

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO**

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



**“Características Agronómicas y Producción de Grano y Forraje de Maíz
Bajo Fertilización Orgánica y Química.”**

**POR
JOSÉ ANTONIO LÓPEZ MURILLO**

**TESIS
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

INGENIERO AGRÓNOMO

TORREÓN, COAHUILA

DICIEMBRE DE 2017

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

“Características Agronómicas y Producción de Grano y Forraje de Maíz Bajo
Fertilización Orgánica y Química.”

POR:

JOSÉ ANTONIO LÓPEZ MURILLO

TESIS

A LA CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO

APROBADA POR:

PRESIDENTE:



DRA. ORALIA ANTUNA GRIJALVA

VOCAL:


DR. ARMANDO ESPINOZA BANDA

VOCAL:


Ph. D. PEDRO CANO RÍOS

VOCAL SUPLENTE:


M.C. JOSÉ LUIS COYAC RODRÍGUEZ


M.E. VÍCTOR MARTÍNEZ CUETO

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

TORREÓN, COAHUILA

DICIEMBRE DE 2017



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

“Características Agronómicas y Producción de Grano y Forraje de Maíz Bajo
Fertilización Orgánica y Química.”

POR:

JOSÉ ANTONIO LÓPEZ MURILLO

TESIS

QUE SE SOMETE A LA CONSIDERACIÓN DEL COMITÉ DE ASESORIA COMO
REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO

APROBADA POR:

ASESOR PRINCIPAL:



DRA. ORALIA ANTUNA GRIJALVA

ASESOR:



DR. ARMANDO ESPINOZA BANDA

ASESOR:

Ph. D. PEDRO CANO RÍOS

ASESOR:


M.C. BERNARDO ESPINOSA PALOMEQUE


M.E. VÍCTOR MARTÍNEZ CUETO
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



TORREÓN, COAHUILA

DICIEMBRE DE 2017

AGRADECIMIENTO

A dios por darme la dicha de poder vivir y estar cumpliendo una meta más en mi vida y siempre llenarme de bendiciones en cada camino que he recorrido.

A mi **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro** por recibirme y dejarme ser parte de ella. Por brindarme la oportunidad de prepararme y formarme como profesionista.

Muy especialmente a la Doctora Oralia Antuna Grijalva por darme la oportunidad de conocer y aprender más de sus proyectos de investigación, y hacerme parte de ellos. Por estar hay siempre apoyándome y sirviendo de gran motivación para cumplir este objetivo. Por la amistad brindada durante este proceso y por todos los años que faltan. Gracias Doctora por hacerme sentir como si estuviera en casa y con mi mama, que aunque ella estaba lejos, usted con sus regaños, sus concejos y sus enseñanzas usted siempre me hizo sentir como si la tuviera cercas.

A mis asesores Dr. Armando Espinoza Banda, Ph. D. Pedro Cano Ríos y al M.C. Bernardo Espinosa Palomeque por brindarme sus conocimientos y las herramientas necesarias para ser un buen profesionista.

A mi gran amigo **Erick Jonathan Ortiz López (Venancio)** por brindarme tu amistad hermano y compartir buenos y malos momentos en esta etapa de nuestras vidas, por tus concejos y cada una de tus enseñanzas.

A mis dos grandes amigos: **Mi compadre Arturo Domínguez López y Raulito Ruiz Sarmiento** por brindarme su apoyo y esa bonita amistad que compartimos por varios años, porque cada momento de risa, de enojo y de diversión hicieron más fuerte esta amistad y porque nos tocó cuidar al hermano menor verdad compadre☺.

A los maestros, compañeros y grandes amigos que me apoyaron, y con los que compartí grandes experiencias en esta etapa de nuestras vidas.

DEDICATORIAS

A mi madre María Fermina Murillo Morales Por regalarme la vida, por cada uno de sus cuidados, ese gran cariño y amor que siempre me ha regalado, por apoyarme en cada una de mis locuras, y enseñarme los valores que ahora me hacen una persona de bien, madrecita este logro te lo dedico y espero que estés muy orgullosa de mi.

