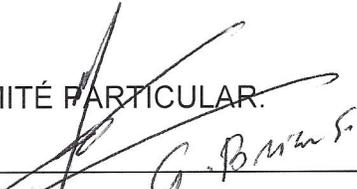
SAUL NEFTALI CERVANTES ZUÑIGA

TESIS

Que somete a consideración del comité particular de asesoría y aprobada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

COMITÉ PARTICULAR.


MC. Gregorio Briones Sánchez

Asesor Principal


M.C. Tomas Reyna Cepeda

Coasesor

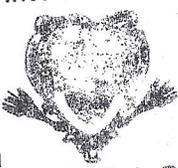

M.C. Carlos Rojas Peña

Coasesor

Universidad Autonoma Agrar.
"Antonio Narro"


DR. Luis Samaniego Moreno

Coordinador de la División de Ingeniería


Coordinación de la División
de Ingeniería

Saltillo, Coahuila, México.

Diciembre Del 2017

AGRADECIMIENTOS

Agradezco primeramente **a Dios** que sin su bendición no llegaría hasta donde he llegado, y por estar siempre cuidándome y dándome salud para poder hacer las cosas y seguir con mis estudios.

A mis padres

Que siempre estuvieron apoyándome de todas las maneras posibles, por ser una gran motivación para salir adelante y siempre estuvieron ahí conmigo en momentos difíciles que pase, porque el esfuerzo que hicieron para que yo pudiera terminar mi carrera.

A mi esposa e hija

Por ser una motivación muy grande y que por ellas son mis ganas de salir adelante, a mí esposa porque me motivo en momentos difíciles y por ser tan linda conmigo, a mi hija porque ella nos dio una felicidad inmensa con su llegada.

A mis hermanas y hermano

Porque fueron parte fundamental para lograr mis metas por siempre estar bien conmigo y apoyarnos, y quiero que sigamos siempre unidos.

A mi Alma Terra Mater, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, gracias a la oportunidad que me dieron de pertenecer a esta gran institución que siempre llevare en mi corazón y con orgullo diré que he pertenecido a una de las mejores universidades del país.

A mis profesores

Porque me transmitieron mucho de su conocimiento, me ayudaron a mejorar académicamente y ser un mejor profesionista.

A mis asesores:

M.C. Gregorio Briones Sánchez, por haberme permitido ser su tutorado en la tesis y por haberme guiado a lo largo de ella, y transmitirme sus conocimientos, por su paciencia y por darme la oportunidad de hacer este proyecto tan importante.

M.C. Carlos Rojas Peña, por su atención, por haber compartido algunas ideas, y haberme dado asesorías sobre este proyecto.

M.C. Tomas Reyna Cepeda, por haber compartido conocimientos sobre este proyecto y su atención.

A mis compañeros, Benjamín, Yarian, Cuevas, Alan, Mazariegos, Lalo, Juárez, por haber compartido locuras y desveladas estudiando.

DEDICATORIAS

Primeramente **a Dios** porque gracias a su voluntad es que puedo seguir cumpliendo mis metas y sueños, y darme protección en todos los ámbitos de mi vida, que me ha dado una gran oportunidad de poder compartir con este logro más a pesar de las adversidades que se me han presentado en la vida.

A mis padres:

Ascensión Cervantes Cabada

Victoria Zúñiga Valle

Por su apoyo, por nunca dejarme solo ante las adversidades, a mi padre por el gran consejo de darme para que me animara a estudiar en esta gran universidad, y a mi madre por su amor y comprensión, por los sacrificios que han hecho a lo largo de mi vida porque yo esté bien, siempre estaré muy agradecido por todo lo que me han dado.

A mi hija:

Zoemy Cervantes Molina

Porque para ha sido el más grande hermoso regalo que he tenido y fue una motivación más para poder cumplir con mis sueños, porque gracias a ella puedo sentir como realmente es el amor de un padre a sus hijos.

A mi esposa:

Brenda Janine Molina Ibáñez

Por estar conmigo en las buenas y malas por ayudarme y motivarme para que pudiera realizar este proyecto, y me apoyo de diversas maneras a lo largo de toda nuestra relación, por ser tan buena persona y ser siempre comprensiva, y haber permitido darme la dicha de ser padre y tener una hija tan hermosa.

A mis hermanos:

María Magdalena Cervantes Zúñiga

Luis Donald Cervantes Zúñiga

Erika Yahanara Yasmin Núñez Zúñiga

Por su apoyo moral mostrado en estos cuatro años y medio, por la unión que existen entre nosotros, por las cosas vividas y quiero que a pesar de los años nos sigamos manteniendo unidos ante cualquier adversidad.

INDICE

AGRADECIMIENTOS.....	I
DEDICATORIAS.....	III
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VII
ÍNDICE DE CUADROS.....	IX
RESUMEN.....	X
ABSTRACT.....	XII
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 OBJETIVOS.....	2
1.2 HIPOTESIS.....	2
II. REVISION DE LITERATURA.....	3
2.1 Origen.....	3
2.2 Clasificación taxonómica.....	3
2.3 Morfología.....	4
2.4. Requerimientos de clima y suelo.....	5
2.5 Siembra y preparación del suelo.....	6
2.6 Manejo de plagas.....	6
2.7 Rendimiento.....	6
2.8 Requerimientos nutricionales del maíz.....	7
2.9 Principales nutrientes para las plantas.....	8
2.10 Fertirrigación.....	11
2.11 Sistemas de riego aptos en los que se aplica la fertirrigación.....	16
2.12 Equipos para fertirrigación.....	18
2.13 Dosificación de fertilizantes en la fertirrigación.....	21
III. MATERIALES Y METODOS.....	22
3.1 lugar y fecha de establecimiento.....	22
3.2 Materiales y equipos utilizados:.....	22
3.3 Siembra de la semilla.....	23
3.4 Riego.....	23
3.5 Control de maleza.....	23
3.6 Abono en la parcela.....	23
3.7 Fertilización.....	24
3.8 Resultados de la aplicación de pH y Conductividad Eléctrica (CE).....	26

3.9 Aplicaciones de fertirriego	26
3.10 Calibración de riego y bomba dosificadora	27
3.11 Metodología de aplicación de la fertirrigación	27
3.12 Parámetros evaluados	30
3.13 Diseño experimental	32
IV. RESULTADOS	33
4.1 Altura de la planta	33
4.2 Diámetro del tallo de la planta	35
4.3 Número de hojas en plantas	38
4.4 Área foliar de la planta	40
4.5 Peso del elote cosechado en las plantas	42
4.6 Peso seco de la planta	44
V. DISCUSION	45
VI. CONCLUSIONES	46
VII. BIBLIOGRÁFICAS	47
VIII. ANEXOS	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Requerimientos nutricionales de Maíz.....	7
2	Eficiencia de fertilizantes con fertirrigación.....	11
3	Solubilidad aproximada g. de producto por cada 100 g. de agua a diferentes temperaturas.....	13
4	Carta de compatibilidad entre fertilizantes.....	14
5	Solubilidad, pH y otras características de ciertos fertilizantes.....	24
6	Maíz regado por micro goteo.....	16
7	Esquema de montaje venturi.	19
8	Instalación de filtros y tanques para fertilizantes.....	20
9	Instalación para inyección de fertilizante con bomba eléctrica.....	21
10	Fertilizantes utilizados.....	24
11	Bomba dosificadora de fertilizante.....	28
12	Calibración de la bomba de pistón.....	28
13	Recorrido del aspersor viajero y punto para el movimiento manual del mismo.....	29
14	Medición de planta de la base del tallo a la Altura del ápice de la planta.....	29
15	Evaluación del largo de la hoja, a una tercera parte del ápice hacia abajo.....	29
16	Evaluación del ancho de la hoja a una tercera parte de la unión con el tallo.....	30
17	Registro de lectura del diámetro de la planta a 5 cm de la base del tallo.....	30

18	Crecimiento de altura de la planta analizada bajo la biometría de tres fechas.....	33
19	Efecto de la dosis (gr. de fertilizante por m ²) en la altura de planta	35
20	Diámetro del tallo en tres fechas establecidas respondiendo al fertirriego.....	36
21	Efecto de la dosis (gr. de fertilizante por m ²) en el diámetro del tallo.....	37
22	Número de hojas en tres fechas establecidas respondiendo a la dosis aplicada.....	38
23	Efecto de la dosis (gr. de fertilizante por m ²) en el número de hojas.....	40
24	Área foliar en tres fechas establecidas.....	40
25	Efecto de la dosis (gr. de fertilizante por m ²) en el área foliar.....	42
26	Efecto de la dosis (gr. de fertilizante por m ²) en el peso de elote...	43
27	Efecto de la dosis (gr. de fertilizante por m ²) en el peso seco de la planta.....	44

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Fertilizantes utilizados.....	24
2	Aplicaciones del primer fertirriego.....	25
3	Aplicación del fertilizante en 3 fertirriegos.....	25
4	Conductividad y pH.....	26
5	Fechas de aplicación.....	26
6	Intervalo de medición.....	31
7	Resultados de análisis de varianza de alturas de la planta.....	34
8	Resultados de análisis de varianza de diámetro del tallo de las plantas observadas.....	37
9	Análisis de varianza para número de hojas en plantas de maíz....	39
10	Resultados del Análisis de varianza.....	41
11	Resultados del Análisis de varianza.....	44

FERTIRRIGACION EN MAIZ APLICADA POR UN ASPERSOR VIAJERO REMOLCADO MANUALMENTE

Por: Saul Neftali Cervantes Zuñiga

RESUMEN

Se realizó un experimento en el jardín hidráulico de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Campus Saltillo, con el objetivo: 1). Aplicar varias dosis de fertilizante a través de un aspersor viajero, 2). Determinar los parámetros de rendimiento en el cultivo en diferentes fechas, 3). Evaluar la respuesta de las plantas de maíz fertirrigadas con un aspersor viajero sin traslape.

El experimento se desarrolló en los meses de junio a noviembre, se aplicaron 4 fertirriegos a lo largo del ciclo a una concentración de 0.41 gr/l, y se realizaron 3 observaciones de crecimiento en variables tomando los lados del patrón como factor A y la dosis que caía en los colectores como factor B y los bloques como fechas estrictamente seleccionadas. El modelo estadístico fue un diseño de bloques al azar con parcelas divididas.

La metodología para la aplicación de fertirrigación consistió en aplicación de 1.5 kg de fertilizante concentrado en 60 litros junto con 60 ml de jugo de limón, inyectado con una bomba de pistón calibrándola a 1 lpm y aplicado al sistema con una bomba centrífuga de 1 lps, con ayuda de un cronómetro se llevó el tiempo de aspersión, la velocidad del recorrido era manipulado manualmente, de tal manera que fuera de .5 m/minuto, posteriormente se medía la cantidad de mililitros colectados y se llevaban al laboratorio del departamento de riego y drenaje para determinar la medición del pH y conductividad eléctrica.

Las variables evaluadas fueron, área foliar, altura de planta, peso del rastrojo, número de hojas, diámetro de tallo y peso del fruto a final del ciclo. Se encontró que en los colectores ubicados cerca del recorrido del aspersor viajero captaban más cantidad de lámina y por ende más dosis de fertilizante y las plantas respondían de una mejor manera donde la captación fue mayor.

La elongación de los tallos y las hojas en las plantas fertirrigadas con el aspersor viajero fueron diferentes por efecto de las dosis aplicadas, las plantas que se encontraban cercanas al recorrido del aspersor viajero, tuvieron mayor crecimiento y desarrollaron más altura que las plantas más distantes, el peso del elote y el peso del rastrojo también mostraron diferencia significativa, sin embargo las diferencias en el grosor del tallo, área foliar y número de hojas no fueron significativas. Algunas de las plantas que se encontraban más alejadas al patrón de mojado mostraron un poco de deficiencias, se notaban más amarillentas, además este método de riego no es altamente eficiente para la aplicación de fertirriego ya que los factores como la velocidad del viento, la presión de operación y el desplazamiento sobre la ruta afectaron la lámina colectada y la cantidad de fertilizante.

En este estudio se comprobó que al fertirrigar con un aspersor viajero sin traslape entre rutas se tienen diferentes dosis de fertilizante bajo el patrón de aspersion, las cuales fueron aprovechadas para evaluar las respuesta del maíz a la aplicación foliar de dos fertilizantes NPK a una concentración de 0.41 gr/L.

En general las respuestas de crecimiento de las plantas debido a la dosis aplicada por el aspersor dependen mucho de la cantidad de agua que se aplique al fertirrigar.

La altura de las plantas fue de: 204, 183, 78, 164 y 162 cm; el peso del elote fue de: 402, 332, 306, 288 y 274 gr/elote y el peso del rastrojo fue de: 4, 3, 2.6, 2.3 y 2.15 kg/2.4 m de surco en respuesta a la dosis de: 10.88, 9.67, 7.66, 4.75 y 3.65 gr fertilizante/m² respectivamente.

Palabras clave. Variables, Fertirrigación, Dosis.

Clave del proyecto: 38111-425401001-598

MAIZE FERTILIZATION APPLIED BY A MANUALLY TRAVELED TRAVELING SPRINKLER

By: Saul Neftali Cervantes Zuñiga

ABSTRACT

An experiment was conducted in the hydraulic garden of the Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Campus Saltillo, with the objective: 1). Apply several doses of fertilizer through a traveling sprinkler, 2). Determine the performance parameters in the crop on different dates, 3). Evaluate the response of fertirrigated maize plants with a non-overlapping traveler sprinkler.

The experiment was developed in the months of June to November, 4 fertigation treatments were applied throughout the cycle at a concentration of 0.41 gr / l, and 3 growth observations were made in variables taking the sides of the pattern as factor A and the dose that fell in the collectors as factor B and the blocks as strictly selected dates. The statistical model was a randomized block design with divided plots.

The methodology for the application of fertirrigación consisted of application of 1.5 kg of concentrated fertilizer in 60 liters along with 60 ml of lemon juice, injected with a piston pump calibrating it to 1 lpm and applied to the system with a centrifugal pump of 1 lps, With the help of a timer the spray time was taken, the speed of the route was manipulated manually, so that outside of .5 m / minute, the amount of milliliters collected was then measured and taken to the laboratory of the irrigation department and drain to determine the pH measurement and electrical conductivity.

The variables evaluated were: leaf area, plant height, stubble weight, number of leaves, stem diameter and fruit weight at the end of the cycle. It was found that in the collectors located near the route of the traveler sprinkler captured more amount of sheet and therefore more doses of fertilizer and the plants responded in a better way where the uptake was greater.

