

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



**“COMPARACIÓN DE LA FERTILIZACIÓN TRADICIONAL
CON LA FERTILIZACIÓN A BASE DE SILICIO EN LA
PRODUCCIÓN DE MAÍZ”**

PRESENTA:

JOSE ANTONIO PUENTES GAMEZ

TESIS PROFESIONAL
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA
OBTENER EL TÍTULO

DE:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

TESIS QUE PRESENTA:

JOSE ANTONIO PUENTES GAMEZ

ELABORADA BAJO LA SUPERVISIÓN DEL COMITÉ DE ASESORÍA Y
APROBADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

Aprobada por:

ASESOR PRINCIPAL:


M.C. CARLOS EFREN RAMÍREZ CONTRERAS

ASESOR:


DR. JORGÉ LUIS VILLALOBOS ROMERO

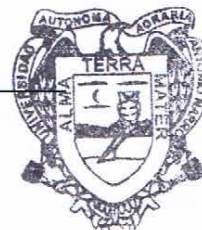
ASESOR:


M.C. JOSÉ GUADALUPE GONZALEZ QUIRINO

ASESOR:


M.C. EDGAR RAMIREZ HORTA


M.C. VICTOR MARTINEZ CUETO



COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO

FEBRERO DE 2016

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

**COMPARACIÓN DE LA FERTILIZACIÓN TRADICIONAL CON LA
FERTILIZACIÓN A BASE DE SILICO EN LA PRODUCCIÓN DE MAIZ.
TESIS QUE PRESENTA:**

JOSÉ ANTONIO PUENTES GAMEZ

**QUE SOMETE A CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR
PARA OBTENER EL TITULO DE:**

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

PRESIDENTE:



M.C. CARLOS EFREN RAMÍREZ CONTRERAS

VOCAL:



DR. JORGE LUIS VILLALOBOS ROMERO

VOCAL:



M.C. JOSÉ GUADALUPE GONZALEZ QUIRINO

VOCAL SUPLENTE:



M.C. EDGAR RAMIREZ HORTA



M.C. VICTOR MARTINEZ CUETO

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO

FEBRERO DE 2016

DEDICATORIAS

A Dios por haberme acompañado, guiarme a lo largo de mi carrera, ser mi fortaleza en los momentos de debilidad, brindarme una vida llena de aprendizaje, experiencia y sobretodo felicidad, **a la vida** por permitirme lograr esta etapa en mi vida.

El presente trabajo, es esfuerzo de sacrificio constante, obstáculos que vencer, lo dedico, con amor, respeto y agradecimiento muy especial a:

A MIS PADRES: Sr. Juan Santiago Puentes Ruiz Y Sra. Manuela Gámez Castro.

Por darme lo más hermoso de este mundo que es la vida, su amor, paciencia, comprensión, enseñanza, y su apoyo incondicional para tener una formación profesional.

A MI FAMILIA: A mis hermanos Juan Manuel, Roció e Issabela por su apoyo incondicional, brindarme su cariño, estar siempre conmigo en los momentos bueno y malos de mi vida.

Gracias a todos son la mejor familia, lo más hermoso y preciado, estoy agradecido con ustedes, sin su ayuda no hubiese logrado mi formación profesional. En general a mis abuelos, tíos, tías, primos y primas, gracias por sus consejos, apoyo moral y sentimental que me han brindaron en esta etapa de mi vida.

A MI ESPOSA: María de Jesús Reyes Castro y a mi hija María Fernanda Puentes Reyes, por todo el apoyo y comprensión.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Laguna, por permitirme terminar mis estudios, darme una carrera que es una meta que tenía, gracias a mi alma terra mater.

Al M. C. Carlos Efrén Ramírez Contreras, por su amistad y sobre todo por ser quien me guio en esta etapa final de mi vida.

Al Dr. Jorge Luis Villalobos Romero, por su apoyo y colaboración en el proyecto de investigación, además de su honorable amistad

Al M.C. José Guadalupe González Quirino, por su apoyo y colaboración en la elaboración de mi tesis.

Al M.C. Edgar Ramírez Horta, por su apoyo y compartir sus conocimientos, amistad y colaboración en mi tesis.

Al Ing. Salvador Ordaz, encargado del área técnica de la empresa Beta Santa Mónica, por permitir llevar a cabo esta investigación en los campos agrícolas de la empresa, además de todo su apoyo para que se llevara a cabo.

A mis profesores que más que ser catedráticos son grandes amigos que en los momentos más difíciles de mi carrera me apoyaron para continuar: MC. Federico Vega Sotelo, M.C. Abel Román López, M.C. Braulio Duarte Moreno, M.C. Jose Isabel Márquez Mendoza, Ing. Ernesto Luna Davila.

A mis compañeros: Ivan Jiménez Espinoza, José Antonio Domínguez Chaparro, José Alfredo de la Torre Díaz, Héctor Mendoza Acosta, Ricardo Isidro Fabián, Edgar López Sierra, Jorge Alberto Calvo Lopez, que durante cuatro años y medio, compartimos momentos de alegría, tristeza, pero que de alguna manera seguimos adelante y logramos el objetivo que teníamos propuesto.

INDICE

RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	2
OBJETIVO GENERAL.	3
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.	3
HIPÓTESIS	3
REVISION DE LITERATURA.	4
Concepto.....	4
Densidades de población.	5
Fechas de siembra.....	5
Fertilización del Maíz Forrajero.....	5
Fertilización a base de silicio.	6
Beneficios de la fertilización a base de silicio (Si).....	7
Clasificación Taxonómica del Maíz.....	8
MATERIALES.....	9
Localización del área de estudios.....	9
Características climáticas, edáficas e hidrológicas del área de estudios.....	9
METODOS.....	11
Preparación del terreno	11
Siembra.	11
Riegos.....	11
Muestreo de datos.	12
Análisis estadístico	13
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	14
Rendimiento.....	14

Comparación de medias.....	15
Análisis de regresión.....	16
Bibliografía.....	20
Apéndices.....	22

INDICE DE CUADRO.

CUADRO 1. CALENDARIO DE RIEGO.....	11
CUADRO 2. SIMBOLOGÍA DE LOS TRATAMIENTOS.....	12
CUADRO 3. ACOMODO DEL DISEÑO EXPERIMENTAL BLOQUES AL AZAR.....	12
CUADRO 4. RENDIMIENTOS OBTENIDOS POR TRATAMIENTO.....	14
CUADRO 5. COEFICIENTE DE VARIACIÓN.....	15
CUADRO 6. COMPARACIÓN DE MEDIAS.....	15
CUADRO 7. DETALLES DE LA SERIE DE FOURIER.....	16
CUADRO 8. PARÁMETROS DEL MODELO.....	17
CUADRO 9. RESULTADO DE DATOS OBTENIDOS CON EL MODELO.....	17

INDICE DE GRAFICAS.