A mis padres

Roberto Guijarro Triana por darnos ese cariño y hogar que necesitábamos, por cada uno de sus consejos y enseñanzas que hoy me hacen una mejor persona, por todo su amor y ese apoyo incondicional que siempre me brindo. Por motivarme a salir adelante y luchar para ser alguien más en la vida aunque yo lo admiro y lo quiero por lo que es y no por la profesión que tiene, gracias papa y este gran logro se lo dedico a usted en especial.

Jesús López Olgúin por que junto con mi madre me regalaron la vida y la dicha de poder cumplir mis sueños, quiero darle las gracias por cada una de las enseñanzas que me dio, por apoyarme en esta etapa de mi vida papa. Lo admiro por ser un hombre fuerte y enseñarme ese valor de respeto y amor que le brindo a Delia†, porque lucharon siempre hasta el final y siempre me apoyaron y me demostraron su cariño, gracias y este logro se lo dedico a usted papa y a su china† donde quiera que se encuentre.

Quiero dedicar muy en especial este gran logro a **mis abuelitos el Sr. Benjamín López Estrada y a la Sra. Irma Olgúin Ramírez** por brindarme siempre ese bonito cariño tan puro y sincero. Por apoyarme en este transcurso de mi vida y cada uno de sus consejos. Abuelito muchas gracias por estar conmigo y cada una de esas enseñanzas que me ha dado, por enseñarme el valor de la amistad y que es mejor tener amigos que dinero. Abuelita no sé cómo agradecerle todo ese cariño y amor que me ha brindado a lo largo de mi vida, le dedico este logro con todo mi cariño porque este logro no es solo mío, sino también suyo porque cada atención, cada desvelada y cada consejo

ahora se ven reflejadas al terminar esta etapa de mi vida. Muchas felicidades abuelita por su logro, porque gracias a usted ahora soy un profesionalista y sobretodo una persona con valores y con mucho orgullo por tener una abuelita tan linda y valiosa como usted. La quiero mucho mima.

A mis tías Clementina, Adela, Angélica(more), Nelly, Máyela, y tíos Juan, Julio, Daniel, Israel, Antonio y Jorge por ese gran apoyo que siempre me brindaron, por esos consejos que nunca me faltaron pero sobre todo por hacerme sentir como uno más de sus hermanos, gracias y este logro también es para ustedes.

A mis hermanas Isaura, Julissa, Érica, Lluvia este logro es para ustedes y también es por ustedes, porque tener la responsabilidad de ser el hermano mayor implica muchas cosas y una de ellas es darles un buen ejemplo, espero que lo sigan porque me costó mucho pero me siento feliz porque sé que ustedes seguirán mis pasos. Hermanas las quiero mucho y espero que siempre estén orgullosas de mí.

A mi gran amigo **Antonio Luevanos (tocayito)** por cada experiencia que pasamos y estar siempre apoyándome, sabe que hemos pasado momentos felices y tristes pero siempre unidos, gracias tocayito.

A mi prima Ashley por hacerme sentir que tengo a mis hermanas junto a mí, y espero que un día seas una excelente profesionalista primita.