The elongation of the stems and leaves in the plants fertirrigated with the traveling sprinkler were different due to the effect of the applied doses, the plants that were close to the travel of the traveling sprinkler had greater growth and developed more height

than the more distant plants, the corn weight and stubble weight also showed significant difference, however differences in stem thickness, leaf area and number of leaves were not significant. Some of the plants that were farthest from the wetting pattern showed a bit of deficiencies, they were more yellowish, and this method of irrigation is not highly efficient for the application of fertigation because factors such as wind speed, pressure of operation and displacement on the route affected the collected sheet and the amount of fertilizer.

In this study it was found that when fertirrigar with a traveling sprinkler without overlapping between routes have different doses of fertilizer under the spray pattern, which were used to evaluate the response of corn to the foliar application of two NPK fertilizers at a concentration of 0.41 gr / L.

In general, the growth responses of plants due to the dose applied by the sprinkler depend a lot on the amount of water applied when fertigrating.

The height of the plants was: 204, 183, 78, 164 and 162; the weight of the corn was: 402, 332, 306, 288 and 274 gr / corn and the stubble weight was: 4, 3, 2.6, 2.3 and 2.15 kg / 2.4 m of furrow in response to the dose of: 10.88 , 9.67, 7.66, 4.75 and 3.65 gr fertilizer / m² respectively.

Keywords. Variables, Fertigation, Dosage.

I. INTRODUCCIÓN

Uno de los granos alimenticios más antiguos que se conocen es el maíz (zea mays). Es perteneciente a la familia de las poaceas (gramíneas), la planta del maíz cultivado es completamente domesticada, el maíz no crece salvajemente y sobreviviría en la naturaleza, siendo dependiente de cuidados del hombre (Paliwal, s.f.). El maíz (Zea mays L.) es un grano que en su mayoría es para consumo animal en el mundo.

En México el maíz es el principal cultivo con mayor área cultivada anualmente, 7 a 8.5 millones de has sembrada anualmente, de 7 a 8.5 millones de has cultivadas mayormente de temporal (85%), y el 15 % con riego artificial (Muñoz y Hernández, 2004).

El maíz hoy en día es el segundo cultivo en producción en todo el mundo, después del trigo, y en tercer lugar se encuentra el arroz. Es el primer cereal en rendimiento de grano por hectárea. (Paliwal, s.f.).

Los cañones pueden regar bandas de más de 100 metros de anchura y hasta 500 metros de largo. Estos sistemas son implementados específicamente para climas y cultivos en donde la lluvia permite espaciar los riegos, o bien donde se necesitan riegos de apoyo. El regar con cañones ofrece ventajas de que se requiere una inversión inicial baja con relación a la superficie regada, sin embargo necesita una elevada presión de trabajo (normalmente entre 4 y 10 kg/cm²). Además, el impacto de grandes gotas sobre el cultivo y suelo puede ser perjudicial para el cultivo, sobre todo cuando este se encuentra en germinación, fase inicial de desarrollo o floración (Santiago, 2016).

La fertirrigación es una técnica que ayuda a maximizar los rendimientos y a la vez reducir la polución ambiental (Hagin et al., 2002). Las bombas de inyección por presión positiva según Kafkafi y Tarchitzky (2012) aumentan la presión y se lleva una relación entre el volumen de solución madre de fertilizante y el volumen de agua en sí, logrando una distribución proporcional de nutrientes en el riego.

1.1 OBJETIVOS

- ✓ Aplicar varias dosis de fertilizante a través de un aspersor viajero.
- ✓ Determinar los parámetros de rendimiento en el cultivo en diferentes fechas.
- ✓ Evaluar la respuesta de los parámetros de crecimiento en plantas de maíz fertirrigadas con un aspersor viajero sin traslape.

1.2 HIPOTESIS

Se asume que al fertirrigar con un aspersor viajero sin traslape entre rutas se tienen diferentes dosis de fertilizante bajo el patrón de aspersión.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1 Origen

Hasta este tiempo no se sabe con precisión la época exacta de la aparición del maíz, aunque existen varias teorías. La humanidad se estima en 3 millones de años de existencia; la aparición del hombre en América se considera de 11 a 15 mil años, en cuanto a la agricultura se dice que ocurrió hace unos 10 mil años. Cuando los españoles arribaron a América y a México en 1521, el maíz ya tenía varios siglos de cultivo.

Según la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) dice que el proceso de domesticación del cultivo del maíz tuvo inicio aproximadamente 10,000 años muy asociada a la invención y desarrollo independiente de la agricultura en Mesoamérica.

2.2 Clasificación taxonómica

Según Terán (2008) dice que el maíz pertenece a la siguiente clasificación:

Reino: plantae

Division: magnoliophyta

Clase: liliopsida

Orden: cyperales

Familia: poaceae

Genero: *zea*

Especie: *mayz*

Nombres comunes: maíz, morochillo, maíz duro amarillo.

Nombre científico: *Zea mayz L.*

2.3 Morfología

2.3.1 Sistema radicular

Según Océano (1994), el sistema radicular es fasciculado, de gran potencia y de rápido desarrollo. Las raíces primarias, de origen embrionario, no llegan a asumir grandes proporciones, en cambio, las raíces adventicias alcanzan gran desarrollo y constituyen la masa principal del aparato radical.

2.3.2 Hoja

Según Reyes (2000), las hojas son largas y angostas, envainadoras, formada por la vaina y limbo, con nervaduras lineales, paralelas a la nervadura central. La hoja del primordio coleoptilar se desarrolla por crecimiento del primordio foliar en una estructura larga y angosta que se desarrolla en la base, alrededor del punto de formación, de tal manera que las hojas más longevas incluyen a la más joven, cubriendo esta al meristemo apical.

2.3.3 Tallo

Océano (1994) menciona que el tallo es una caña robusta, de nudos bastante gruesos, rellenos en su interior de un tejido medular esponjoso. La altura ordinaria del tallo es de 2 a 3 metros, con un mínimo de 150 centímetros en ciertas variedades muy precoces, y un máximo de 4 a 5 metros en algunas variedades tropicales.

2.3.4 Flor

Cubero (2003) dice que la planta es monoica, que quiere decir que presenta flores unisexuales pero la flor macho y flor hembra están en la misma planta. Las flores femeninas forman gruesos espádices que aparecen en las axilas de algunas hojas. Las flores están agrupadas en una espiga rodeada de largas brácteas, llamada mazorca. La inflorescencia masculina es una panícula terminal y se le llama «penacho», «plumero» o «señorita».

2.3.5 Fruto

Salvador (2001) manifiesta que el fruto del maíz es una cariósida en la que se distinguen las siguientes partes: corona (parte exterior, opuesta al punto de inserción en la tusa), y dos caras (una superior, de cara al ápice de la espiga, con el escudete donde se encuentra el embrión, y otra inferior, de cara a la base).

2.4. Requerimientos de clima y suelo

2.4.1 Temperatura

Según ABCAGRO (s.f.), para la siembra del maíz es necesaria una temperatura media del suelo de 10 °C, y que ella vaya en aumento. Para que la floración se desarrolle normalmente conviene que la temperatura sea de 18 °C como mínimo. Por otra parte, el hecho de que deba madurar antes de los fríos hace que tenga que recibir bastante calor. De todo esto se deduce que es una planta de países cálidos, con temperatura relativamente elevada durante todo su ciclo vegetativo.

El mismo autor expresa que la temperatura más favorable para la nacencia se encuentra próxima a los 15 °C. En la fase de crecimiento la temperatura ideal se encuentra comprendida entre 24 y 30 °C. Por encima de los 30 °C se encuentran problemas en la actividad celular, disminuyendo la capacidad de absorción de agua por las raíces.

2.4.2 Riego

Ruiz et al. (1999) sostienen que de la siembra a la madurez el cultivo requiere de 500 a 800 mm, dependiendo de la variedad y del clima. Cuando las condiciones de evaporación corresponden a 5-6 mm/día de agua (lluvia bien distribuida o riego) las necesidades hídricas van variando a lo largo del cultivo y cuando las plantas comienzan a nacer se requiere menos cantidad de agua pero sí mantener una humedad constante. En la fase del crecimiento vegetativo es cuando más cantidad de agua se requiere y se recomienda dar un riego unos 10 a 15 días antes de la floración.

INFOAGRO (s.f.) sostiene que la fase de floración es el periodo más crítico porque de ella va a depender el cuajado y la cantidad de producción, por lo que se aconseja riegos que mantengan la humedad y permita una eficaz polinización y cuajado.

2.4.3 Suelo

FACIAG (1991) sostiene que los suelos más adecuados para el cultivo son los franco-limosos, profundos, fértiles, con un contenido en materia orgánica del 3 al 4 % y principalmente bien drenados. Los valores de pH óptimos oscilan entre 6.5 y 7 aunque puede resistir ciertas condiciones de acidez (hasta un pH de 5.5). En cuanto al agua de riego el pH óptimo es de 5.5 a 7.

2.5 Siembra y preparación del suelo

Para Cubero (2003) la profundidad de siembra óptima se encuentra entre los 2 y 4 cm. Es conveniente no pasar los 5 cm. Una precaución importante para tener en cuenta es nivelar correctamente el terreno. Esto tiene influencia después, sobre todo al momento de cosechar con máquina.

2.6 Manejo de plagas

GRUPO LATINO (2007) indica que el establecimiento de un manejo integrado de plagas (MIP) en maíz requiere del conocimiento de la biología del insecto y su relación con el material genético a sembrar y los diferentes factores climáticos y edafológicos de cada área o zona agrícola.

2.7 Rendimiento

Carlone y Russell (1987) indican que los rendimientos máximos no se pueden obtener solamente por la utilización de variedades mejoradas o por la aplicación de prácticas culturales adecuadas, ambas debe recibir atención conjuntamente. Sin la aplicación de buenas prácticas culturales el potencial de alto rendimiento de una variedad mejorada no sería aprovechado en su totalidad.

2.8 Requerimientos nutricionales del maíz

Cuando se diagnostican las necesidades de fertilización de los cultivos es importante conocer las necesidades de nutrientes para alcanzar el máximo rendimiento. Las necesidades del cultivo se deducen en términos de kg o g de nutrientes que deben de ser absorbidos por el cultivo.

Los requerimientos nutricionales de los cultivos varían de acuerdo al nivel de producción y el ambiente, por ende se debe de tomar en cuenta que estos valores solo son orientativos.

En el siguiente cuadro también se indican los índices de cosechas de los nutrientes (INPOFOS, 2002).

Nutriente	Requerimiento	Índice de Cosecha	Rendimiento de 9000 kg/ha Necesidad	kg/ha Extracción
	kg/ton grano		kg/ha	kg/ha
Nitrógeno	22	0.66	198	131
Fósforo	4	0.75	36	27
Potasio	19	0.21	171	36
Calcio	3	0.07	27	2
Magnesio	3	0.28	27	8
Azufre	4	0.45	36	16
Boro	0.020	0.25	0.180	0.045
Cloro	0.444	0.06	3.996	0.240
Cobre	0.013	0.29	0.117	0.034
Hierro	0.125	0.36	1.125	0.405
Manganeso	0.189	0.17	1.701	0.289
Molibdeno	0.001	0.63	0.008	0.005
Zinc	0.053	0.50	0.477	0.239

Figura1. Requerimientos nutricionales de Maíz

El rendimiento de maíz está determinado por el número restante de granos logrados por unidad de superficie, el cual es función de la tasa de crecimiento del cultivo alrededor del periodo de floración (Andrade et al., 1996).

2.9 Principales nutrientes para las plantas

2.9.1 Nitrógeno

Iquiza (2007) comenta que el nitrógeno se aplica al suelo como monoproducto; se puede incorporar mediante mezclas físicas balanceadas por su alta solubilidad en agua; puede funcionar en abonos foliares en combinación con P y K. La urea es la fuente más económica de nitrógeno (N), por su alta concentración tiene una variedad de usos y aplicaciones.

INIAP (2009) manifiesta que la aplicación de fertilizantes nitrogenados en forma fraccionada permite una mejor utilización del nitrógeno, particularmente en suelos con texturas gruesas, sujetos a pérdidas del elemento por lavado. Además, añade que las fuentes comunes de fertilizantes nitrogenados corresponden a: la urea, el sulfato de amonio, el nitrato de amonio, los fosfatos monoamónico y diamónico, así como a numerosas fórmulas compuestas.

2.9.2 Fertilización con fósforo

Para García y Espinosa (2011) el fósforo es absorbido, mayormente, en las primeras etapas del ciclo del maíz; debe colocarse de manera que pueda ser interceptado con facilidad por las raíces, preferiblemente en forma de bandas enterradas, a un lado y por debajo de la semilla.

Melgar y Torres (2006) aseguran que para el maíz debe considerarse que el nivel crítico de fósforo asimilable es aquel cuando el contenido en el suelo es inferior a 20 ppm. Valores superiores a ese nivel ameritan el uso de fertilizantes, solo si se desea cubrir los requerimientos de un cultivo, si se esperan rendimientos superiores al promedio.

Melgar y Torres (2006) mencionan que a diferencia de lo que ocurre con el nitrógeno, al abordar la fertilización fosfatada en maíz hay que considerar que el funcionamiento del fósforo (P) en el sistema suelo-planta es totalmente diferente al del nitrógeno.

Desde el punto de vista del manejo nutricional el principal aspecto a considerar es su baja movilidad en el suelo.

Por otro lado, el pH es un factor que impacta considerablemente sobre la disponibilidad de fósforo. La mayor disponibilidad ocurre con un pH entre 5.5 y 6.5 mientras que en valores fuera de este rango su concentración en la solución del suelo se reduce significativamente.

2.9.3 Fertilización con potasio

Según Mestanza (2005), las funciones del potasio son:

- Imparte a las plantas gran vigor y resistencia a las enfermedades.
- Coadyuva en la producción de proteínas en las plantas.
- Da mayor resistencia a los tallos, disminuyendo el volcamiento.
- Aumenta el llenado y tamaño del grano.
- Es esencial para formación y desplazamiento de los almidones, azúcares y grasas. Mejora la calidad de los frutos.
- Estimula la calidad de los granos.
- Participa en la formación de la antocianina.
- Aunque no forma parte de la estructura de los componentes orgánicos en la planta, es fundamental porque cataliza procesos como la respiración, la fotosíntesis, la formación de clorofila y la regulación de los contenidos de agua en las hojas.
- Ayuda a la fijación simbiótica del N.

Reyes (2000) dice que el K rara vez falta en las zonas tradicionales maiceras de nuestro medio; un contenido medio o bajo justifica la aplicación de 2-4 sacos/ha de muriato de potasio. Si el contenido es alto se abona solamente con un saco de muriato de potasio como dosis de mantenimiento. Es necesario indicar que los fertilizantes fosfóricos y potásicos se incorporan al suelo para su mejor aprovechamiento.