GRAFICA 1. RENDIMIENTO DE MAIZ FORRAJE VERDE.....	14
GRAFICA 2. DATOS REALES DE EXPERIMENTO.....	16
GRAFICA 3. RESULTADOS DE RENDIMIENTO CON EL MODELO.....	17

RESUMEN

La fertilización en el cultivo de maíz es de suma importancia para lograr la mayor productividad que satisfaga las necesidades de forraje para la alimentación del ganado lechero, esto puede llegar a ser costoso, por lo cual se debe de obtener un balance entre la fertilización y rendimiento para no exceder el costo de producción de maíz forrajero. El objetivo de la presente investigación es sugerir la aplicación de un modelo utilizado para el cálculo de la dosis adecuada de fertilización obteniendo el mayor de los rendimientos. El trabajo de campo se realizó de la misma manera que se realiza la labranza tradicional en las empresas de producción de forraje, que consisten en rastra, arroje, bordeo, nivelación de precisión en base a diseño del riego por superficie y corrugación. Para la obtención de datos se llevó acabo el siguiente procedimiento, de cada unidad experimental se tomaron los dos surcos centrales y se midieron tres metros lineales, se cortaron las plantas con machete a una altura de 10 – 15 cm simulando el corte de la maquina ensiladora, se contó el número de plantas, se pesó por separado: tallo, hojas, mazorca y espiga para poder obtener el peso por planta, con la densidad de plantas y el peso por planta se obtuvo rendimiento de forraje verde de maíz. Se obtuvo el mayor rendimiento de forraje verde de maíz con 400 kg de fertilizante a base de silicio.

Palabras clave: Fertilización, Maíz, Silicio, Forraje, Rendimiento.

INTRODUCCIÓN

La Comarca Lagunera es la principal cuenca lechera del país, con una producción cercana a los dos millones de toneladas de leche, esta situación implica una gran demanda de forraje, la alfalfa, maíz, avena forrajera, sorgo forrajero son los cultivos mayormente utilizados para cubrir esta demanda de forraje. El maíz es un componente importante en las raciones que son suministradas al ganado lechero, por lo cual, se demanda un incremento en la productividad de este cultivo.

La fertilización en el cultivo de maíz es de suma importancia para lograr la mayor productividad que satisfaga las necesidades de forraje para la alimentación del ganado lechero, esto puede llegar a ser costoso, por lo cual se debe de obtener un balance entre la fertilización y rendimiento para no exceder el costo de producción de maíz forrajero.

En la empresa Beta Santa Mónica, la superficie de siembra varía en cada ciclo según los derechos de agua de río que se logren acumular, la demanda anual de forraje es de 42 toneladas por hectárea de forraje verde de maíz para la alimentación de 27 000 cabezas de ganado lechero.

El desarrollo de tecnología para incrementar el rendimiento de forraje, permite aumentar la proporción de ensilaje de maíz utilizado en las raciones del ganado. De tal manera que una de las alternativas de solución para la empresa es incrementar el rendimiento en la producción de forraje de maíz, mediante la evaluación de diferentes productos para la fertilización, así como también diferentes dosis de fertilización.

La demanda de forraje de maíz que tiene la empresa, justifican el establecimiento de la presente investigación consistente en la cual se presentan resultados y recomendaciones que permite a la empresa obtener el mayor rendimiento de maíz forrajero y su dosis optima de fertilización.

OBJETIVO GENERAL.

Evaluar el efecto de la fertilización a base de silicio sobre el rendimiento de forraje verde en el cultivo de Maíz.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

Establecer la dosis de fertilización, que permita obtener el mayor rendimiento en cultivo de maíz.

Obtener un modelo de cálculo, para las dosis de fertilización a base de silicio relacionada con el rendimiento.

HIPÓTESIS

La fertilización a base de silicio dará mayores rendimientos que la fertilización tradicional.

REVISION DE LITERATURA.

Importancia del Maíz.

El maíz (*Zea mays* L.) es uno de los cereales más utilizados para consumo humano y animal, en términos de ingresos es el tercer cultivo más importante en el mundo, sembrándose cerca de 129 millones de hectáreas, con rendimientos en grano de 6.7 t/ha. En México anualmente se establecen 8 millones de hectáreas de para grano y alrededor de 500,000 de maíz forrajero (*Sánchez et al, 2011*).

La superficie de siembra en la Comarca Lagunera es de 89,813 ha de cultivos forrajeros anualmente. El maíz forrajero ocupa el segundo lugar de importancia superado únicamente por la alfalfa, uno de los principales problemas de este cultivo es la baja producción de aproximadamente 49.4 ton ha de forraje verde y su alto consumo de agua (*Rivera et al, 2013*).

La producción de dos millones de toneladas de leche de bovino en la Comarca Lagunera implica una gran demanda de forraje de calidad, por su alto contenido energético, el ensilaje de maíz es un componente importante en las raciones que se suministran al ganado lechero, por lo cual, la región lagunera demanda un incremento en el rendimiento del maíz forrajero sin disminuir su calidad (*Reta et al, 2007*).

Maíz Forrajero.

Concepto.

El término “maíz forrajero” abarca conceptos básicos para la nutrición animal y no solo rendimiento de forraje verde: rendimiento de materia seca y calidad nutritiva, que incluya proteína, energía, fibra detergente neutra y acida, principalmente. Parámetros que son determinados por los componentes morfológicos de la planta: hoja, tallo y elote, en combinación con su madurez; y otras características importantes como acame, incidencia de enfermedades, altura de la planta, numero, ancho y largo de la hoja, numero de elotes, apetencia para rumiantes, entre otros. Estos aspectos tendrán incidencia en el rendimiento de materia seca, calidad nutritiva y aceptación de forraje por el animal. (Paliwal, 2001).

Densidades de población.

La densidad optima en maíz para rendimiento de grano y forraje depende del genotipo fertilidad y manejo agronómico del cultivo, existen evaluaciones realizadas en maíces forrajeros a una densidad de siembra de 85 mil plantas/ha, se obtuvieron rendimientos de forraje verde de 52.5 a 85.6 t/ha (*Sánchez et al, 2011*).

La producción de materia seca por hectárea de maíz para forraje aumenta con la densidad de plantas manteniendo un comportamiento asintótico, al aumentar la densidad de plantas aumenta la competencia entre ellas afectando la emergencia de estigmas, la polinización, la formación de numero de granos e incrementa las mazorcas estériles (*Gonzales et al, 2006*).

Fechas de siembra.

La producción de maíz forrajero se encuentra altamente influenciada por las densidades de siembra, esto debido a la relación que existe entre el cultivo y el clima, algunas resultan ser un beneficio para el cultivo por ejemplo días más largos promueven la fotosíntesis de las plantas, otro ejemplo de esta relación pero no beneficioso son las altas temperaturas durante la noche estas reducen la producción de forraje (*Gonzales et al, 2006*)

Es de suma importancia la elección adecuada de la fecha de siembra para el cultivo ya que este se ve influenciada por las condiciones climáticas, la germinación optima se obtiene a temperaturas 18 a 21°C, con temperaturas menores a 13°C disminuye significativamente por lo tanto el periodo adecuado de siembra se encuentra a principios de abril y hasta mediados de octubre (*Jurado et al, 2014*).