A toda mi familia y amigos que siempre estuvieron apoyándome durante este proceso de mi vida, por cada momento que pasamos juntos y por siempre confiar en mí.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTO	i
DEDICATORIAS	ii
ÍNDICE	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
RESUMEN	ix
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivo	2
1.2. Hipótesis:	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 Importancia del cultivo del maíz	3
2.2 Maíz forrajero	4
2.3 Importancia del maíz forrajero	6
2.4 Maíz para grano	7
2.5 Fertilización.....	8
2.6 Nitrógeno	8
2.6.1 Importancia del elemento para las plantas	8
2.6.2 Formas de asimilación	9
2.6.3 Funciones	10
2.6.4 Síntomas de deficiencia	11
2.6.5 Síntomas de toxicidad	11
2.6.6 Ciclo del elemento en la naturaleza	12
2.6.7 Procesos que se presentan en la naturaleza y en el suelo que se consideran como fuentes de aportación	14
2.6.8 Procesos que se presentan en la naturaleza y en el suelo que disminuyen la disponibilidad y aprovechamiento para las plantas	16
2.6.9 Formas del elemento en el suelo	18
2.6.10 Factores que afectan la disponibilidad del elemento en el suelo	18
2.7 Fosforo	19
2.7.1 Funciones del fosforo en las plantas	19
2.7.2 Formas del fosforo en el suelo	19
2.7.3 Formas utilizables del fosforo	20
2.7.4 Movimiento del fosforo en el suelo	20

2.7.5	Época de aplicación del fosforo	20
2.7.6	Forma de aplicación del fosforo	20
2.7.7	Factores que afectan la disponibilidad del fosforo	21
2.8	Potasio.....	21
2.8.1	Funciones del potasio en las plantas	21
2.8.2	Formas del potasio en el suelo	22
2.8.3	Formas utilizables del potasio	22
2.8.4	Movimientos de potasio en el suelo	22
2.8.5	Época y forma de aplicación del potasio	23
2.8.6	Disponibilidad de potasio en los suelos	23
2.8.7	Deficiencia de potasio	24
2.9	Fertilización en maíz	24
2.9.1	Nutrientes esenciales para las plantas	24
2.9.2	Fertilización con nitrógeno	25
2.9.3	Efecto de la fertilización nitrogenada en presembrado	25
2.9.4	Fertilización con fósforo	26
2.9.5	Fertilización con potasio	27
2.10	Fertilización orgánica	28
2.10.1	Fertilizantes orgánicos.....	28
2.10.2	Las ventajas de la fertilización orgánica.....	29
III.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	30
3.1	Localización geográfica del sitio experimental	30
3.2	Características climáticas.....	30
3.3	Preparación del terreno	31
3.4	Siembra	31
3.6	Fertilización.....	32
3.8	Control de malezas	33
3.9	Material genético	34
3.10	Diseño y parcela experimental.....	34
3.11	Variables agronómicas evaluadas.....	34
3.11.1	Altura de planta (AP)	34
3.11.2	Superficie cosechada	34
3.11.3	Rendimiento de forraje verde (RFV)	35
3.11.4	Índice de cosecha (IDC).....	35

3.11.5 Porcentaje de materia seca (%MS).....	36
3.11.6 Materia seca total (MST)	36
3.12 Variables de calidad fisiológica:.....	37
3.12.1 Ensayo de germinación estándar (G)	37
3.12.2 Desarrollo Longitud de plúmula (V)	37
3.12.4 Peso de mil semillas (PMS).....	38
3.12.5 Peso volumétrico (PV).....	38
3.13 Variables de calidad forrajera.....	38
3.13.1 Determinación de fibra detergente acida (FDA) y fibra detergente neutra (FDN).....	39
3.13.2 Digestibilidad de la materia seca (DIMS)	41
3.13.3 Valor relativo de forraje (VRF)	41
3.14 Caracteres Cualitativos	42
3.14.1 Floración masculina (FM)	42
3.14.2 Floración femenina (FF)	42
3.15 Caracteres cuantitativos	42
3.15.1 Altura de planta (AP)	42
3.15.2 Diámetro de mazorca (DM)	42
3.15.3 Longitud de mazorca (LM)	42
3.15.4 Número de hileras de granos en la mazorca superior (NHM)	42
3.15.5 Número de granos por hilera en la mazorca superior (NGH)	43
3.15.6 Rendimiento de grano (RG)	43
3.15.7 Determinación de Nitrógeno y Proteína (N) y (PC)	43
3.16 Análisis estadístico de datos	46
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	47
4.1 Comportamiento promedio de variables de forraje	50
4.2 Comportamiento promedio de caracteres agronómicos	53
4.3 Comportamiento promedio de componentes de rendimiento de grano	54
4.4 Comportamiento promedio de variables de calidad física de semilla de semilla	56
4.5 Comportamiento de variables de calidad fisiológica de semilla.....	57
V. CONCLUSIONES.....	59
VI. BIBLIOGRAFÍA.....	60