El mismo autor expresa que la colocación de K es crítica. Al igual que el P 16 no se mueve con facilidad en el suelo, aunque el potasio tiene mayor movilidad que P. La aplicación al voleo es eficiente pero se obtienen mejores resultados incorporándolos.

2.9.4 Absorción de nutrientes vía foliar y radicular

La aplicación foliar, es un procedimiento utilizado para satisfacer los requerimientos de micronutrientes y aumentar los rendimientos y mejorar la calidad de producción. Los principios fisiológicos del transporte de los nutrientes absorbidos por las hojas son similares a los que siguen por la absorción de las raíces. Sin embargo, el movimiento de los nutrientes aplicados sobre las hojas no es el mismo en tiempo y forma que el que se realiza desde las raíces al resto de las plantas. Tampoco la movilidad de los distintos nutrientes no es la misma a través del floema.

Entre las ventajas más frecuentemente mencionadas se destaca que la fertilización foliar de micronutrientes, ha demostrado ser positiva cuando las condiciones de absorción desde el suelo son adversas; por ejemplo, sequía, encharcamientos o temperaturas extremas al suelo. Por la menor capacidad de absorción de las hojas en relación con las raíces, las dosis son mucho menores que las aplicaciones vía suelo. Es mucho más fácil obtener una distribución uniforme, a diferencia de la aplicación de granulados o en mezclas físicas. La respuesta al nutriente aplicado es casi inmediata y consecuentemente las deficiencias pueden corregirse durante el ciclo de crecimiento. Así, las sospechas de deficiencias son diagnosticadas más fácilmente. En particular, la aplicación foliar es más eficiente en las etapas más tardías de crecimiento, cuando hay una asimilación preferencial para la producción de semillas o frutas y la aplicación por vía radicular es limitada en tiempo y forma (Melgar, 2005).

Kannan (1980), menciona que está demostrado que las hojas de las plantas y otras partes por encima del terreno son capaces de absorber los químicos y los nutrientes. Sin embargo no está comprendido el mecanismo de absorción foliar y translocación a otros organelos de la planta.

2.10 Fertirrigación

Según Bar-Yosef (1991) se le llama fertirrigación o fertirriego a la práctica de aplicar fertilizantes a los cultivos por vía del agua de riego. La fertirrigación es una técnica agrícola que aporta la excelente oportunidad de maximizar los rendimientos y a la vez reducir la contaminación ambiental (Hagin et al., 2002), al aumentar la eficiencia de uso de los fertilizantes, minimizar la utilización de estos e incrementar los beneficios económicos de la inversión de fertilizantes.

La fertirrigación es el método por excelencia de aplicación de agua y fertilizantes, cuando se hace de forma adecuada puede maximizar la utilización de nutrientes por las plantas y minimizar el potencial de pérdida de nutrientes por debajo de la zona radical (Lazcano, 1998).

El fertirriego ha permitido grandes incrementos en cuanto a la productividad de los cultivos, lo que se traduce en un mejor control y aprovechamiento de agua y los fertilizantes o nutrientes, donde ya no se habla de agua y nutrientes, sino de riego y nutrición, de balance hídrico y nutricional, de monitoreo hídrico y monitoreo nutricional (Samuel y col., 2001).

Nutrient	Fertilizer Use Efficiency (%)	
	Soil Application	Sprinkler-Drip
Nitrogen	30-50	75 - 95
Phosphorus	20	30 - 35
Potassium	50	75 - 85

Figura 2. Eficiencia de fertilizantes con fertirrigación

2.10.1 Ventajas de la fertirrigación

Según Burt (1995) informa que los beneficios de una buena fertirrigación son muy reales y serán cada vez más importantes. La fabricación de fertilizantes nitrogenados consume mucha energía. La energía requerida para fabricar el fertilizante puede ser

igual a la combinación de todas las entradas de energía tales como, bombeo, tractores, fabricación de tubos, etc. Por lo tanto la buena aplicación de fertirrigación tiene ciertos efectos benéficos para el cultivo y para la no contaminación tales como:

1. La aplicación de fertilizantes se reduce aproximadamente un 25 %.
2. Los rendimientos aumentan

El resultado neto es que el rendimiento por unidad de fertilizante (o agua) aumenta: esto es cierto, medida de la eficiencia mejorada (Burt, 1995).

Con el fertirriego, todos los nutrientes son inyectados de manera exacta y uniforme solamente al volumen radicular humedecido, donde están concentradas las raíces activas. El monitoreo exacto de la tasa de aplicación de los nutrientes optimiza la fertilización, disminuyendo considerablemente la contaminación del agua del subsuelo causado por el lixiviado de fertilizantes. Cuando se usan métodos de riego a presión (goteo, aspersores, micro aspersores), el fertirrigar no es opcional, sino realmente necesario. El fertirriego es el único método correcto de aplicar fertilizantes a los cultivos bajo riego (Burt et al., 1998).

2.10.2 Desventajas de la fertirrigación

Coste inicial de infraestructura

Obturación de goteros

Manejo por personal especializado (Cadahia, 2005).

2.10.3 Fertilizantes para fertirriego

Según Kafkafi (2005) menciona que la mayoría de los fertilizantes líquidos y solubles en agua son adecuados para la fertirrigación, y al querer seleccionar un fertilizante se toman en cuenta cuatro puntos importantes:

- 1) Tipo de planta y etapa de crecimiento
- 2) Condiciones del suelo
- 3) Calidad del agua

4) Composición y precio de los fertilizantes

Kafkafi (2012) expresa que el tipo de fertilizante para fertirrigación debe ser de alta calidad y de elevada solubilidad y pureza, con los niveles muy bajos de sales y un aceptable pH, y amoldarse al programa de manejo del establecimiento.

2.10.4 Características de fertilizantes para fertirriego

Hagin y Lowengart-Aycicegi (1996) declararon las fundamentales propiedades relacionadas con la utilidad de los fertilizantes para el método de aplicación. Son los siguientes:

Forma: generalmente para poder fertirrigar de una manera adecuada se utilizan tipos de fertilizantes ya sea sólidos solubles y líquidos que son los que mejor se mezclan con el agua.

Solubilidad: tener una solubilidad estable son fundamentales para los fertilizantes utilizados para fertirrigación. La solubilidad de estos aumenta generalmente con la temperatura, dependiendo del fertilizante.

Temperatura	KNO ₃	KCl	K ₂ SO ₄	NH ₄ NO ₃	Urea
10°C	21	31	9	158	84
20°C	31	34	11	195	105
40°C	46	37	13	242	133

Figura 3. Solubilidad aproximada g. de producto por cada 100 g. de agua a diferentes temperaturas. Fuente: Agriculture, 2000.

Interacción entre fertilizantes en la solución: cuando 2 o más tipos de fertilizantes son preparados y agitados por el agricultor, o en la línea de riego, debe checarse la compatibilidad entre estos (Roddy, 2008).

	Urea	Nitrato de amonio	Sulfato de amonio	Nitrato de calcio	Nitrato de potasio	Cloruro de potasio	Sulfato de potasio	Fosfato de amonio	Sulfato de Fe, Zn, Cu, Mn	Quelatos de Fe, Zn, Cu, Mn	Sulfato de magnesio	Acido fosfórico	Acido sulfúrico	Acido nítrico
Urea	√													
Nitrato de amonio	√	√												
Sulfato de amonio	√	√	√											
Nitrato de calcio	√	√	x	√										
Nitrato de potasio	√	√	√	√	√									
Cloruro de potasio	√	√	√	√	√	√								
Sulfato de potasio	√	√	R	x	√	R	√							
Fosfato de amonio	√	√	√	x	√	√	√	√						
Sulfatos de Fe, Zn, Cu, Mn	√	√	√	x	√	√	R	X	√					
Quelatos de Fe, Zn, Cu, Mn	√	√	√	R	√	√	√	R	√	√				
Sulfato de magnesio	√	√	√	x	√	√	R	x	√	√	√			
Acido fosfórico	√	√	√	x	√	√	√	√	√	R	√	√		
Acido sulfúrico	√	√	√	x	√	√	R	√	√	√	√	√	√	
Acido nítrico	√	√	√	√	√	√	√	√	√	x	√	√	√	√

√ = compatible x = incompatible R = compatibilidad reducida

Figura 4. Carta de compatibilidad entre fertilizantes. Fuente: Roddy, 2008

Corrosividad: dependiendo las mezclas entre fertilizantes, pueden ocurrir ciertas reacciones corrosivas, que pueden causar deterioro en algunos componentes metálicos de la instalación, tales como las tuberías de aluminio, válvulas, filtros, etc. A continuación una tabla que muestra la corrosividad de algunos fertilizantes (Kafkafi y Tarchitzky, 2012).

	Cantidad máxima (kg) disuelta en 100 L a 20°C	Tiempo para disolver (min)	pH de la solución	Insolubles (%)	Comentarios
Urea	105	20 ¹	9,5	Despreciable	La solución se enfría a medida que se disuelve la urea.
Nitrato de amonio NH ₄ NO ₃	195	20 ¹	5,62	—	Corrosivo para el hierro galvanizado y bronce.
Sulfato de amonio (NH ₄) ₂ SO ₄	43	15	4,5	0,5	Corrosivo para el acero común.
Fosfato mono-amónico MAP	40	20	4,5	11	Corrosivo para el acero al carbono.
Fosfato diamónico DAP	60	20	7,6	15	Corrosivo para el acero al carbono.
Cloruro de potasio KCl	34	5	7,0–9,0 ²	0,5	Corrosivo para el bronce y el acero común.
Sulfato de potasio K ₂ SO ₄	11	5	8,5–9,5 ²	0,4–4 ²	Corrosivo para el acero común y el concreto.
Fosfato mono-potásico MKP	213	—	5,5+/-0,5	<0,1	No corrosivo.
Nitrato de potasio KNO ₃	31	3	10,8	0,1	La solución se enfría a medida que el producto se disuelve. Corrosivo para los metales.

¹La temperatura de la solución cae a 0°C; por eso toma más tiempo para que se disuelva todo el material.

²Estos datos están dentro del rango encontrado en varios análisis y se refieren a fuentes de diferentes orígenes.

Figura 5. Solubilidad, pH y otras características de ciertos fertilizantes. Fuente: Agriculture, 2000.

2.10.5 Fertirrigación en Maíz

André et al. (1978) reportó mediciones diarias del desarrollo y del consumo en el cultivo del maíz en varias etapas fisiológicas: vegetativo, periodo de floración femenina, masculina y desarrollo de las espigas. A partir del desarrollo de las semillas hasta la aparición de la panoja masculina, y fotosíntesis está en relación con la transpiración, durante la floración la transpiración es mucho mayor a la fotosíntesis, después del crecimiento de barbas de la espiga femenina, se verifica una declinación en la cantidad de agua consumida durante su formación y la de granos. Pasados 62 días del crecimiento (máxima absorción N), una sola planta puede consumir 140 mg de N y 254 mg de K. La planta sigue consumiendo N y K hasta la cosecha cerca del 20% del máximo, el consumo de N por la planta es controlada por el metabolismo interno de diversos órganos en crecimiento durante momentos específicos.

Las etapas fisiológicas son importantes para tener una planificación sobre la fertirrigación, de tal manera que el agua y nutrientes sean aplicados de manera oportuna al cultivo. En el maíz cultivado en el campo, es fundamental saber sobre la distribución radicular para suministrar en el momento adecuado los riegos y aplicación de nutrientes. En la siguiente figura se observa como un cultivo de maíz en un suelo arenoso con fertirrigación diaria absorbió todo el N aplicado sin dejar exceso alguno de N a las plantas vecinas, como se aprecia por el agudo contraste entre el testigo sin fertirrigación con N (Abura, 2001).



Figura 6. Maíz regado por micro goteo. Fuente: (Abura, 2001).

2.11 Sistemas de riego aptos en los que se aplica la fertirrigación

Domínguez (1993) Menciona que para la aplicación de fertilizantes a través de un sistema de riego, tiene una serie de exigencias importantes en orden a la eficacia del abonado. Mencionando las siguientes condiciones:

Pertinencia de aplicación. La inyección de nutrientes al cultivo va de acuerdo a las necesidades fisiológicas de este. Este condicionamiento por lo regular es fácil de cumplir ya que existe una analogía entre las necesidades de agua y nutrientes.

Uniformidad de la distribución. Este requerimiento es más complicado de efectuar, ya que solo los sistemas que efectúan la llegada del agua hasta el emisor por medio de tuberías te garantiza una cierta homogeneidad de distribución de nutrientes.

Llegada de los nutrientes a la zona de absorción radicular. Esta exigencia se refiere principalmente a los elementos menos móviles que son el fosforo y el potasio. Por lo contrario el nitrógeno se desplaza más fácilmente por el agua particularmente los nitratos, y pueden llegar a la zona donde se requiere. Debe tenerse cuidado con los riego para que no exista una cierta lixiviación de este nutriente y consecuentemente pérdida de parte de dicho elemento. Esta característica se ha logrado gracias a sistemas de riego presurizados específicamente el riego por goteo ya que se ha podido

comprobar su penetración en profundidad, por lo que este tipo de sistema de riego es el más apropiado para una eficiente y óptima fertirrigación.

2.11.1 Riegos en superficie

En estos tipos de riego como el de amanta o inundación, se requiere que el suelo contenga la mayor cantidad de agua durante el mayor tiempo posible. Todo depende del tipo del suelo, del clima y del tipo de cultivo.

Los riegos de superficie son de muy baja eficiencia con una gran cantidad de agua en relación a la cantidad de agua que requiere el cultivo. La distribución de la humedad no es tan uniforme y tiene pérdidas importantes sobre todo cuando se lleva el agua a la parcela por acequias de tierra, por eso se ha implementado la utilización de canales y tuberías que impiden estas pérdidas. No obstante la calidad del riego depende en gran medida de la uniformidad, del grado de nivelación conseguido por la misma, y por las características del suelo. Por ende las posibilidades de obtener una elevada eficiencia en suelos ligeros son mínima.

En consecuencia, la inyección de fertilizantes a través de este sistema de riego no es aconsejable ya que no tiene una cierta uniformidad y no se tiene un control para contrarrestar las pérdidas de agua en profundidad. Por consiguiente, no se podrá conseguir una dosificación adecuada en toda la parcela ni de evitar pérdida de nutrientes por lixiviación, al menos en algunas zonas del suelo (Domínguez, 1993).