Fertilización del Maíz Forrajero.

El uso de fertilizantes químicos en México se inició a principios del siglo pasado y la producción de los mismos en 1915. Los fertilizantes que mayormente son utilizados son los sólidos; los líquidos y gases son utilizados en zonas mayor tecnificadas como el Bajío-Guanajuato, valle de Sinaloa y valle del Yaqui-Sonora. En México el uso de fertilizantes no es uniforme a lo largo del territorio nacional

dedicado a la agricultura y se ha concentrado en zonas donde se desarrolla una agricultura intensiva (*Peña et al, 2001*).

El uso de variedades con mayor potencial de rendimiento y calidad nutricional, genera una mayor extracción de nutrientes del suelo, el cultivo de maíz para ensilaje extrae en promedio 14 kg ha de nitrógeno (N) por cada tonelada de materia seca cosechada. Es importante tomar en cuenta la eficiencia del uso del fertilizante es decir, obtener la relación que existe entre el nutrimento extraído por el cultivo y la cantidad del nutrimento aplicado, teniendo en cuenta esta relación debemos aumentar esta eficiencia del uso de los fertilizantes obteniendo beneficios como la reducción en los costos de producción además de reducir los riesgos por contaminación (*Faz et al, 2006*).

El maíz requiere de una cantidad suficiente de nutrientes adecuados para satisfacer sus necesidades. Misma cantidad que es absorbida del suelo, la cual varía en tiempo y por fertilidad natural del mismo. Los principales nutrientes que demanda el cultivo forrajero se presentan con regularidad deficiente en el suelo, los cuales pueden ser aportados aplicando diferentes fertilizantes ya sea, químicos, estiércoles y residuos de cosecha. (*Salazar et al, 2003*).

Crear un programa de fertilización incluyendo la aplicación N, P y S, es esencial para optimizar el rendimiento del cultivo, incrementar la rentabilidad y mejorar la eficiencia del uso de nutrientes. La adopción de las mejoras prácticas de manejo para el uso de los fertilizantes es necesaria para incrementar y estabilizar los rendimientos y promover la sustentabilidad de la producción agropecuaria (*Ciampitti et al, 2006*).

Fertilización a base de silicio.

El silicio (Si), es un elemento químico metaloide es el segundo elemento más abundante en la corteza terrestre, por lo cual, es un elemento no considerado como esencial en el desarrollo sustentable de los organismos fotosintéticos (*Quero, 2009*).

Aun cuando el Silicio no es considerado como elemento esencial, en especies gramíneas y algunas especies no gramíneas, el desarrollo de las plantas, su crecimiento y producción han aumentado cuando se hacen aplicaciones de

fertilizante a base de silicio, además de la reducción de algunas enfermedades, en cultivo como el arroz, existen numerosas investigaciones donde se ha encontrado que el silicio también ayuda a aliviar los efectos por tensiones abióticas incluyendo la tensión por salinidad, toxicidad por metales, tensión por sequía, daños producidos por la radiación, el desequilibrio de nutrientes altas y bajas temperaturas. Se dice, que los mecanismos de resistencia a las enfermedades, es por el aumento de acumulación del silicio absorbido en el tejido epidérmico. El silicio llega a formar complejos con los compuestos orgánicos en las membranas celulares de células epidérmicas aumentando así su resistencia a la degradación por las enzimas liberadas por los hongos (*Piedrahita, 2008*).

El silicio es absorbido por las plantas en un rango de pH de 2 hasta 9 en forma energéticamente pasiva, es tomado por las raíces en la solución como ácido monosilícico para ser acumulado en las células epidérmicas impregnándolas con una capa fina, al tener asociaciones con pectinas y polifenoles en la pared celular, crea barreras efectivas contra la pérdida de agua y transpiración cuticular. El silicio puede estimular el crecimiento y la productividad ya que aumenta la disponibilidad de elementos como P, Ca, Mg, K y B (*Borda et al, 2007*).

Beneficios de la fertilización a base de silicio (Si)

En condiciones óptimas los beneficios del silicio en el crecimiento y desarrollo de las plantas son mínimo, sin embargo, en situaciones de estrés la planta se ve beneficiada, debido a que el silicio se deposita en las paredes celulares de los vasos de xilema y previene que este se comprima en condiciones de transpiración excesiva causada por la sequía a estrés térmico. Además la membrana de silicio-celulosa en el tejido epidérmico de las hojas protege los tejidos vegetales contra la pérdida de agua por transpiración (*Quero, 2009*).

Borda et al 2007 menciona que en avena forrajera el aporte de silicio a las plantas evidencia variantes en la respuesta de crecimiento y ganancia de materia seca provocando elongación celular, mayor turgencia y conversión eficiente de asimilados observándose en el incremento de altura y diámetro de tallo.

Clasificación Taxonómica del Maíz.

De acuerdo con el autor Robles 1978 la clasificación taxonómica del maíz es la siguiente:

Reino..... Vegetal
División..... Tracheophyta
Subdivisión..... Pteropsidae
Clase..... Angiospermae
Subclase..... Monocotiledónea
Grupo..... Glumiflora
Orden..... Graminales
Familia..... Gramineae
Tribu..... Maydeae
Genero..... *Zea*
Especie..... *mayz*

MATERIALES

Localización del área de estudios.

La región Lagunera se localiza en la parte suroeste del estado de Coahuila, se ubica entre las coordenadas geográficas 103° 26'33'' de longitud oeste con relación al meridiano de Greenwich y 25° 32'40'' de latitud norte, con una altura de 1120 msnm (INEGI, 2006).

El presente trabajo fue desarrollado en el predio agrícola PP San Ignacio de la empresa BETA SANTA MÓNICA S.P.R DE R.L DE C.V. Esta área se ubica entre los paralelos 25° 47' 53" y 25° 48' 11" N y los meridianos 103' 14' 37" y 104° 47' 43", con una altitud de 1110 msnm.

Características climáticas, edáficas e hidrológicas del área de estudios.

Las condiciones geográficas de la región dan origen a un clima-semiárido, con fuertes variaciones estacionales y precipitaciones escasas las cuales se concentran en los meses de julio, agosto y septiembre, con variaciones desde los 200mm. anuales en la parte baja de la cuenca, en la cual se localiza la mayor parte de la zona agrícola, hasta los 600 en la parte alta de la cuenca, que es donde ocurren las precipitaciones más significativas las cuales generan escurrimientos superficiales que se utilizan para el riego en región lagunera (*Cervantes et al, 2010*).