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Labores culturales en la preparación del terreno.	31
Cuadro 2. Calendario de riego en el experimento.	32
Cuadro 3. Fertilización química aplicada a la población 60 en primer ciclo. .	32
Cuadro 4. Fertilización orgánica aplicada a la población 60 en primer ciclo.	32
Cuadro 5. Fertilización química aplicada a la población 60 en el segundo ciclo.	33
Cuadro 6. Fertilización orgánica aplicada a la población 60 en el segundo ciclo.....	33
Cuadro 7. Insecticidas utilizados, número de aplicaciones y dosis utilizadas en el experimento.....	33
Cuadro 8. Rangos de longitud media para determinar el vigor en plántulas (Peretti, 1994).	38
Cuadro 9. Solución para determinación de fibra ácido detergente.	41
Cuadro 10. Solución para análisis de Fibra neutro detergente.	41
Cuadro 11. Cuadrados medios del análisis de varianza de variables de rendimiento de forraje y análisis bromatológico.	48
Cuadro 12. Cuadrados medios del análisis de varianza de variables agronómicas.....	48

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ciclo del nitrógeno y su relación con los compartimentos orgánicos y minerales (Cerón y Aristizábal, 2012).	14
Figura 2. Comportamiento promedio de variables de forraje evaluadas con tres tratamientos de fertilización.	51
Figura 3. Comportamiento promedio de variables de forraje evaluadas con tres tratamientos de fertilización.	52
Figura 4. Comportamiento promedio de variables de calidad bromatológica evaluadas en tres tratamientos de fertilización.	53
Figura 5. Comportamiento promedio floración masculina (FM) y floración femenina (FF) evaluadas en tres tratamientos de fertilización.	54
Figura 6. Comportamiento promedio altura de planta (AP) evaluada en tres tratamientos de fertilización.	54
Figura 7. Comportamiento promedio de componentes de rendimiento de grano evaluado en tres tratamientos de fertilización.	55
Figura 8. Comportamiento promedio de rendimiento de grano (RG) e índice de cosecha (IDC) evaluado en tres tratamientos de fertilización.	56
Figura. 9 Comportamiento promedio de variables de calidad física de la semilla de maíz, evaluada en tres tratamientos de fertilización.	57
Figura. 10 Comportamiento promedio de variables de calidad fisiológica de la semilla de maíz, evaluada en tres tratamientos de fertilización.	58

RESUMEN

El presente trabajo se realizó con el objetivo de evaluar las características agronómicas del grano y forraje de maíz (*Zea mays* L.) con fertilización orgánica y química. El trabajo se realizó en San Juan de Guadalupe, Durango, México el experimento se estableció en el ciclo primavera-verano de los años 2016 y 2017 en los meses de abril y marzo respectivamente, se evaluaron tres tratamientos, como material vegetal se utilizó la denominada población 60 perteneciente a la colección de maíces de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna, en un diseño de bloques al azar en localidades con cuatro repeticiones. La parcela útil consistió en cuatro surcos de 12.0 m de largo y 0.75 m de ancho con separaciones entre planta y planta de 0.25 m para grano y de 0.15 m para forraje, dando como resultado una parcela útil de 36.0 m². Se evaluaron 22 variables agronómicas de grano y forraje. Para el análisis se utilizó el paquete estadístico SAS 9.4 para el análisis estadístico de las variables. Los resultados obtenidos mostraron que no existe diferencia estadística entre los tratamientos. En el rendimiento de grano sí se presentaron diferencias estadísticas en los tres tratamientos, siendo el tratamiento de la fertilización química el que obtuvo mejor resultado. En cuanto a calidad de fibras los resultados obtenidos se encuentran dentro de los parámetros sugeridos, así mismo en el contenido de proteína los resultados están en el rango óptimos para forraje de maíz. Sin embargo los resultados obtenidos muestran diferencias significativas en el ciclo y sistema de producción.