2.11.2 Riegos por aspersión

En este método de riego si es posible la aplicación de fertilizantes de cualquier tipo especialmente los abonos nitrogenados en cobertera, donde se puede lograr una distribución satisfactoria y un control sobre la penetración del nitrógeno en la profundidad, de cierta manera que se evite el riesgo de lavado (Domínguez, 1993)

2.11.3 Riegos Localizados

Este tipo de sistemas de riego son los más eficientes para la fertirrigación, ya que permiten mantener una zona delimitada del suelo, a disposición de las raíces, aparte de que puede dejar una cierta humedad uniforme muy buena y de dar la mayor concentración de nutrientes al cultivo. Realmente se trata de un sistema de precisión al aportar el agua y los nutrientes muy ajustados a la demanda del cultivo. Definitivamente este tipo de riego es con el que la técnica de la fertirrigación alcanza su mayor eficacia y propiedad.

De cierta manera la fertirrigación nitrogenada puede llevarse a cabo con riego de baja frecuencia como es el riego por aspersión y los riegos de alta frecuencia localizados llevándose una mayor eficiencia en el último. Cuando hay que llevar a cabo una fertirrigación completa es necesario centrarse en el riego localizado (Domínguez, 1993). La fertilización aplicada en sistema de riego por goteo da una eficiencia para economizar un 30-60% de fertilizante aplicado en comparación con otros sistemas convencionales, además facilita el ajuste de las necesidades y aumenta la capacidad de reacción a los problemas de nutrición (Gómez, 1990; Pizarro, 1987).

2.12 Equipos para fertirrigación

2.12.1 Equipo para riegos en superficie

En este tipo de sistemas de riego la aplicación de fertilizantes es muy simple ya que la aplicación de fertilizantes solo es para distribución de agua en canales abiertos. La solución de fertilizantes gotea en el canal ya que el tanque se encuentra en una altura mayor que el canal y para poderse mezclar de buena manera la corriente de riego debe de ser considerablemente alta (Kafkafi y Tarchitzky, 2012).

2.12.2 Equipo para sistemas de riego presurizados

La aplicación de fertilizantes se encuentra clasificada por tres grupos, de acuerdo con el medio utilizado para obtener la mayor presión para la solución del fertilizante. La clasificación es la siguiente:

Inyección por un Venturi. Este método hace uso del principio de succión del Venturi ejerciendo la presión inducida, por el flujo de agua para succionar la solución madre del contenedor hacia la línea de riego. Una contracción cónica del tubo induce un aumento de la velocidad del flujo y una disminución de la presión a un valor muy bajo, haciendo efecto el Venturi provocando la succión de la solución madre, pasando por un filtro de malla desde un tubo o manguera hacia la línea de conducción. Con la ayuda de una válvula se puede controlar la diferencia de velocidades en ambos extremos.

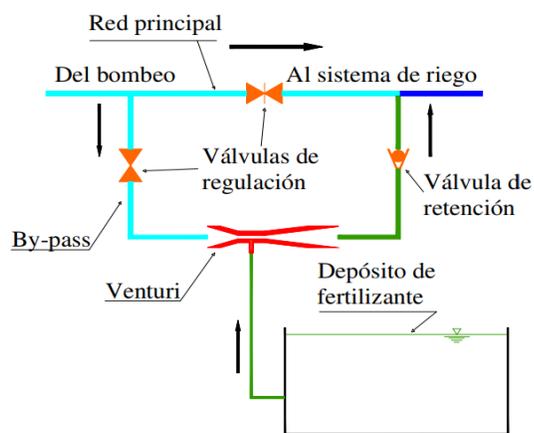


Figura 7. Esquema de montaje venturi. Fuente: SIAR, 2005.

Aplicación por presión diferencial. Este sistema utiliza un tanque anticorrosivo hermético en sus paredes, donde con ayuda de una válvula mariposa ahorca el flujo y crea una presión diferencial. Este es el único sistema de fertirrigación que puede aplicar fertilizantes sólidos o líquidos. Se dispone de una cantidad completa de fertilizante dentro del contenedor para aplicar a una superficie determinada bajo riego. La concentración en el emisor al final de la línea se mantiene constante en tanto haya fertilizante sólido en el tanque y que el fertilizante se mezcle y diluya rápidamente, una vez mezclado de una manera efectiva la concentración se reduce a una tasa exponencial. Para el uso de fertilizantes endotérmicos cuando se disuelven tienden a disminuir la temperatura en el tanque, y cuando se agregan en horas frías de la

mañana antes del riego, parte de la solución puede congelarse, lo que genera cambios inesperados en la concentración de nutrientes.

Inyección por presión positiva. Las bombas de inyección pueden aumentar la presión en el tanque de la solución madre y mantener una proporcionalidad en cuanto a la solución de fertilizante y la aplicación de agua de riego. Entre las ventajas de usar bombas de inyección se da mención al mantenimiento sin pérdidas de la presión de la línea de riego, su acertada dosificación y la capacidad de proveer una concentración determinada a lo largo de todo el ciclo de riego. Existen dos tipos de inyectoros en fertirrigación: las bombas de pistón y las bombas de diafragma. Las fuentes más comunes de energía para las bombas de fertirriego son:

- **Energía hidráulica.** Este componente utiliza la presión hidráulica del agua de riego para inyectar la solución de nutrientes, donde el agua que es usada para empujarla (aproximadamente tres veces el volumen de la solución inyectada) es descargada.

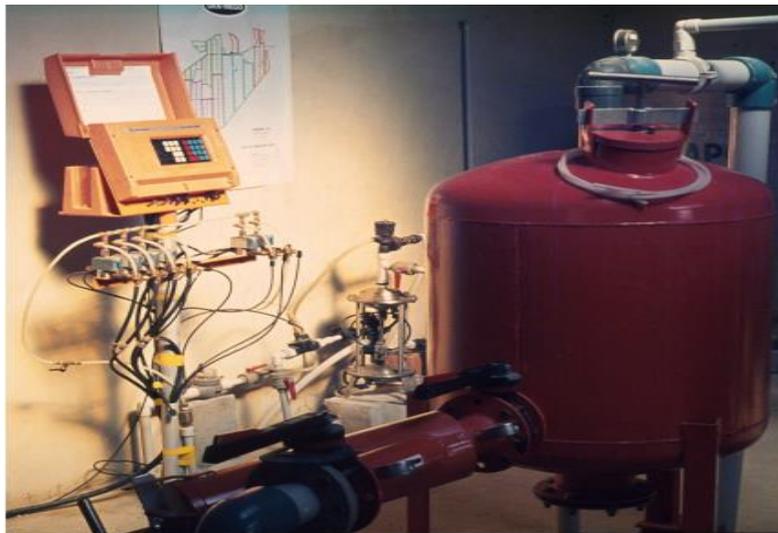


Figura 8. Instalación de filtros y tanques para fertilizantes. Fuente: SIAR, 2005.

- **Bomba eléctrica dosificadoras.** Estos componentes activan las bombas fertilizadoras. Generalmente se utilizan en invernaderos o áreas donde hay electricidad al alcance y confiable.

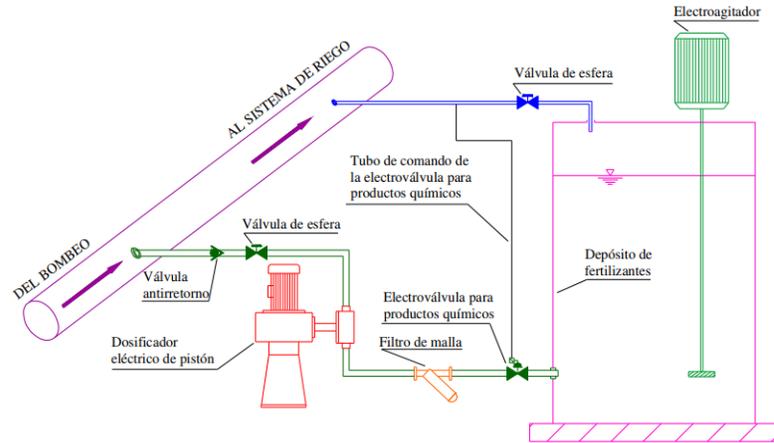


Figura 9. Instalación para inyección de fertilizante con bomba eléctrica. Fuente: SIAR, 2005.

2.13 Dosificación de fertilizantes en la fertirrigación

Según Sne (2006) comenta que para aplicar la misma dosis de fertilizante durante una etapa fenológica de la planta, pueden realizarse dos maneras diferentes de aplicación según el cultivo, el tipo de suelo, y el sistema de manejo del establecimiento.

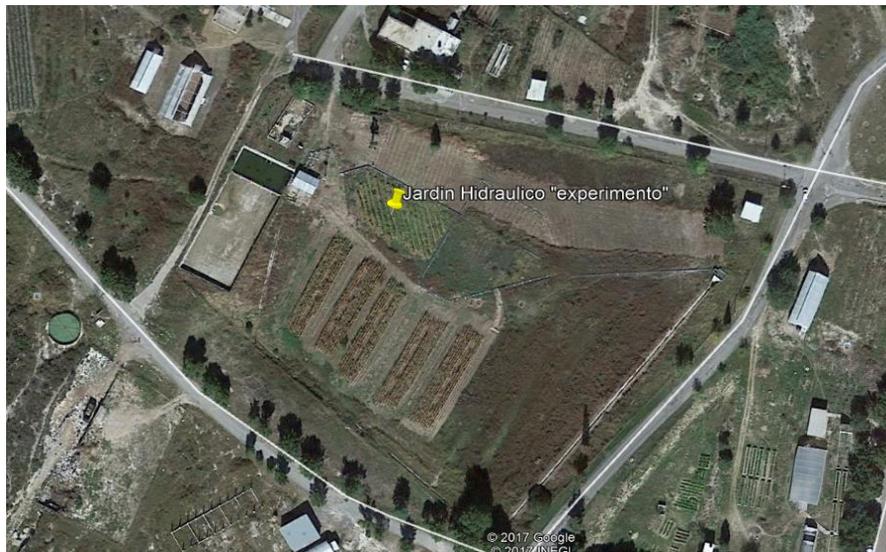
Dosificación cuantitativa. Una cantidad determinada de fertilizante se inyecta en el sistema de riego durante cada aplicación de riego. La aplicación puede controlarse de dos maneras ya sea manual o automáticamente.

Dosificación proporcional. En este proceso se mantiene una proporcionalidad constante y predeterminada entre el volumen de solución madre y el volumen de agua de riego, donde el resultado es una concentración constante de nutrientes en el agua de riego.

III. MATERIALES Y METODOS

3.1 lugar y fecha de establecimiento

La prueba se llevó a cabo en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Agosto 2016. El experimento fue llevado a cabo en el jardín hidráulico, con coordenadas geográficas; latitud 25°21'16.69"N y longitud 101° 2'8.74"O, con una altitud de 1786 msnm y recolección de datos en el laboratorio del departamento de riego y drenaje.



3.2 Materiales y equipos utilizados:

- ✓ Aspersor viajero
- ✓ Semilla de maíz AN447
- ✓ Manguera para gran cañón 1"
- ✓ Bomba de pistón 1 hp dosificadora
- ✓ Fertilizante triple 18 Hakaphos Rojo
- ✓ Fertilizante inorgánico sólido
- ✓ Fertilizante Ferrum
- ✓ Jugo de limones
- ✓ 14 colectores para muestreo de la precipitación artificial

- ✓ Vernier
- ✓ Probeta
- ✓ Potenciómetro
- ✓ Conductivímetro
- ✓ Cinta métrica
- ✓ Jeringa de 30 ml
- ✓ Galón (20 L) para la solución madre
- ✓ Herramientas manuales (marro, azadón, machete)

3.3 Siembra de la semilla

Primero se procedió a limpiar el terreno para sembrar el cultivo del maíz.

Fecha de siembra: 30 de junio del 2016.

Variedad de maíz: AN 447

Densidad de siembra: 55,500 plantas/ha

Camas de siembra a 1.80 m de separación, sembrando el maíz a doble hilera, y separación entre plantas de 20 cm.

3.4 Riego

Se regó con un sistema de riego por goteo y se aplicó el fertirriego con el aspersor viajero, con una lámina diaria de 18 mm.

3.5 Control de maleza

Se aplicó GLIFOMAR con ingrediente activo glifosato al 41% e ingrediente inerte del 59% su dosis es de 1.5 a 2.5 l/ha.

3.6 Abono en la parcela

En el lote del cultivo en la parte baja de la superficie se encontraba concentrado una considerable masa de abono.

3.7 Fertilización

fertilizante	N	P	K	Fe
Triple 18	18 %	18 %	18 %	0 %
Fertilizante inorgánico solido	31 %	1.5 %	0 %	0.28 %

Cuadro 1. Fertilizantes utilizados.



Figura 10. Fertilizantes utilizados.

3.7.1 Concentración de solución del fertilizante

La concentración en la solución madre fue de 25 gr/l y en el riego aplicado hubo una concentración de .41 gr/l.

Calculado de la siguiente manera

$$C_i = (q_x \cdot C_x) / (Q + q_x)$$

Donde

q_x = tasa de inyección (LPH)

C_x = concentración en el tanque (gr/litro)

Q= gasto del sistema (LPH)

3.7.1 Aplicación de fertirriegos

Preparación:

Se aplicó fertilizante inorgánico sólido distribuido en 3 galones de 20 L.

Aplicación en primer fertirriego

En esta fertirrigación fue de giro completo 360°

Son 60 L de solución madre

Galones	Fertilizante sólido soluble
1er Galón 20L	500 grs. Fertilizante ("happy flower")
2do Galón 20L	500 grs. Fertilizante ("happy flower")
3er Galón 20L	500 grs. Fertilizante ("happy flower")

Cuadro 2. Aplicaciones del primer fertirriego.

En estos 3 fertirriegos aplicados fue de giro parcial 180°

Se aplicó el fertilizante triple 18 Hakaphos Rojo el fertilizante inorgánico sólido y el jugo de limones (60 ml) en 3 galones de 20 litros divididos de la siguiente manera:

Son 60 L de solución madre

Galones	Fertilizante	Jugo de limón
1er galón (20 L)	500 gr. inorgánico sólido	20 ml
2do galón (20 L)	500 gr. Triple 18	20 ml
3er galón (20 L)	250 gr. Triple 18 y 250 gr. Inorgánico sólido	20 ml

Cuadro 3. Aplicación del fertilizante en 3 fertirriegos.

3.8 Resultados de la aplicación de pH y Conductividad Eléctrica (CE)

Recolección de datos de CE y pH de dosis aplicada en colectores colocados en la parte media del terreno, separados a cada 2 m entre sí.

Aplicación	Agua de la pila		Agua de la pila con fertilizante	
	CE (ds*m)	pH	CE (ds*m)	pH
Primera aplicación	0.74	8.5	1.24	8.6
Segunda aplicación	3.04	8.78	1.24	8.45
Tercera aplicación	3.23	7.78	1.36	8.24
Cuarta aplicación	2.67	8.81	1.22	8.2

Cuadro 4. Conductividad y pH.