En la región lagunera el tipo de suelo predominante es entre arcilloso y migajón arenoso, este tipo de suelo ocupa la parte central del área cultivada y por sus características fisicoquímicas se localizan los cultivos más importantes. Son ricos en fosforo, potasio, magnesio, calcio, pero normalmente pobres en nitrógeno, además de contar con materia orgánica en bajas proporciones (*Sagarpa, 2002*).

Debido a la intensa actividad agropecuaria e industrial en la región lagunera, la presión sobre los recursos hídricos es creciente, esto es ocasionado también por las condiciones geográficas y climatológicas propias de la región. Los ríos principales son el Nazas y el Agua naval, la cuenca con mayor captación en la región es la del Rio Nazas, que aporta en 79.7 % del escurrimiento medio anual de

la Región Hidrológica, con un volumen de 2,508 millones de m³, a lo largo de su cauce se encuentran las presas Lázaro Cárdenas y Francisco Zarco (Lozano, 2012).

METODOS.

Preparación del terreno

La preparación del terreno se llevó a cabo de la misma manera que se realiza la labranza tradicional en las empresas de producción de forraje, que consisten en rastreo, arroje, bordeo, nivelación de precisión en base a diseño del riego por superficie y corrugación.

Siembra.

La siembra se llevó a cabo en el ciclo agrícola primavera-verano del año 2015 con fecha específica del 08 de Abril con siembra en seco, el cultivo se estableció en un sistema de producción tradicional con una distancia entre surcos de 75 cm y 12.5 cm entre plantas con una densidad de población de 100 mil semillas por hectárea. La variedad utilizada para el experimento fue el híbrido HT 9019.

Riegos

La aplicación de los riegos se realizó de acuerdo al siguiente calendario que se observa en el cuadro 1.

Cuadro 1. Calendario de riego.

<i>RIEGO</i>	<i>DÍAS DESPUÉS DE LA SIEMBRA</i>	<i>FASE FENOLÓGICA DEL CULTIVO</i>
1er. Aux.	38	Diferenciación de órganos reproductivos
2do. Aux.	64	Inicio de crecimiento de mazorca
3er. Aux.	76	Grano lechoso

Tratamientos

Para el experimento se utilizaron seis tratamientos los cuales se presentan a continuación el cuadro 2.

Cuadro 2. Simbología de los tratamientos.

T1 S-F	Tratamiento 1 Sin fertilizante
T2 T-BSM	Tratamiento 2 Fertilización tradicional Beta Santa Mónica
T3 100F	Tratamiento 3 100 (kg/ha) Fertilizante Fosfosilidol
T4 200F	Tratamiento 4 200 (kg/ha) Fertilizante Fosfosilidol
T5 300F	Tratamiento 5 300 (kg/ha) Fertilizante Fosfosilidol
T6 400F	Tratamiento 6 400 (kg/ha) Fertilizante Fosfosilidol

Se estableció un diseño experimental en bloques al azar con seis tratamientos y cuatro repeticiones. En el cuadro 3 se presenta el acomodo de los tratamientos.

Cuadro 3. Acomodo del diseño experimental bloques al azar.

T5 300F		T2 T-BSM		T1 S-F		T6 400F
T6 400F		T3 100F		T2 T-BSM		T1 S-F
T1 S-F		T4 200F		T3 100F		T2 T-BSM
T2 T-BSM		T5 300F		T4 200F		T3 100F
T3 100F		T6 400F		T5 300F		T4 200F
T4 200F		T1 S-F		T6 400F		T5 300F

Muestreo de datos.

La lectura de datos del experimento se llevó a cabo con el siguiente procedimiento, de cada unidad experimental se tomaron los dos surcos centrales y se midieron tres metros lineales, se cortaron las plantas con machete a una altura de 10 – 15 cm simulando el corte de la maquina ensiladora, se contó el número de plantas, se pesó por separado: tallo, hojas, mazorca y espiga para poder obtener el peso por planta, con la densidad de plantas y el peso por planta se obtuvo

rendimiento de forraje verde de maíz. Toda esta información se presenta en el anexo A.

Análisis estadístico

Los tratamientos en el campo fueron establecidos en un diseño en bloques al azar con cuatro repeticiones.

El modelo del diseño de bloques al azar es:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \beta_j + \xi_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Es la observación del tratamiento i en el bloque j .

μ = Es el efecto verdadero de la media general.

T_i = Es el efecto del i – esimo tratamiento.

β_j = Es el efecto de j – esimo bloque.

ξ_{ij} = Es el error Experimental

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

A continuación se presentan los datos de los resultados obtenidos, durante la cosecha para lo cual se utilizó el programa estadístico Diseños experimentales FAUANL Versión 2.5.

Rendimiento.

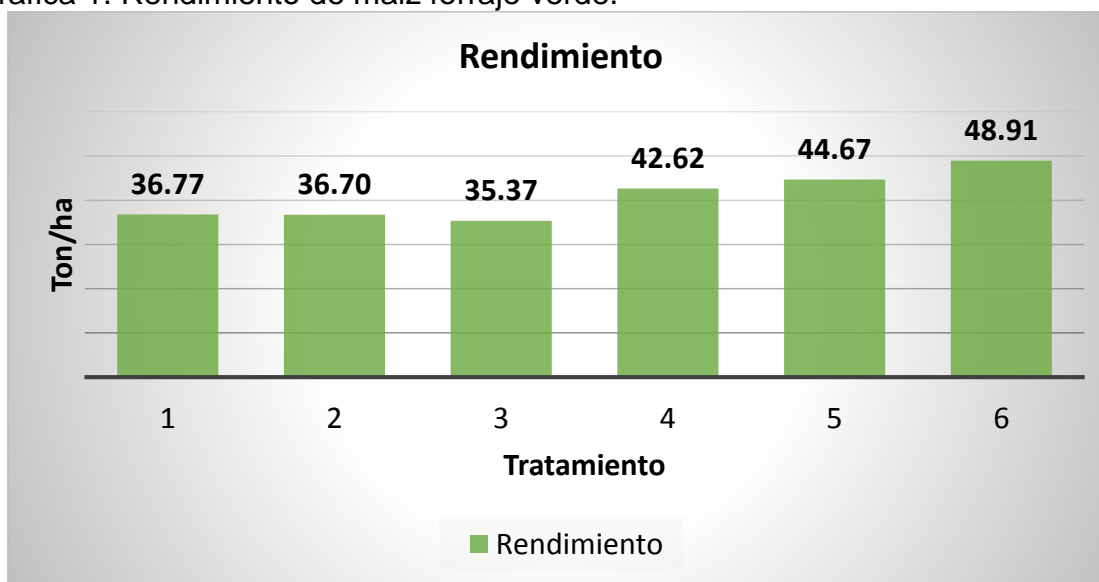
La obtención de datos se llevó a cabo con el siguiente procedimiento, se contó el número de plantas para obtener la densidad de población por hectárea, se pesó por separado el tallo, mazorca, hojas y espigas para tener el peso por planta. Con la densidad de población y el peso por planta se obtuvieron los datos de rendimiento que se presentan en el cuadro 4.