3.9 Aplicaciones de fertirriego

Fecha	No de riego	Fertilización
20/08/2016	1	Fertilizante inorgánico sólido
10/09/2016	2	Triple 18+fertilizante inorgánico
30/09/2016	3	Triple 18+fertilizante inorgánico
20/10/2016	4	Triple 18+fertilizante inorgánico

Cuadro 5. Fechas de aplicación.

3.10 Calibración de riego y bomba dosificadora

Bomba eléctrica de pistón:

-1 lLps (litro por segundo)

Bomba Dosificadora de pistón

-1 Lpm (litro por minuto)

Calibración de la bomba dosificadora

3.11 Metodología de aplicación de la fertirrigación

1. Primeramente se llevó acabo la colocación de los colectores en medio del lote del cultivo a una distancia de 2 m de separación entre cada uno.
 - Se llevó un orden enumerando cada bote colector para identificarlos con mayor facilidad.
 - A los colectores se les coloco una piedra, para evitar que estos pudieran moverse, ya sea por el viento o por el mismo golpe del agua que es arrojada por el aspersor viajero, verificando que en lo colectores no hubieras partes del follaje de las plantas algunos insectos que interfirieran con la aplicación.
2. Posteriormente se pasó a pesar el fertilizante a aplicar como se explica en la dosis.
3. El fertilizante ya pesado se mezcló en una cubeta de 5 litros con la ayuda de un bastón metálico, para una mayor homogeneidad en la mezcla y que no queden sólidos que puedan interferir con la inyección de la solución madre.
4. Se procedió aforar la succión de la bomba dosificadora, de tal manera que absorbiera un volumen de agua de 1 lpm.
5. A continuación se colocó el aspersor viajero a una distancia de 30 m de longitud para el viaje, y tomando registro de si existía una considerable velocidad del viento que afectara la aplicación de la aplicación.
6. Se tomó registro de la hora en que se empezó a aplicar el fertirriego y con la ayuda de un cronómetro se continuaba a jalarlo 50 cm cada minuto y constantemente se checaban los colectores de tal manera que no existiera alguna anomalía que afectara la prueba.

7. Al término de la aplicación con la ayuda de una probeta se medía la cantidad de agua colectada entregada por el aspersor, devolviéndola al colector una vez medida.
 - Se llevó a cabo un registro de cada volumen colectado.
 - Los colectores con muy poco volumen de agua son necesarios medirlos con una jeringa graduada.
8. Una vez teniendo los volúmenes de agua en el colector, estos son llevados al laboratorio de riego y drenaje junto con una muestra de agua de la pila, para proceder con la medición de pH y conductividad eléctrica (CE).
9. Se llevó un registro de datos de cada aplicación.

En cuanto a los datos recolectados en campo, serán evaluados de manera que se puedan determinar los análisis estadísticos correspondientes, y acorde a esos análisis tener una interpretación y descripción. Consecuentemente se realizaran curvas de titulación y se comprobaran la hipótesis escatimada, tomando acertadas decisiones comprobadas.

Se observaran ciertas variables en el cultivo a lo largo del ciclo para evaluar el efecto de la fertirrigación a través de la aspersión.



Figura 11. Bomba dosificadora de fertilizante.



Figura 12. Calibración de la bomba de pistón.



Figura 13. Recorrido del aspersor viajero y punto para el movimiento manual del mismo.



Figura 14. Medición de planta de la base del tallo a la Altura del ápice de la planta.



Figura 15. Evaluación del largo de la hoja, a una tercera parte del ápice hacia abajo.

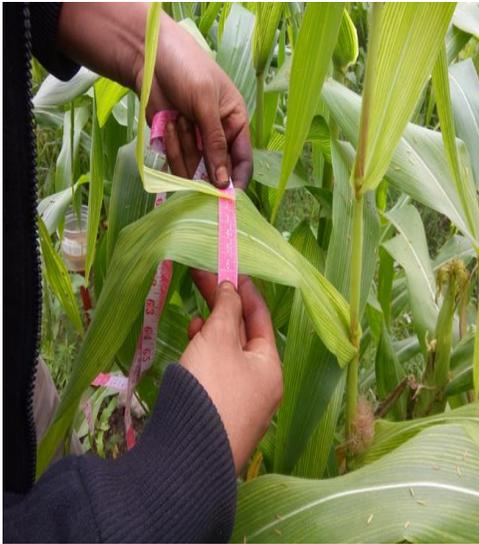


Figura 16. Evaluación del ancho de la hoja a una tercera parte de la unión con el tallo.



Figura 17. Registro de lectura del diámetro de la planta a 5 cm de la base del tallo.

3.12 Parámetros evaluados

Las variables agronómicas fueron elegidas al azar en la superficie de cada unidad experimental.

Altura de la planta

Diámetro del tallo

Numero de hojas por planta

Largo de la hoja

Ancho de la hoja

Peso del elote

Peso seco de la planta

Parámetros	Intervalo de medición (días)
Altura de la planta	Desde la primer fertirrigación cada 30 días
Ancho de la hoja	Desde la primer fertirrigación cada 30 días
Largo de la hoja	Desde la primer fertirrigación cada 30 días
Diámetro del tallo	Desde la primer fertirrigación cada 30 días
Numero de hojas	Desde la primer fertirrigación cada 30 días
Peso del elote	El 15 de noviembre
Peso del rastrojo	El 12 de diciembre

Cuadro 6. Intervalo de medición.

3.12.1 Altura de planta

Al momento de la primera aplicación del fertirriego se tomaron 4 plantas con una altura similar entre los surcos evaluados y se midió la altura de la planta, desde la base del tallo de la planta hasta la altura del ápice de la misma y su registro fue en centímetros.

3.12.2 Diámetro del tallo

Esta variable se midió a <una altura de 5 cm desde la base del tallo con un vernier para una mayor exactitud.

3.12.3 Numero de hojas por planta

Se llevó el registro del número de hojas, de hojas verdaderas de las 4 plantas seleccionadas, y su unidad se expresó en hojas/planta.

3.12.4 Largo de la hoja

Se midió el largo de la hoja ubicada a partir de una tercera parte de la planta de arriba hacia abajo, y su registro se expresó en centímetros.

3.12.5 Ancho de la hoja

Se midió el ancho de la hoja a un tercio del peciolo, seleccionando la hoja a una tercera parte de la planta del ápice apical hacia abajo.

3.12.6 Peso del elote

Se pesaron 5 mazorcas de 5 plantas en 1 m de surco y sus valores se promediaron en gramos/mazorcas.

3.12.7 Peso seco de la planta

Se cortó la planta del maíz en una longitud de 1 metro de longitud del surco y se peso, su registro fue en kg.

3.13 Diseño experimental

Para la evaluación estadística del proyecto, se utilizó el diseño de bloques al azar de parcelas divididas con 2 tratamientos en factor A y 5 tratamientos por factor B con 3 repeticiones, con ayuda del software Microsoft Excel se realizó el análisis de varianza en parcelas divididas.

IV. RESULTADOS

En la siguiente información se presentan los resultados obtenidos de la evaluación de variables observadas durante el ciclo del cultivo de Maíz, bajo factores de humedad, condiciones meteorológicas y edafología del lugar en que se llevó a cabo el proyecto en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

El registro de datos se apegó a las metodologías de evaluación que se tomaron dentro del área experimental en plantas con competencia completa, las observaciones son procesadas a través de un modelo estadístico que analiza la significancia de las variables de planta del maíz en respuesta al fertirriego.

A continuación, se presentarán cuadros y gráficas para apreciar la comparación del fertirriego entre la parcela dividida, posteriormente se pasó a la interpretación y discusión para continuar haciendo inferencia, predicciones y estimaciones para comprobar la hipótesis, deducir la conclusión y tomar decisiones.

4.1 Altura de la planta

En la figura 18 se aprecia el efecto del crecimiento de la planta en el cual en unas plantas tienen una diferencia en cuanto a su desarrollo, ya que la línea de crecimiento se cruza con las que se desarrollaron mejor. Si las líneas se juntan las respuestas son iguales y cuando se separan son diferentes.

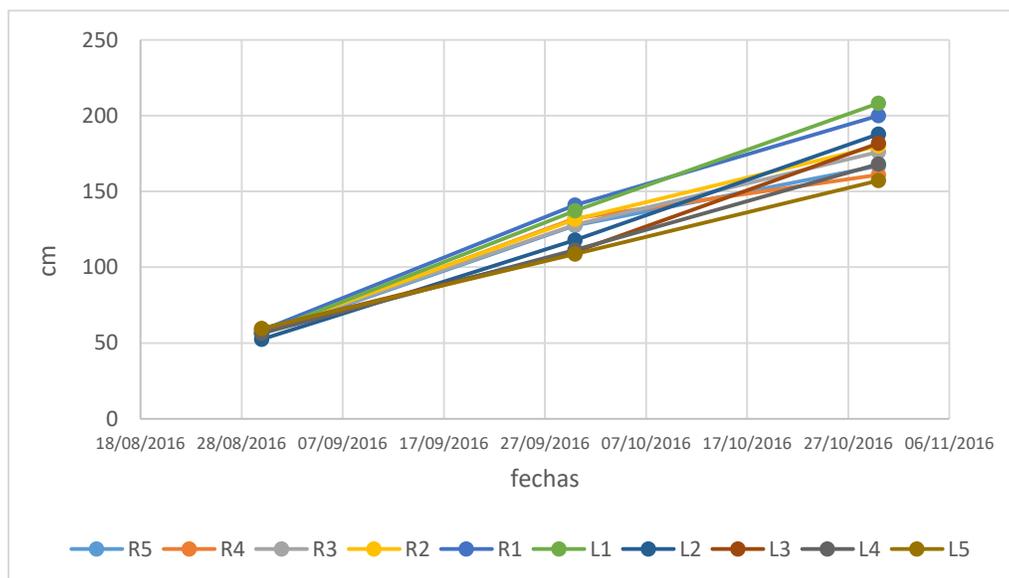


Figura 18. Crecimiento de altura de la planta analizada bajo la biometría de tres fechas.

4.1.1 Significancia de la altura final de la planta

En el cuadro 4.1. Se observa el análisis de varianza (ANVA) y los resultados que vinculan respuesta de las alturas de las plantas evaluadas bajo el método de bloques al azar. El análisis de varianza probó que las diferencias entre fechas fueron significativas aceptando la hipótesis alternante al 99%, dado que realmente si hubo un considerable crecimiento entre fechas evaluadas. Los resultados arrojados para los tratamientos del "factor A" que son los lados del patrón de aspersión es que no hay significancia ya que las evaluaciones tanto como del lado R y L se obtuvo una altura similar. En cuanto al factor B donde se concentran los colectores, el análisis estadístico fue que existe diferencia en respuesta a las dosis que variaron bajo el patrón de aspersión hipótesis alternante al 95%. La relación entre factores A y B se aconteció un resultado estadístico de no significancia ya que el vínculo de los colectores con la evaluación de la altura de las plantas presenta el mismo patrón.

Fuente de variación	G.L	S.C.	C.M	Fc	Ft al 5%	Ft al 1%	significancia estadística
Bloques fechas	2	74486.7	37243.4	152.20	19	99	**
Tratamientos "Factor A"	1	102.7	102.7	0.42	18.51	98.50	NS
Error A	2	489.4	244.7				
Colectores factor "B"	4	1642.5	410.6	4.62	3.01	4.77	*
Interacción A*B	4	64.4	16.1	0.18	3.01	4.77	NS
Error B	16	1421.2	88.8				
Total	29	78206.9					

(*) Acepto la hipótesis alternante al 95% (**) Acepto la hipótesis alternante al 99% (NS) No hay diferencia entre media de tratamientos

Cuadro 7. Resultados de análisis de varianza de alturas de la planta.

La altura de planta se relacionó con la dosis aplicada obteniendo respuestas más crecientes donde se concentró más dosis aplicada, obteniendo una línea de tendencia de segundo orden con una eficiencia del 94%. En cuanto a la dosis se aprecia que donde se aplicó una dosis de 3.66 gr/m², obtuvo una mejor respuesta por parte de la planta en comparación con la planta siguiente que tenía una dosis de 4.86 gr/m², esto se debió en gran parte por la cantidad de abono que se concentraba en esa área (figura 19).

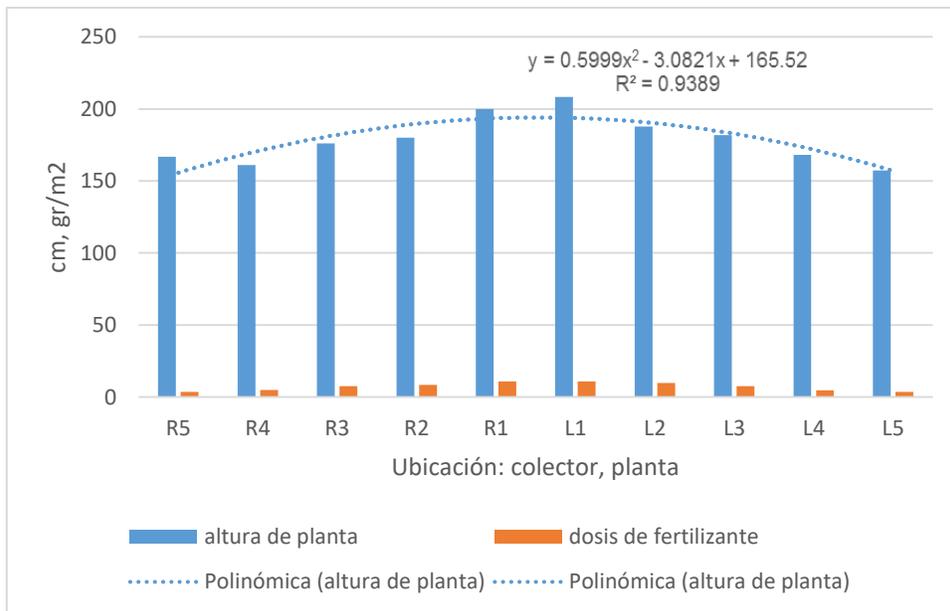


Figura 19. Efecto de la dosis (gr. de fertilizante por m²) en la altura de planta.

4.2 Diámetro del tallo de la planta

En la figura 20 se aprecia el diámetro de las plantas, observado una tendencia ascendente de acuerdo a las fechas en las que se llevó el registro de datos, a continuación se muestran los valores de los diámetros de tallo de las plantas en las fechas observadas, examinando que en el primer muestreo los diámetros eran similares, en el segundo se notaron los cambios de acuerdo al patrón de aspersión y en el tercer registro se notaron grandes cambios entre plantas inducidos por las dosis

de fertilizante aplicadas en la pluviometría del aspersor viajero que variaron de 23 mm a 35 mm de grosor de tallo.