Cuadro 4. Rendimientos obtenidos por tratamiento.

Tratamiento	Rendimiento (Ton-ha)
1	36.77
2	36.70
3	35.37
4	42.62
5	44.67
6	48.91

El cuadro 4 y la gráfica 1 nos muestran que el mayor rendimiento se dio en el tratamiento No. 6, en una proporción de 8.7%.

Gráfica 1. Rendimiento de maíz forraje verde.



Cuadro 5. Coeficiente de variación.

FV	GL	SC	CM	Fc	F(Tablas)
Tratamientos	5	586.855469	117.371094	2.4581	0.081
Bloques	3	35.394531	11.798177	0.2471	0.863
Error	15	716.230469	47.748699		
Total	23	1338.480469			

C.V. = 16.92%

VARIABLE: Rendimiento

NUMERO DE TRATAMIENTOS = 6

NUMERO DE REPETICIONES = 4

CUADRADO MEDIO DEL ERROR = 47.7486

GRADOS DE LIBERTAD DEL ERROR = 15

En cuadro 5 del coeficiente de variación en el resultado de la Fc y F de tablas nos indica que existe diferencia significativa por lo cual podemos hacer la comparación de medias.

Comparación de medias.

Estadísticamente refiere al promedio de los rendimientos de forraje verde en cada uno de los tratamientos.

Cuadro 6. Comparación de medias.

TRATAMIENTO	Dosis de fertilización a		MEDIA
	base de silicio (kg/ha)		
6	400		48.9124 A
5	300		44.6675 AB
4	200		42.6225 AB
1	S-F		36.7724 B
2	T-BSM*		36.7024 B
3	100		35.3573 C

*T-BSM: Fertilización tradicional Beta Santa Mónica.

** S-F: Sin Fertilizante.

NIVEL DE SIGNIFICANCIA = 0.05

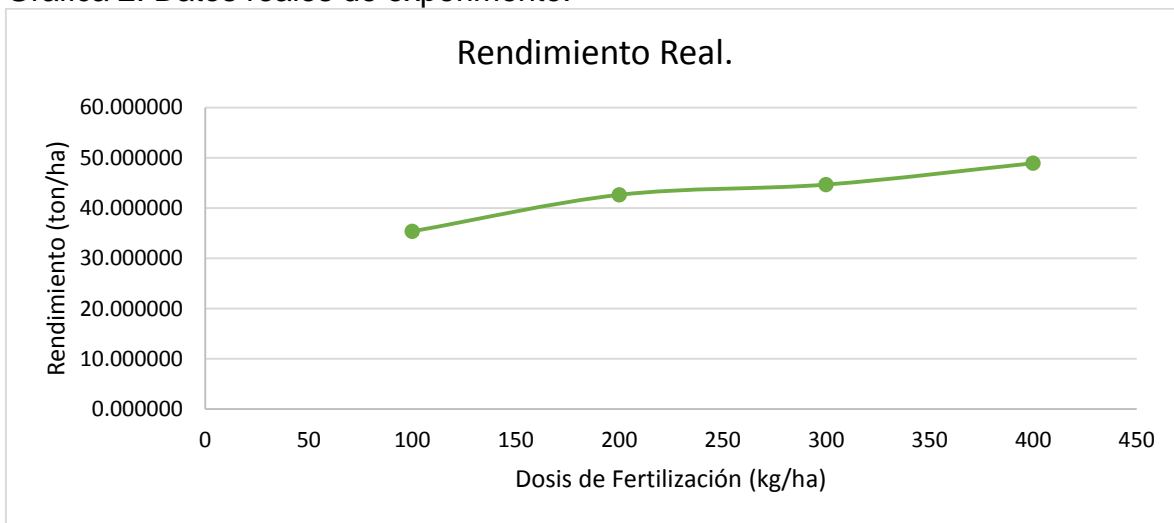
DMS = 10.4124

En el cuadro 6 comparación de medias se puede observar que el mejor rendimiento está en tratamiento No.6 al cual se le aplicó la mayor dosis de fertilizante a base de silicio. Así mismo, el cuadro 6 nos muestra que el tratamiento No.1 al cual no se le aplicó fertilizante muestra un rendimiento medio mayor que el obtenido en el tratamiento No. 3 al cual se la aplicó la menor dosis de fertilizante a base de silicio.

Análisis de regresión.

Con los datos de los rendimientos se aplicó el programa computacional Curve Expert Professional Version 2.2.0 para buscar el modelo en relación a la tendencia de los datos reales que se muestran en grafica 2.

Grafica 2. Datos reales de experimento.



El programa computacional nos dice que el modelo en relación a la tendencia de los datos reales es una Serie de Fourier truncada cuadro 7.

Cuadro 7. Detalles de la Serie de Fourier.

Ecuación	$Y=a*\cos(x+d)+b*\cos(2*x+d)+c*\cos(3*x+d)$
Error estandar	0
Coefficiente de correlación (r)	1.00
Coefficiente de determinación (r2)	1.00

En el cuadro 8 se muestran los parámetros de la series de Fourier Truncada.

Cuadro 8. Parámetros del modelo.

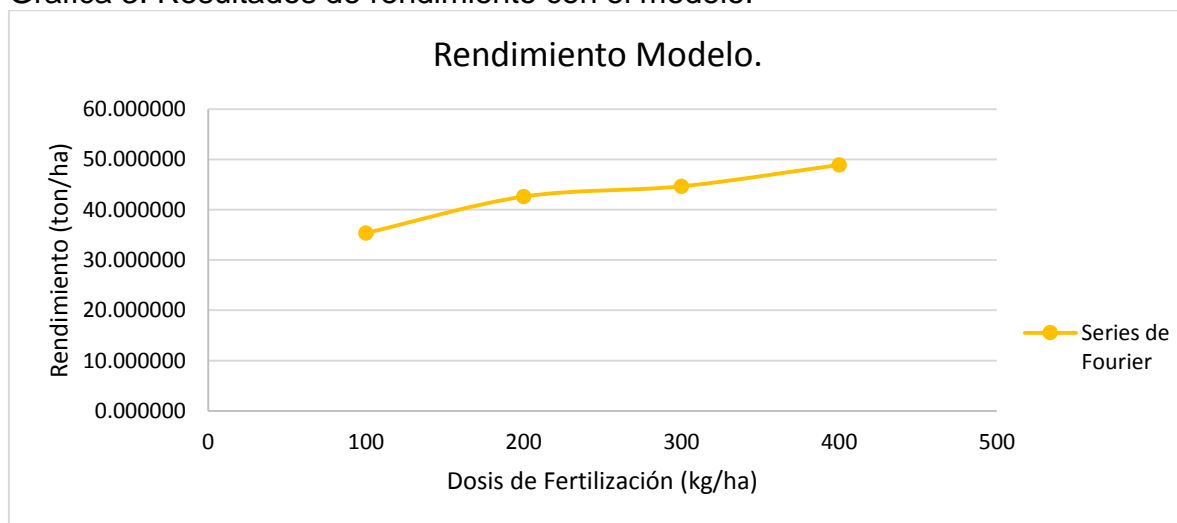
	Valor
a	52.852161
b	-6.45836
c	8.861584
d	7.719552

Con los valores que se presentan en el cuadro 9 y con las dosis de fertilización aplicadas se sustituye los valores en la ecuación del modelo para obtener resultados del rendimiento, los cuales se muestran en el cuadro 9 y en la gráfica 3.