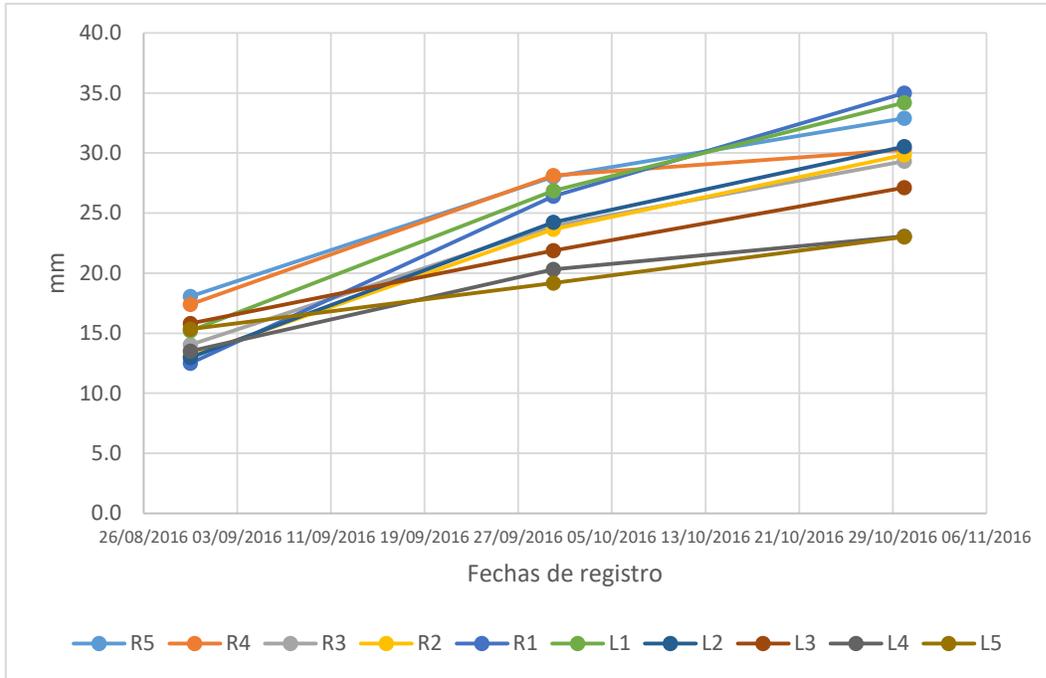


Figura 20. Diámetro del tallo en tres fechas establecidas respondiendo al fertirriego.

4.2.1 Significancia del diámetro del tallo de las plantas

En el cuadro 8 el análisis de varianza probó que las diferencias entre fechas fueron significativas, aceptando la hipótesis alternante al 95%. Los resultados arrojados para los tratamientos del “factor A” que son los lados R y L de la parcela es que no hay significancia ya que las evaluaciones fueron similares en su crecimiento. En cuanto al factor B donde se concentran los colectores, el análisis estadístico fue que no existe diferencia significativa entre colectores. La relación entre factores A y B se aconteció un resultado estadístico de no significancia ya que el vínculo de los colectores con la evaluación del diámetro del tallo de las plantas presenta el mismo patrón.

Fuente de variación	G.L	S.C.	C.M	Fc	Ft al 5%	Ft al 1%	significancia estadística
Bloques fechas	2	1076.1	538.1	72.1	19	99	*

Tratamientos "Factor A"	1	41.8	41.8	5.6	18.51	98.50	NS
Error A	2	14.9	7.5				
Colectores factor "B"	4	41.3	10.3	1.5	3.01	4.77	NS
Interacción A*B	4	71.7	17.9	2.6	3.01	4.77	NS
Error B	16	108.5	6.8				
Total	29	1354.3					

(*) Acepto la hipótesis alternante al 95% (**) Acepto la hipótesis alternante al 99% (NS) No hay diferencia entre media de tratamientos

Cuadro 8. Resultados de análisis de varianza de diámetro del tallo de las plantas observadas.

En la figura 21 se puede apreciar que el diámetro del tallo fue mayor en el lado derecho (R's) del patrón de aspersión que en el lado izquierdo (L's), ya que en esa área se concentraba una mayor cantidad de abono a diferencia del otro lado del recorrido del aspersor viajero.

Una importante observación es que la dosis aplicada a razón de 3.66 gr/m² produjo mayor respuesta que la dosis de 4.86 gr/m² y también tuvo un mejor desarrollo que la dosis de 7.48 gr/m², esto probablemente debido a que recibieron una cantidad de nutrimento mayor que el requerido bajo la influencia de los factores ambientales. El ajuste de regresión cuadrática mostró que un 48 % de la variación de crecimiento esta explicada por la variación en las dosis.

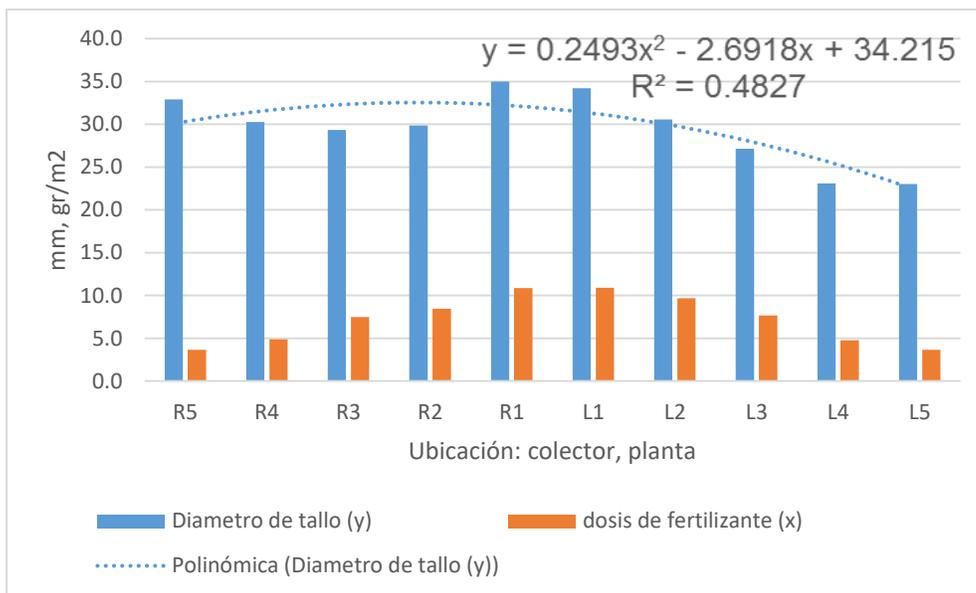


Figura 21. Efecto de la dosis (gr. de fertilizante por m²) en el diámetro del tallo.

4.3 Número de hojas en plantas

El número de hojas verdaderas de las plantas tuvo una tendencia progresiva ascendente conforme a las fechas en las que se llevó el registro de datos, de 6 a 13 hojas en las plantas que recibieron dosis más bajas en el orden de 3.66 gr/m² y de 7 a 14 hojas en las plantas que recibieron la mayor dosis en el orden de 10.86 gr/m², se manifestó un retraso en el desarrollo que limitó la aparición de hojas en las plantas más alejadas del patrón de aspersión, como se muestra en la figura 22.

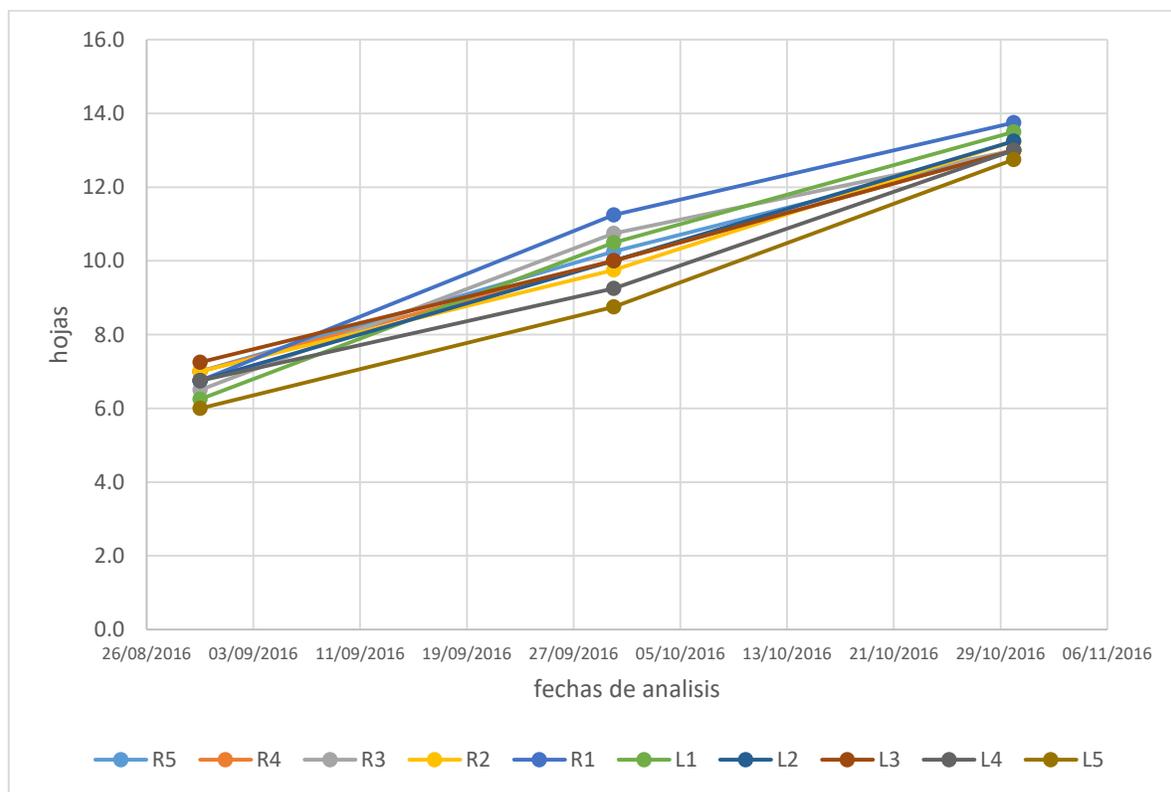


Figura 22. Número de hojas en tres fechas establecidas respondiendo a la dosis aplicada.

4.3.1 Significancia del número de hojas de las plantas

En el cuadro 9 el análisis de varianza probó que las diferencias entre fechas fueron significativas, aceptando la hipótesis alternante al 99% dado que realmente si hubo un

considerable aumento en el número de hojas entre las tres fechas. Los resultados arrojados para los tratamientos del “factor A” que son los lados del área tratada es que no hay significancia ya que las evaluaciones tanto del lado R como del lado L fueron similares en su crecimiento. En cuanto al factor B donde se concentran los colectores, el análisis estadístico no encontró diferencia significativa, ya que hubo poca variación en el número de hojas en las plantas observadas. La interacción entre factores A y B estadísticamente no es significativa y lo mismo para los colectores del factor B al 5% y 1% de error, también el análisis de correlación indicó que las dosis de fertilizante no afectó el número de hojas, lo cual se discute en el siguiente párrafo.

Fuente de variación	G.L	S.C.	C.M	Fc	Ft al 5%	Ft al 1%	significancia estadística
Bloques fechas	2	206.5	103.2	423.6	19	99	**
Tratamientos "Factor A"	1	0.9	0.9	3.8	18.51	98.50	NS
Error A	2	0.5	0.2				
Colectores factor "B"	4	1.7	0.4	2.5	3.01	4.77	NS
Interacción A*B	4	0.9	0.2	1.3	3.01	4.77	NS
Error B	16	2.7	0.2				
Total	29	213.2					

(*) Acepto la hipótesis alternante al 95% (**) Acepto la hipótesis alternante al 99% (NS) No hay diferencia entre media de tratamientos

Cuadro 9. Análisis de varianza para número de hojas en plantas de maíz.

En figura 23 se puede apreciar que al variar las dosis concentradas varia muy poco el número entero de hojas desarrolladas en la planta, ajustándose esta tendencia a un patrón en forma de parábola para esta variable, con la regresión se estimaron crecimientos de 13, 13 y 13 hojas en respuesta a las dosis de 3.66 gr/m², 4.88 gr/m² y 10.86 gr/m² respectivamente lo cual permite inferir que el número de hojas en esas plantas fue estadísticamente similar deduciendo que esta característica morfológica está dominada por la herencia genética.

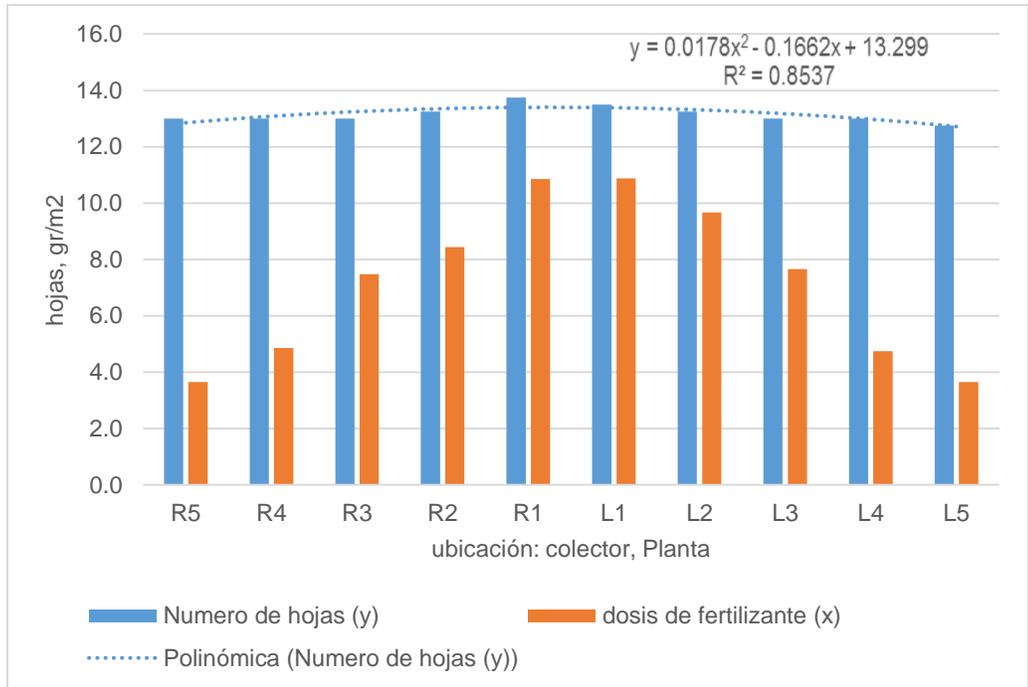


Figura 23. Efecto de la dosis (gr. de fertilizante por m²) en el número de hojas.