Cuadro 9. Resultado de datos obtenidos con el modelo.

Dosis fertilizante (kg/ha)	Rendimiento modelo.
100	35.37
200	42.62
300	44.66
400	48.91

Grafica 3. Resultados de rendimiento con el modelo.



En la gráfica 3 se muestran los datos obtenidos con el modelo Series de Fourier en el cual se observan que muestra una tendencia idéntica a los datos reales obtenidos en el experimento gráfica 2. Como lo indican los coeficientes de correlación y determinación presentados en el cuadro 7.

De acuerdo a los resultados que arroja el análisis estadístico el mayor rendimiento de forraje verde en maíz, se obtuvo con el tratamiento No.6 al cual se le aplicó la mayor dosis de fertilizante a base de silicio. Obteniéndose también que el tratamiento No. 3 al cual se le aplicó la menor dosis de fertilizante, no respondió a dicha fertilización, ya que el tratamiento al cual no se le aplicó fertilizante produjo un rendimiento mayor que el tratamiento No. 3.

Así mismo, se concluye que la dosis de fertilización acostumbrada a aplicar por la empresa, se mostró con rendimientos menores a los obtenidos en los tratamientos No. 6, 5 y 4, además de no mostrar diferencia significativa con el rendimiento obtenido en el tratamiento en el cual no se le aplicó fertilizante; ya que existe entre ellos una diferencia de solo 48 kg/ha menos que donde no se aplicó fertilizante.

Dichos resultados nos propusieron utilizar un estadístico para obtener un modelo que nos acercara a la dosis de fertilización que tendiera a considerar un gasto menor económicamente hablando, sin sacrificar significativamente el rendimiento de forraje verde por hectárea de maíz; tomando en cuenta que al concluir que el modelo nos muestra una dosis de fertilización menor que la utilizada en el mejor tratamiento, esto refiere que, a menor fertilizante aplicado menor gasto.

CONCLUSIÓN.

Se sugiere la aplicación del modelo utilizado para el cálculo de la dosis adecuada de fertilización en el mayor de los rendimientos. Así mismo, es conveniente continuar con esta investigación ya que se desconoce la cantidad de nutrientes en el suelo antes de la aplicación de los fertilizantes utilizados en la presente investigación, esto último en referencia al tratamiento sin aplicación de fertilizante obtiene mejores rendimientos que en los tratamientos de fertilización tradicional y el de menor dosis.

Bibliografía.

- Borda O.A., Barón F.H., Gómez M.L. 2008, El silicio como elemento benefico en avena forrajera (avena sativa L): respuesta fisiológica crecimiento y manejo. Agronomia Colombiana.
- Cervantes M.C., Franco A.M. 2010, Diagnostico ambiental en la Comarca Lagunera. Colegio de Geografia. Facultad de filosofía y letras. UNAM. México.
- Ciampitti I.A., Boxler M., Garcia F.O. 2006 Nutrición de maíz requerimientos y absorción de nutrientes. Informaciones Agronomicas. Buenos Aires, Argentina.
- Faz R., Figueroa U., Jasso R., Maciel L.H. 2006. Maiz forrajero de alto rendimiento y calidad nutricional. Capitulo IV. Fertilización y riego. INIFAP. Libro científico No.3.
- Gonzales F., Nuñez G., Peña A., Reta D.G., Faz R., Zavala J. 2006. Maiz forrajero de alto rendimiento y calidad. Capitulo III. Fecha de siembra, densidad de plantas y estado de madurez del maíz forrajero. INIFAP. Libro científico No.3.
- Jurado P., Lara C.R., Saucedo R.A. 2014. Paquete tecnológico para la producción de maíz forrajero en Chihuahua. INIFAP. Sitio experimental la campana. Folleto técnico num. 53. ISBN:978-607-37-0276-8
- Lozano J.L. 2012. Analisis multiobjetivo de la distribucion de agua en el sector agrícola de la Comarca Lagunera. Colegio de Postgraduados. Mexioco.
- Paliwal R.L. 2001. El maíz en los trópico: mejoramiento y produccion. FAO. Departamento de agricultura. Roma.
- Peña J.J., Cabrera O.A., Vera J.A. 2001. Manejo de los fertilizantes nitrogenados en México: uso de las técnicas isotópicas. Terra.
- Piedrahita O. 2008. El silicio como fertilizante. Magnesios Heliconia.

- Quero E., 2009. Nutrición con silicio y sus aplicaciones a cultivos a cielo abierto y en agricultura protegida: Un recorrido por la naturaleza. Simposio interacional de nutrición vegetal. Guadalajara, Jal.
- Reta D.G., Cueto J.A., Santamaria J. 2007. Rendimiento y extracción de nitrógeno, fósforo y potasio de maíz forrajero en surcos estrechos. Agricultura técnica en México. Vol 33. Num 2
- Rivera M., Rodríguez M.P., Anaya A., Reyes A., Martínez J. 2013. Función de producción hídrica para maíz forrajero (zea mays) en riego por goteo superficial. Agrofaz.
- Robles S. R., 1979, Producción de granos y forrajes. Cuarta edición. Editorial LIMUSA. México, DF.
- SAGARPA. 2002. [En línea]. Plan rector del sistema producto algodón.
- Salazar E., Beltrán A., Fortis M., Leos J.A., Cueto J.A., Vázquez C., Peña J.J. 2003. Mineralización de nitrógeno en el suelo y producción de maíz forrajero con tres sistemas de labranza. Terra Latinoamericana. Vol 21, num 24. Sociedad Mexicana de la ciencia del suelo.
- Sanchez M.A., Aguilar C.U., Jiménez N.V., Sánchez M.C., Jiménez M.C., Villanueva C. 2011. Densidad de siembra y crecimiento de maíces forrajeros. Agronomía mesoamericana. ISSN:1021-7444.

Apéndices.