4.4 Área foliar de la planta

Se observa que el área de las hojas aumenta conforme crece la planta menos en las primeras fechas del muestreo y más en las últimas, cuando se elevaron las cantidades de fertilizante después de hacer 4 aplicaciones (Figura 24).

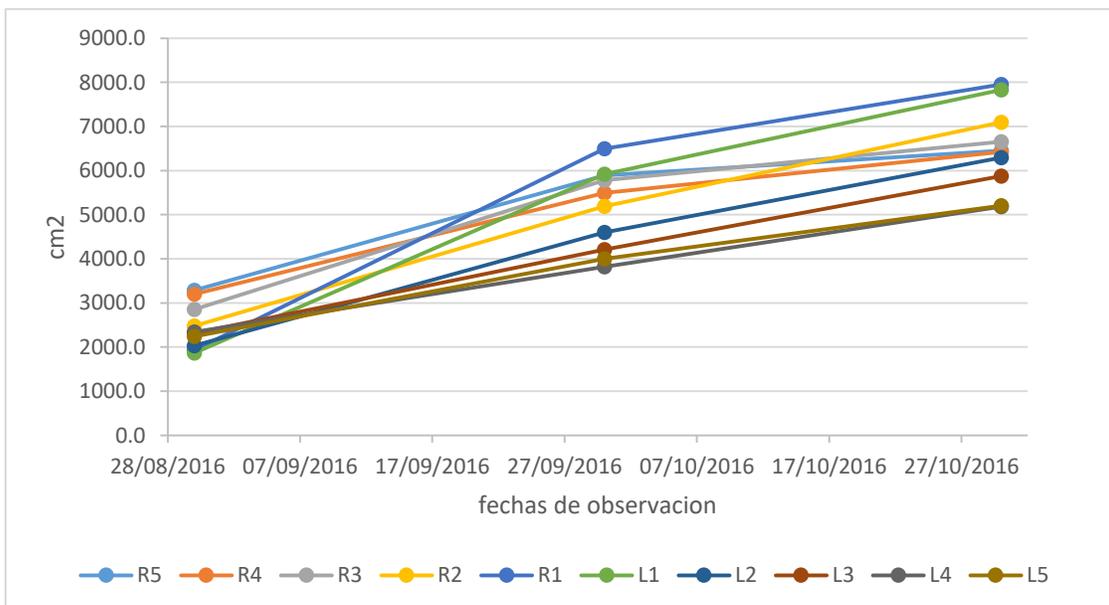


Figura 24. Área foliar en tres fechas establecidas.

4.4.1 Significancia del área foliar

En el cuadro 10 el análisis de varianza probó que las diferencias entre fechas fueron significativas, aceptando la hipótesis alternante al 99%, dado que realmente si hubo un considerable aumento en la concentración de área foliar entre las tres fechas. Los resultados arrojados para los tratamientos del “factor A” que son los lados de la parcela es que existe significancia, teniendo más incremento en área foliar en el lado A aceptando la hipótesis al 95%. En cuanto al factor B donde se concentran los colectores, el análisis estadístico fue que no existe diferencia ya que el área foliar reacciona en cuanto a la dosis inyectada. La relación entre factores A y B aconteció un resultado estadístico de no significancia ya que el vínculo de la dosis en los colectores con el resultado de área foliar de las plantas presenta el mismo patrón de crecimiento.

Fuente de variación	G.L	S.C.	C.M	Fc	Ft al 5%	Ft al 1%	significancia estadística
Bloques fechas	2	84626837.6	42313418.8	149.5	19	99	**
Tratamientos "Factor A"	1	6029187.4	6029187.4	21.3	18.51	98.50	*
Error A	2	566118.6	283059.3				
Colectores factor "B"	4	3192046.0	798011.5	1.8	3.01	4.77	NS
Interacción A*B	4	1314174.3	328543.6	0.7	3.01	4.77	NS
Error B	16	7014319.4	438395.0				
Total	29	102742683.3					

(*) Acepto la hipótesis alternante al 95% (**) Acepto la hipótesis alternante al 99% (NS) No hay diferencia entre media de tratamientos

Cuadro 10. Resultados del Análisis de varianza

En la figura 25 se aprecia como el área foliar promediado de 4 plantas es relacionada con la ubicación del colector, donde las plantas ubicada del lado R en la concentración de dosis 3.66 gr/m² y 4.86 gr/m², no hubo congruencia ya que la menor dosis aplicada fue la que mayor obtuvo respuesta, del lado de las L en la concentración de 3.65 gr/m² y 4.75 gr/m² la de menor dosis fue la que obtuvo mayor área foliar, se trazó la línea polinómica de segundo orden con una correlación del 74% para la variable de área foliar en relación con las dosis.

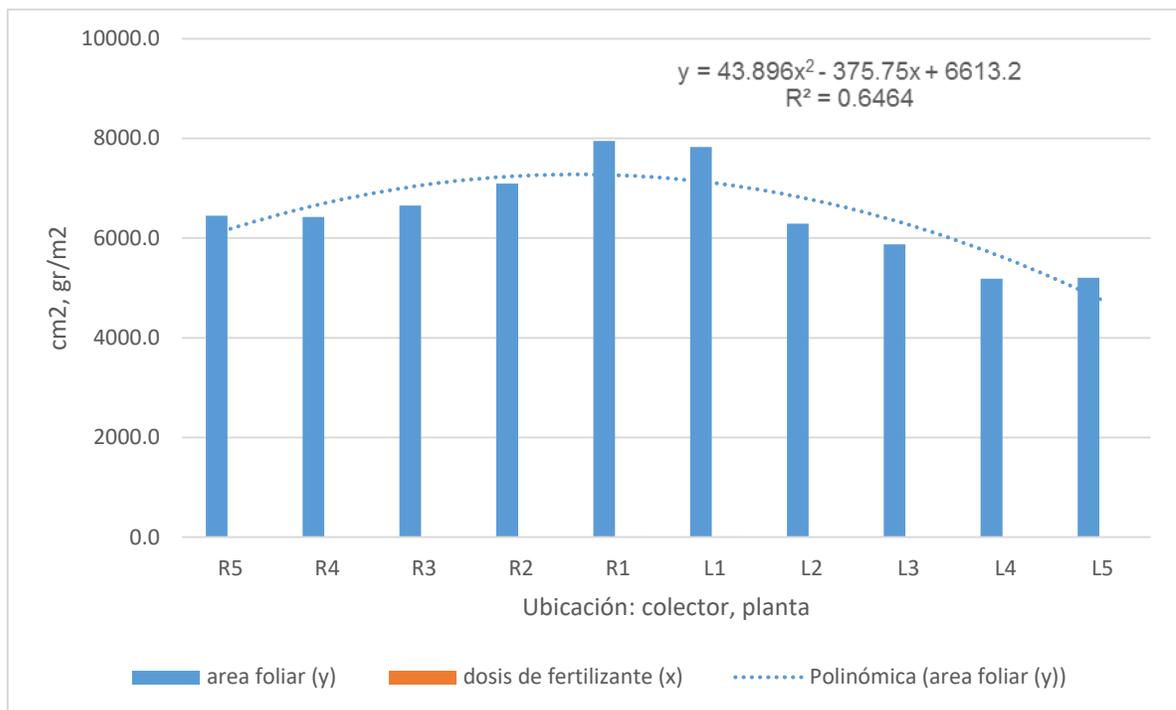


Figura 25. Efecto de la dosis (gr. de fertilizante por m²) en el área foliar.

4.5 Peso del elote cosechado en las plantas

El peso promedio del elote con hoja de un solo corte en 5 plantas evaluadas mostró diferencias altamente significativas en respuesta a la dosis (factor B), y no mostro significancia en el factor A como se muestra en el cuadro 4.12 del ANOVA.

Se aprecia la tendencia de los pesos de los elotes cortados en 4 plantas por surco, observando una curva de respuesta asociada a la dosis aplicada, el peso fue de 274,

289, 306, 333 y 402 gr/elote al variar la dosis en 3.65, 4.75, 7.66, 9.67 y 10.68 gr/m², respectivamente (Figura 26).

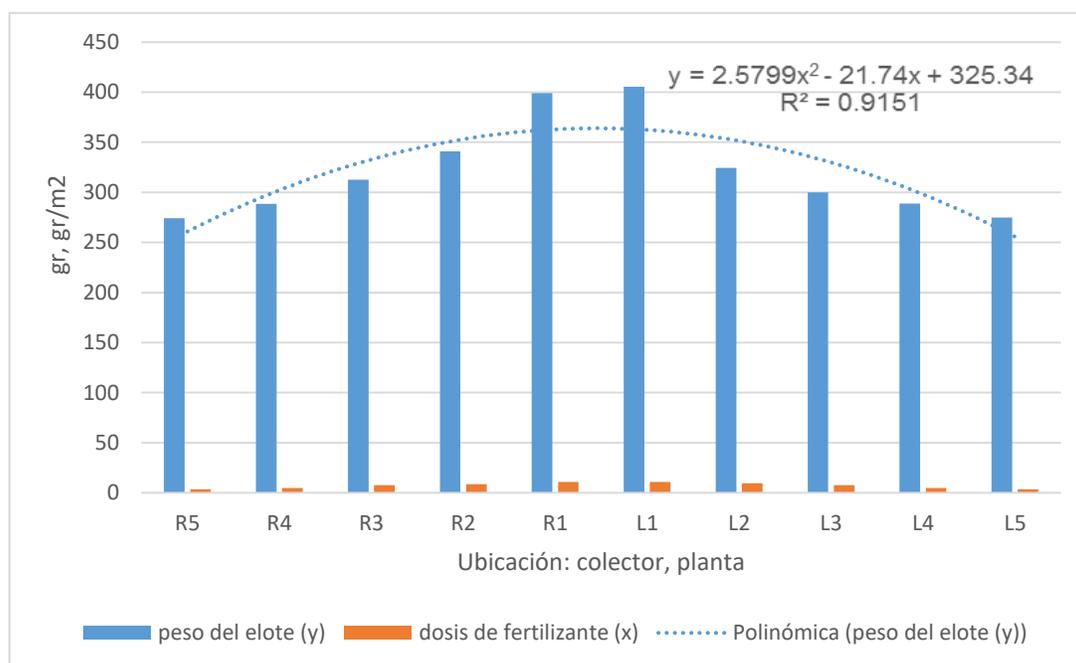


Figura 26. Efecto de la dosis (gr. de fertilizante por m²) en el peso de elote.

4.5.1 Significancia de los pesos del elote con hoja

De acuerdo al cuadro 11, el análisis estadístico no encontró significancia en cuanto a las repeticiones que son las 5 plantas muestreadas. Por otra parte, el factor A no fue significativo porque en ambos lados de la parcela, el patrón de pluviometría no sufrió variaciones apreciables ocasionadas por el viento. El factor B fue altamente significativo ya que las dosis de fertilizante aplicadas por el aspersor viajero, incrementaron el peso del elote. En la interacción no existe significancia ya que $F_c < F_\alpha$.

Fuente de variación	G.L	S.C.	C.M	Fc	Ft al 5%	Ft al 1%	significancia estadística

Bloques plantas	4	19692.032	4923.008	3.31315072	6	16	NS
Tratamientos "Factor A"	1	230.6952	230.6952	0.15525629	7.71	21.20	NS
Error A	4	5943.5968	1485.8992				
Colectores factor "B"	4	101563.43	25390.8575	15.7083505	2.67	3.97	**
Interacción A*B	4	952.1108	238.0277	0.14725862	2.67	3.97	NS
Error B	32	51724.5552	1616.39235				
Total	49	180106.42					

(*) Acepto la hipótesis alternante al 95% (**) Acepto la hipótesis alternante al 99% (NS) No hay diferencia entre media de tratamientos

Cuadro 11. Resultados del Análisis de varianza.

4.6 Peso seco de la planta

En la figura 27 se aprecia el valor del peso del rastrojo en 1 metro en cada surco, observando el peso como se fue distribuyendo en la parcela, se percibe que en donde se concentra la dosis de 10.86 gr/m² y 10.88 gr/m² el peso obtuvo una diferencia de 1 kg, un valor considerable en comparación con los demás valores, en el peso del rastrojo se tiene una línea de tendencia de segundo grado con una r² de .81.

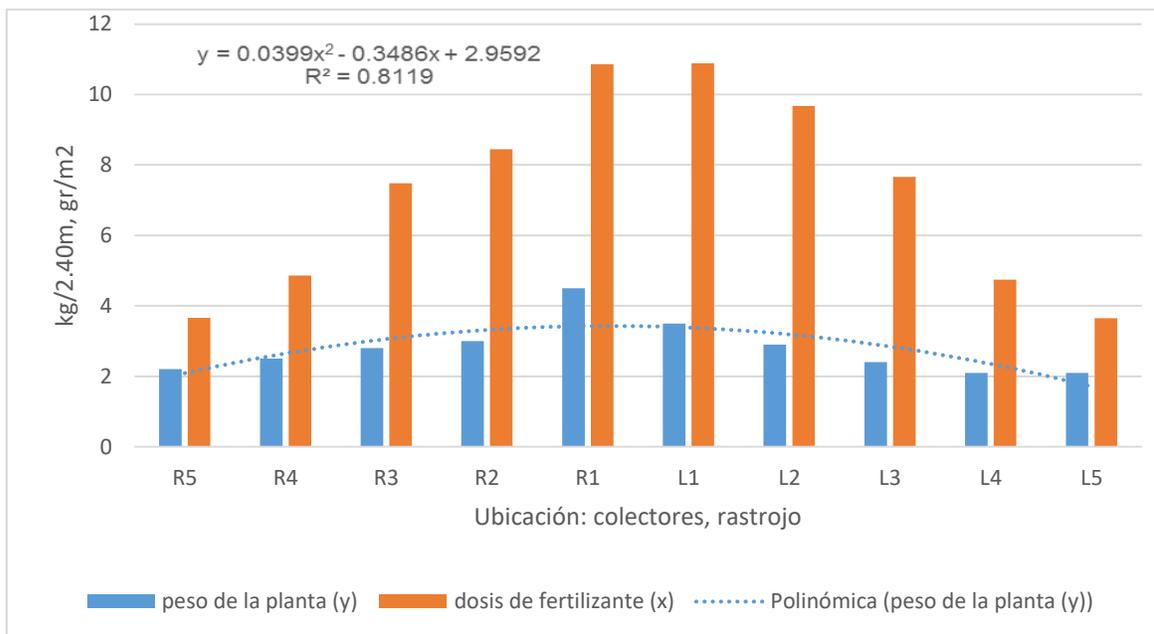


Figura 27. Efecto de la dosis (gr. de fertilizante por m²) en el peso del rastrojo.