Parcela 40								
No. Plantas	Hoja	Tallo-sc	Mazorca	elote	espiga	hoja elote	peso de planta	
94	3580	2440	3470	3970	363			
	4180	1830	3180	3037				
	2563	4177	4358	4280				
		2585	3770	3198				
		4045	3200	2275				
		4575	3486					
		2904						
Total	10080	22070	20978	16355	282		53410	
Peso/planta	107.234043	234.787234	223.170213	173.989362	3	49.1808511	568.1914894	
						44.51	78333.33	

PARCELA 39							Total	peso/planta
No. Plantas	Hoja	2371	1750				3959	101.5128205
39	Tallo	3558	3428	2210			8953	229.5641026
	Mazorca	3271	3882	1282			8273	212.1282051
	Elote	3910	2875				6623	169.8205128
	Espiga	309					228	5.846153846
	Hoja elote						1650	42.30769231
	peso planta						21413	549.0512821
						47.5844444	86667	

PARCELA 38							Total	peso/planta
No. Plantas	Hoja	2892	1333				4063	119.5
34	Tallo	2435	3098	4430			9720	285.8823529
	Mazorca	4140	1355				5333	156.8529412
	Elote	4030					3949	116.1470588
	Espiga	286					205	6.029411765
	Hoja elote						1384	40.70588235
	peso planta						19321	568.2647059
						42.9355556	75556	

PARCELA 37							Total	peso/planta
No. Plantas	Hoja	2660	1854				4352	120.8888889
36	Tallo	4866	4660				9364	260.1111111
	Mazorca	4847	4500				9185	255.1388889
	Elote	4818	2680				7336	203.7777778
	Espiga	240					159	4.416666667
	Hoja elote						1849	51.36111111
	peso planta						23060	640.5555556
						51.2444444	80000	

PARCELA 36							
No. Plantas						Total	peso/planta
36	Hoja	2493	971			3302	91.72222222
	Tallo	4080	4000			7918	219.9444444
	Mazorca	3844	3710			7392	205.3333333
	Elote	2766	3324			5928	164.6666667
	Espiga	212				131	3.638888889
	Hoja elote					1464	40.66666667
	peso planta					18743	520.6388889
					41.65111111	80000	

PARCELA 35							
No. Plantas						Total	peso/planta
40	Hoja	3330	945			4113	102.825
	Tallo	4905	3902			8645	216.125
	Mazorca	4755	3664			8257	206.425
	Elote	4180	2870			6888	172.2
	Espiga	236				155	3.875
	Hoja elote					1369	34.225
	peso planta					21170	529.25
					47.0444444	88889	

PARCELA 34							
No. Plantas						Total	peso/planta
30	Hoja	3485	812			4135	137.8333333
	Tallo	3685	4750			8273	275.7666667
	Mazorca	3750	4420			8008	266.9333333
	Elote	2960	3450			6248	208.2666667
	Espiga	214				133	4.433333333
	Hoja elote					1760	58.66666667
	peso planta					20549	684.9666667
					45.6644444	66667	

PARCELA 33							
No. Plantas						Total	peso/planta
33	Hoja	2288	1240			3366	102
	Tallo	4170	3040			7210	218.4848485
	Mazorca	4100	2580			6518	197.5151515
	Elote	4350	1652			5840	176.969697
	Espiga	230				149	4.515151515
	Hoja elote					678	20.54545455
	peso planta					17243	522.5151515
					38.3177778	73333	

PARCELA 32							
No. Plantas						Total	peso/planta
37	Hoja	1950	1980			3768	101.8378378
	Tallo	4470	3350			7820	211.3513514
	Mazorca	4420	3500			7758	209.6756757
	Elote	4020	2340			6198	167.5135135
	Espiga	230				149	4.027027027
	Hoja elote					1560	42.16216216
	peso planta					19495	526.8918919
					43.3222222	82222	

PARCELA 31							
No. Plantas						Total	peso/planta
39	Hoja	2190	2021			4049	103.8205128
	Tallo	3800	3245			7045	180.6410256
	Mazorca	4249	4109			8196	210.1538462
	Elote	3136	2453			5427	139.1538462
	Espiga	250				169	4.333333333
	Hoja elote					2769	71
	peso planta					19459	498.9487179
					43.2422222	86667	

PARCELA 30							
No. Plantas						Total	peso/planta
32	Hoja	3042	956			3836	119.875
	Tallo	4600	4180			8780	274.375
	Mazorca	3764	3340			6942	216.9375
	Elote	4672				4591	143.46875
	Espiga	230				149	4.65625
	Hoja elote					2351	73.46875
	peso planta					19707	615.84375
					43.7933333	71111	

PARCELA 29							
No. Plantas						Total	peso/planta
33	Hoja	2820	530			3188	96.60606061
	Tallo	3833	2496			6329	191.7878788
	Mazorca	3852				3771	114.2727273
	Elote	3520				3439	104.2121212
	Espiga	236				155	4.696969697
	Hoja elote					332	10.06060606
	peso planta					13443	407.3636364
					29.8733333	73333	

PARCELA 28						
No. Plantas					Total	peso/planta
35	Hoja	2781	1133		3752	107.2
	Tallo	3738	4440		8178	233.6571429
	Mazorca	4103	2580		6521	186.3142857
	Elote	3810	1230		4878	139.3714286
	Espiga	250			169	4.828571429
	Hoja elote				1643	46.94285714
	peso planta				18620	532
				41.3777778	77778	

PARCELA 27						
No. Plantas					Total	peso/planta
31	Hoja	1906	1670		3414	110.1290323
	Tallo	3849	4110		7959	256.7419355
	Mazorca	4020			3939	127.0645161
	Elote	3345			3264	105.2903226
	Espiga	197			116	3.741935484
	Hoja elote				675	21.77419355
	peso planta				15428	497.6774194
				34.2844444	68889	

PARCELA 26						
No. Plantas					Total	peso/planta
30	Hoja	2000	1643		3481	116.0333333
	Tallo	4436	3556		7992	266.4
	Mazorca	3875			3794	126.4666667
	Elote	3410			3329	110.9666667
	Espiga	276			195	6.5
	Hoja elote				465	15.5
	peso planta				15462	515.4
				34.36	66667	

PARCELA 25						
No. Plantas					Total	peso/planta
32	Hoja	2452	1256		3546	110.8125
	Tallo	4100	3810		7910	247.1875
	Mazorca	4004			3923	122.59375
	Elote	3828			3747	117.09375
	Espiga	237			156	4.875
	Hoja elote				176	5.5
	peso planta				15535	485.46875
				34.52	71111.11	

PARCELA 24							
No. Plantas						Total	peso/planta
18	Hoja	2189				2108	117.11111111
	Tallo	4667				4667	259.2777778
	Mazorca	3700				3619	201.0555556
	Elote	3120				3039	168.8333333
	Espiga	180				99	5.5
	Hoja elote					580	32.22222222
	peso planta					10493	582.9444444
						23.32	40000.00

PARCELA 23							
No. Plantas						Total	peso/planta
32	Hoja	2452	1256			3546	110.8125
	Tallo	4100	3810			7910	247.1875
	Mazorca	4004				3923	122.59375
	Elote	3828				3747	117.09375
	Espiga	237				156	4.875
	Hoja elote					176	5.5
	peso planta					15535	485.46875
						34.52	71111.11

PARCELA 22							
No. Plantas						Total	peso/planta
36	Hoja	3302				3221	89.47222222
	Tallo	4320	422			4742	131.7222222
	Mazorca	3455				3374	93.72222222
	Elote	3373				3292	91.44444444
	Espiga	247				166	4.611111111
	Hoja elote					820	22.77777778
	peso planta					11503	319.5277778
						25.56	80000.00

PARCELA 21							
No. Plantas						Total	peso/planta
37	Hoja	3757				3676	99.35135135
	Tallo	4092	4436	1436		9964	269.2972973
	Mazorca	4920	4584			9342	252.4864865
	Elote	4575	2930			7343	198.4594595
	Espiga	232				151	4.081081081
	Hoja elote					1999	54.02702703
	peso planta					23133	625.2162162
						51.41	82222.22

PARCELA 20							
No. Plantas						Total	peso/planta
35	Hoja	2000	1820			3658	104.5142857
	Tallo	4520	3521	1728		9769	279.1142857
	Mazorca	4928	4602			9368	267.6571429
	Elote	4739	2837			7414	211.8285714
	Espiga	236				155	4.428571429
	Hoja elote					1954	55.82857143
	peso planta					22950	655.7142857
						51.00	77777.78

PARCELA 19							
No. Plantas						Total	peso/planta
32	Hoja	2260	1096			3194	99.8125
	Tallo	3950	4701	723		9374	292.9375
	Mazorca	4680	3610			8128	254
	Elote	2885	3577			6300	196.875
	Espiga	230				149	4.65625
	Hoja elote					1828	57.125
	peso planta					20845	651.40625
						46.32	71111.11

PARCELA 18							
No. Plantas						Total	peso/planta
30	Hoja	1854	758			2450	81.66666667
	Tallo	3464	4452	723		8639	287.9666667
	Mazorca	3404	3984			7226	240.8666667
	Elote	4160	1533			5531	184.3666667
	Espiga	240				159	5.3
	Hoja elote					1695	56.5
	peso planta					18474	615.8
						41.05	66666.67

PARCELA 17							
No. Plantas						Total	peso/planta
38	Hoja	3401				3320	87.36842105
	Tallo	3648	4803	677		9128	240.2105263
	Mazorca	3694	3377			6909	181.8157895
	Elote	3850	2527			6215	163.5526316
	Espiga	224				143	3.763157895
	Hoja elote					694	18.26315789
	peso planta					19500	513.1578947
						43.33	84444.44

PARCELA 16							
						Total	peso/planta
No. Plantas	Hoja	3000				2919	97
30	Tallo	4315	4845			9160	305
	Mazorca	3260	2160	3500		8677	289
	Elote	3325	3550			6713	224
	Espiga	200				119	4
	Hoja elote					1964	65
	peso planta					20875	696
							46.39

Anexo A.

Rendimiento					
Tratamiento	R1	R2	R3	R4	
1	34.52	42.9355556	46.32	23.32	36.77
2	29.8733333	41.05	34.52	41.3777778	36.71
3	38.3177778	25.56	34.2844444	43.3222222	35.37
4	51.2444444	34.36	43.2422222	41.6511111	42.62
5	43.33	43.7933333	47.0444444	44.51	44.67
6	51.41	45.6644444	47.5844444	51.00	48.91
	41.45	38.89	42.17	40.86	40.84

Densidad					
Tratamiento	R1	R2	R3	R4	
1	71111.11	75556	71111.11	40000.00	64444.44
2	73333	66666.67	71111.11	77777.78	72222.22
3	73333	80000.00	68889	82222	76111.11
4	80000	66667	86667	80000	78333.33
5	84444.44	71111	88889	78333.33	80694.44
6	82222.22	66667	86667	77777.78	78333.33
	77407.41	71111.11	78888.89	72685.19	

Peso/planta					
Tratamiento	R1	R2	R3	R4	
1	485.46875	568.264706	651.40625	582.944444	572.021038
2	407.363636	615.8	485.46875	532	510.158097
3	522.515152	319.527778	497.677419	526.891892	466.65306
4	640.555556	515.4	498.948718	520.638889	543.885791
5	513.16	615.84375	529.25	568.191489	556.610784
6	625.216216	684.966667	549.051282	655.714286	628.737113
	532.379534	553.300483	535.300403	564.396833	

Mazorca					
Tratamiento	R1	R2	R3	R4	
1	122.59375	156.852941	254	201.055556	183.625562
2	114.272727	240.866667	122.59375	186.314286	166.011857
3	197.515152	93.7222222	127.064516	209.675676	156.994391
4	255.138889	126.466667	210.153846	205.333333	199.273184
5	181.815789	216.9375	206.425	223.170213	207.087126
6	252.486486	266.933333	212.128205	267.657143	249.801292
	187.303799	183.629888	188.727553	215.534368	

Elote					
Tratamiento	R1	R2	R3	R4	
1	117.09375	116.147059	196.875	168.833333	149.737286
2	104.212121	184.366667	117.09375	139.371429	136.260992
3	176.969697	91.4444444	105.290323	167.513514	135.304494
4	203.777778	110.966667	139.153846	164.666667	154.641239
5	163.552632	143.46875	172.2	173.989362	163.302686
6	198.459459	208.266667	169.820513	211.828571	197.093803
	160.677573	142.443376	150.072239	171.033813	

Espiga					
Tratamiento	R1	R2	R3	R4	
1	4.875	6.02941176	4.65625	5.5	5.26516544
2	4.6969697	5.3	4.875	4.82857143	4.92513528
3	4.51515152	4.61111111	3.74193548	4.02702703	4.22380628
4	4.41666667	6.5	4.33333333	3.63888889	4.72222222
5	3.76315789	4.65625	3.875	3	3.82360197
6	4.08108108	4.43333333	5.84615385	4.42857143	4.69728492
	4.39133781	5.2550177	4.55461211	4.23717646	

Hoja elote					
Tratamiento	R1	R2	R3	R4	
1	5.5	40.7058824	57.125	32.2222222	33.8882761
2	10.0606061	56.5	5.5	46.9428571	29.7508658
3	20.5454545	22.7777778	21.7741935	42.1621622	26.814897
4	51.3611111	15.5	71	40.6666667	44.6319444
5	18.2631579	73.46875	34.225	49.1808511	43.7844397
6	54.027027	58.6666667	42.3076923	55.8285714	52.7074894
	26.6262261	44.6031795	38.6553143	44.5005551	

Hoja					
Tratamiento	R1	R2	R3	R4	
1	110.8125	107.2	99.8125	117.111111	108.734028
2	96.6060606	81.6666667	110.8125	107.2	99.0713068
3	102	89.4722222	110.129032	101.837838	100.859773
4	120.888889	116.033333	103.820513	91.7222222	108.116239
5	87.3684211	119.875	102.825	107.234043	104.325616
6	99.3513514	137.833333	101.512821	104.514286	110.802948
	102.83787	108.680093	104.818728	104.936583	