V. DISCUSION

En los resultados anteriores no se mostraron diferencias significativas respecto al número de hojas, lo cual coincide con lo descrito por Bush (2005), quien también reporto resultados negativos en cuanto al número de hojas con la aplicación de N en plantas de maíz, además Muchow (1968), menciona que no se encuentran resultados positivos con la aplicación de N en el número de hojas pero si, un incremento en la expansión de las hojas.

Lo anterior apoya los resultados obtenidos en área foliar (AF), en donde esta variable presento valores más altos en plantas con mayor dosis de N debido a lo descrito por Guerrero (1996) en donde describe que plantas con menos nitrógeno, son menos vigorosas y presentan hojas pequeñas con un efecto amarillento en la punta y poco a poco se va extendiendo por la nervadura.

La altura de la planta es mayor en plantas con más dosis de fertilizante y esto se le puede atribuir a lo mencionado por Potash & Phosphate Institute (1997), quien describe que el fosforo toma un papel importante en la fotosíntesis, así como en la respiración, almacenamiento y transferencia de energía, la división y crecimiento celular y otros procesos que se llevan a cabo en la planta. Lo anterior nos indica que en presencia de este elemento la planta tendrá capacidad de crecer favorablemente.

El nitrógeno inorgánico suele acumularse en los tallos de la planta y en tejidos conductivos en forma de nitrato (NO_3^-), mientras que el orgánico esta como proteínas de alto peso molecular Jones (1998). Así también el nitrógeno tiene gran influencia en el rendimiento y calidad de las cosechas, considerándose así un elemento de suma importancia, ya que de él dependen las proteínas contenidas en el grano Guerrero (1996), lo cual explica los resultados obtenidos en el peso del fruto, en donde se alcanzaron diferencias significativas con la aplicación de nitrógeno en plantas con mayor dosis de este elemento.

VI. CONCLUSIONES

Las plantas fertirrigadas con el aspersor viajero dieron una respuesta de alargamiento en las diferentes variables por efecto de las dosis aplicadas, las plantas que se encontraban cercanas al recorrido del aspersor viajero, obtuvieron mayor crecimiento y producción en altura de planta, pesos del elote y peso de rastrojo medidas a final del ciclo, sin embargo las diferencias en el grosor del tallo, área foliar y número de hojas no fueron significativas. Algunas de las plantas que se encontraban más alejadas al patrón de mojado mostraron un poco de deficiencias, se notaban más amarillentas, además este método de riego no es altamente eficiente para la aplicación de fertirriego, ya que los factores como la velocidad del viento, la presión de operación y el desplazamiento sobre la ruta afectaron la lámina colectada y la cantidad de fertilizante.

En este estudio se comprobó que al fertirrigar con un aspersor viajero sin traslape entre rutas se tienen diferentes dosis de fertilizante bajo el patrón de aspersion, las cuales fueron aprovechadas para evaluar las respuesta del maíz a la aplicación foliar de dos fertilizantes NPK a una concentración de 0.41 gr/L.

En general las respuestas de crecimiento de las plantas debido a la dosis aplicada por el aspersor dependen mucho de la cantidad de agua que se aplique al fertirrigar.

La altura de las plantas fue de: 204, 183, 78, 164 y 162 cm; el peso del elote fue de: 402, 332, 306, 288 y 274 gr/elote y el peso del rastrojo fue de: 4, 3, 2.6, 2.3 y 2.15 kg/1 m de surco en respuesta a la dosis de: 10.88, 9.67, 7.66, 4.75 y 3.65 gr fertilizante/m² respectivamente.

VII. BIBLIOGRÁFICAS

ABCAGRO s.f. Agroinformación – maíz. Cultivo y manejo. Disponible en: <http://www.abcagro.com/herbaceos/cereales/maiz.asp>. Consultado el 8 de noviembre de 2017.

Abura, L. 2001. “Growth curves as a tool to understanding maize production in Uganda”. M. Sc. Thesis, Faculty of Agriculture, The Hebrew University of Jerusalem, Rehovot.

Aldape J. 1995. Fertilización Nitrogenada Y Fosfórica De Maíz Criollo (*Zea mays*) Variedad Blanco Olote Colorado En Riego Y Riego Limitado. Verano 1984, Ejido San Rafael, Linares, N.L. Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Nuevo Leon, Marin, Nuevo Leon.

Andrade F. A. Cirilo, S. Uhart y M. Otegui. 1996. Ecofisiología del cultivo del maíz. Editorial La Brrosa-Dekalb Press.

Andre, M., D. Massimino y A. Dagueuet. 1978. “Daily pattern under the life cycle of a maize crop II. Mineral nutrition, root respiration and root excretion”. *Physiol. Plant.*, 44:197-204.

Bar-Yosef, B. 1991. Fertilization under drip irrigation. In: *Fluid Fertilizer science and Technology*. Palgrave, D.A. (Ed). Marcel Dekker, Inc. New York. Pp 285-329.

Burt, C., K. O'Connor and T. Ruehr. 1998. Fertigation. The Irrigation Training and Research Center, California Polytechnic State University, San Luis Obispo, CA.

Burt, C.M., K. O'Connor and T. Ruehr. 1995. Fertigation. Published by the ITRC, Cal Poly, San Luis Obispo, CA. ISBN 0-9643634-1-0. 326 p.

CADAHÍA, C. 2005. Fertirrigación.: cultivos hortícolas, frutales y ornamentales. 3 ed. Madrid, ES. Mundi-Prensa. 683 p.

Carlone, M. y Russell, W. 1987. Response to plant densities and nitrogen levels for four maize cultivars from different eras of breeding. *Crop Sci* N°. 27 US. pp. 465 – 470.

Comision Nacional de Biodiversidad (CONABIO), 2010. Consultado 01-11-2017 en <http://www.biodiversidad.gob.mx/usos/maices/maiz.html>.

Cubero, J. 2003. Introducción a la mejora genética vegetal. Córdoba, AR. Mundi-Prensa. p. 80.

Dominguez V. A. 1993. Fertirrigación. Mundi-Prensa. Madrid, España.

García, F. 2011. Criterios para el manejo de la fertilización del cultivo de maíz. Buenos Aires, AR. p.4.

Gómez, J., 1990. Programación y manejo del riego y abonado en frutales. ITEA, 86V(3), pp.155–166.

GRUPO LATINO. 2007. Control de plagas y enfermedades de los cultivos. Bogotá, CO. p. 125.

Hagin, J., M. Sneh y A. Lowengart-Aycicegi. 2002. “Fertigation – Fertilization through irrigation”. IPI Research Topics N° 23. Ed.: A. E. Johnston. International Potash Institute, Basilea (Suiza).

INFOAGRO s.f. Agricultura. El cultivo del maíz. 1ª parte. – Disponible en: www.infoagro.com/herbaceos/cereales/maiz.asp. Consultado el 8 de noviembre de 2017.

INIAP (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias). 2009. Manejo de nutrientes por sitio específico y densidades de siembra con labranza de conservación en el cultivo de maíz. Informe anual del Departamento de Manejo de Suelos y Aguas de la Estación Experimental Santa Catalina. Quito, EC. p. 9.

ISQUISA. 2007. Sulfato de amonio. Ficha técnica. Disponible en: www.isquisa.com/site/files/productos.Sulfato_de_Amonio.pdf.

Kafkafi, U. y Tarchitzky, J. 2012. Fertirrigacion. Una herramienta para una eficiente fertilización y manejo del agua (1ª ed.). Paris, Francia.

Kannan, S. 1980. Mechanism of foliar uptake of plant nutrients; accomplishments and prospects journal of plant nutrition, 2(6), 717-735 pp.

FACIAG (Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Técnica de Babahoyo, EC.) 1991. Manual agrícola.

LAZCANO, F. I.: Estratificación de nitrógeno, fósforo y potasio en suelos agrícolas, utilizando sistemas de fertirrigación. En: III Simposium Internacional de fertirrigación, México, 1998.

Melgar, R. 2005. “aplicación foliar de micronutrientes” (En línea) disponible en: <http://www.fertilizando.com/articulos/Aplicacion%20Foliar%20de%20Micronutrientes.asp>.

Melgar, R. y Torres, D. 2006. Manejo de la fertilización en maíz. (En línea). Disponible en: <http://www.elsitioagricola.com/articulos/melgar/Manejo%20de%201a%20Fertilizacion%20en%20Maiz%20-%202003.asp>. (Consultado el 13 de noviembre de 2017).

Mestanza, S. 2005. Funciones y efectos que causa el azufre en las plantas. In. Manual de fertilización y nutrición vegetal. Universidad Técnica de Babahoyo, Facultad de Ciencias Agrarias. Ingeniería Agropecuaria. EC. p 3.

Muchow, R.C. 1988. Effect of nitrogen supply on comparative productivity of maize and sorghum in a semi-arid tropical environment. I Leaf growth and leaf nitrogen. Field Crops Res. 18: 1-16

Muñoz, P. D., y R. G. Hernández. 2004. Situación actual y perspectiva del maíz. 2004. Sistema de información y estadística agroalimentaria y pesquera (SIAP). SAGARPA. Mexico, D. F. 136 p.

Océano, 1994. Biblioteca Práctica Agrícola y Ganadera. Océano. 60 Barcelona, ES. p. 87.

Paliwual R. L. s.f. Introducción al maíz y su importancia (En línea). Depósito de documentos de la FAO. Producido por el Departamento de Agricultura. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/003/X7650S/x7650s02.htm#TopOfPage> (Revisado el 21 de enero del 2013).

Pizarro, F., 1987. Riegos localizados de alta frecuencia: goteo, microaspersión y

exudación, Madrid: Mundiprensa.

Potash & Phosphate Institute. 1997. Manual Internacional de Fertilidad de Suelos. Georgia. USA.

Primary Industries: Agriculture. 2000. Horticultural fertigation- techniques, equipment and management. Industry and Investments. New South Wales, Australia.

Reyes, W. 2000. Respuesta del maíz (*Zea mays* L.) híbrido triple DK- XL - 888 a la fertilización con N, P, K y Zn en la zona de Babahoyo. Tesis de Ing. Agr. Facultad de Ciencias Agrarias de la UTB. Babahoyo, EC. p. 67.

Ruíz et al. 1999. Requerimientos agroecológicos de cultivos. Jalisco, MX. p. 142.

Salvador, R. 2001. El Maíz. Programa Nacional de Etnobotánica de la Universidad Autónoma de Chapingo, MX. p. 2.

SAMUEL, S. R; M. AGUILERA y H. ESTAY: Manual Básico de fertirriego, Libro Azul, 2001.

Santiago, L. E. J. 2016. Modelado y evaluación pluviométrica de un gran aspersor viajero. Tesis de licenciatura, Universidad autónoma agraria Antonio narro, Saltillo, Coahuila.

SIAR, 2005. Fertirrigacion. Albacete, España.
<http://crea.uclm.es/siar/publicaciones/files/HOJA11.pdf>

Sne, M. 2006. Micro irrigation in arid and semi-arid regions. Guidelines for planning and design. Ed.: S. A. Kulkarni. ICID-CIID. International Commission on Irrigation and Drainage, Nueva Delhi (India).

Terán, G. 2008. Corrección del anteproyecto de tesis “comportamiento de tres híbridos de maíz duro (*Zea mayz* L.) con cuatro niveles de fertilización en la parroquia la Concepción, cantón Mira.”

VIII. ANEXOS

Datos de las alturas en plantas en 3 fechas.

Lado	Fechas de muestreo		
	30/08/2016	30/09/2016	30/11/2016
R5	56	127.5	166.75
R4	56.25	132.25	161
R3	57	128	176
R2	57	131.5	180
R1	58.25	141	200
L1	56.5	137.25	208.25
L2	52.5	118	187.75
L3	59.25	110.25	181.75
L4	56.5	111.5	168
L5	59.5	108.75	157.25

Datos del diámetro de tallo de las plantas en 3 fechas.

Lado	30/08/2016	30/09/2016	30/10/2016
R5	18.1	28.0	32.9
R4	17.4	28.1	30.3
R3	14.0	24.0	29.3
R2	13.1	23.7	29.9
R1	12.5	26.4	35.0
L1	15.2	26.9	34.2
L2	13.0	24.2	30.6
L3	15.8	21.9	27.1
L4	13.5	20.3	23.1
L5	15.3	19.2	23.0

Datos del número de hojas en plantas en 3 fechas.

Lado	30/08/2016	30/09/2016	30/10/2016
R5	7.0	10.3	13.0
R4	7.0	10.0	13.0
R3	6.5	10.8	13.0
R2	7.0	9.8	13.3
R1	6.8	11.3	13.8
L1	6.3	10.5	13.5
L2	6.8	10.0	13.3
L3	7.3	10.0	13.0
L4	6.8	9.3	13.0
L5	6.0	8.8	12.8

Datos del área foliar en plantas en 3 fechas.

Lado	30/08/2016	30/09/2016	30/10/2016
R5	3287.9	5892.8	6451.3
R4	3201.0	5495.4	6423.4
R3	2855.2	5779.8	6651.9
R2	2476.0	5189.3	7093.9
R1	1932.6	6493.8	7949.6
L1	1864.4	5922.2	7826.8
L2	2029.1	4601.9	6290.7
L3	2311.1	4208.4	5874.4
L4	2338.1	3822.7	5186.4
L5	2242.4	4002.5	5203.9

Datos del peso del elote a 1 corte.

Lado	Plantas				
	r1	r2	r3	r4	r5
R5	299.5	234.6	256.9	301.5	278.2
R4	289.7	301.8	287.5	277.3	285.8
R3	344.2	332.2	282.7	299.2	304.7
R2	338.2	451.4	348.1	278	289.2
R1	435.2	410.8	368.9	396.9	383.2
L1	479.1	434.5	334.8	326.4	452.3
L2	390.9	361	337.7	267.1	266
L3	312.5	268.9	336.4	220	361.8
L4	301.6	298	309.3	256.8	278.3
L5	259.2	297.5	236.8	279.8	301.6

Datos del peso del rastrojo.

Lado	peso (Kg)
R5	2.2
R4	2.5
R3	2.8
R2	3
R1	4.5
L1	3.5
L2	2.9
L3	2.4
L4	2.1
L5	2.1

Dosis colectadas en 100 cm² y 1 m².

dosis

<i>Lado</i>	gr/cm ²	gr/m ²
<i>R5</i>	0.04	3.66
<i>R4</i>	0.05	4.86
<i>R3</i>	0.07	7.48
<i>R2</i>	0.08	8.44
<i>R1</i>	0.11	10.86
<i>L1</i>	0.11	10.88
<i>L2</i>	0.10	9.67
<i>L3</i>	0.08	7.66
<i>L4</i>	0.05	4.75
<i>L5</i>	0.03647541	3.64754098