Palabras claves: *Zea mays*, fertilización orgánica, forraje, grano, fertilización química.

I. INTRODUCCIÓN

La Comarca Lagunera, ubicada en el centro-norte de México, está conformada por parte de los Estados de Coahuila y Durango. Cuenta con una extensión total de 44,887 km², la superficie agrícola bajo modalidad de riego representa 1,624 km², mientras que la superficie bajo la modalidad de temporal solo alcanza 493,75 km² (INEGI, 2008).

En la región se siembra una superficie de 27,486 ha de maíz forrajero, en las que se obtiene una producción de 1'247,761 ton, el rendimiento promedio es de 45.71 ton•ha⁻¹ en condiciones de riego (SIAP, 2013). En el estado de Durango se siembra una superficie de maíz grano de 21,095 ha del cual se obtiene un rendimiento de 6.8 ton•ha⁻¹ en condiciones de riego y en condiciones de temporal alcanza una producción de 2.8 ton•ha⁻¹ (SAGARPA, 2014).

Para satisfacer las demandas del sector ganadero y de la población humana es necesario emplear elevadas cantidades de fertilizantes, especialmente los más solubles, más allá de las necesidades de los cultivos, es otra de las causas que provocan situaciones de estrés en la planta. El exceso y la deficiencia mineral para la nutrición de la planta se manifiestan como un estrés oxidativo que como consecuencia trae la disminución de la calidad nutricional en la planta en cuanto a contenido de proteínas, vitaminas y antioxidantes, además de tener costos elevados (Zhu, 2002).

Actualmente el desarrollo de la agricultura orgánica va en aumento, debido a la existe tendencia de millones de personas que exigen cada día más

al productor, productos de calidad y sin residuos contaminantes que afectan al organismo y al ambiente (Gallegos, 2006).

Por lo anterior el objetivo del estudio de investigación es evaluar el efecto de fertilizantes orgánicos y compararlos con la fertilización sintética recomendada en el cultivo del maíz forrajero para la región de la Comarca Lagunera.

1.1. Objetivo: Evaluar las características agronómicas de grano y forraje con fertilización orgánica y sintética.

1.2. Hipótesis: Existe un comportamiento diferente en las características agronómicas de grano y forraje de maíz en dos métodos de fertilización.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Importancia del cultivo del maíz

El maíz (*Zea mays* L.) es de gran importancia económica a nivel mundial ya sea como alimento humano, alimento para el ganado o fuentes de un gran número de productos industriales. La diversidad de los ambientes bajo los cuales es cultivado el maíz es mucho mayor que cualquier otro cultivo. Habiéndose originado y evolucionado en la zona tropical como una planta de excelentes rendimientos. Hoy en día se cultiva hasta los 58° de latitud Norte en Canadá, 40° de latitud Sur en Argentina y en las cordilleras de los Andes a los 3800 msnm. La mayor parte del cultivo es cultivado a altitudes medias (Paliwal, 2000).

El empleo de maíz en la alimentación animal tiene gran versatilidad, ya que puede ser consumido en verde, ensilado, seco (heno o rastrojo) o como grano (Reta *et al.*, 2002).

El cultivo del maíz por su eficiencia en su uso de agua, lo hace un componente importante del patrón forrajero en la Comarca Lagunera. Además sembrando temprano en primavera y cosechando oportunamente permite una segunda siembra durante el verano, deseable en exportaciones que requieren hacer el uso intensivo del agua. El maíz también puede ser buena opción para utilizarse como cultivo de rotación en terrenos con problemas de enfermedades radiculares como pudrición texana y *Verticillium* (Reta *et al.*, 2002).

2.2 Maíz forrajero

La planta de maíz es un excelente forraje para el ganado. Produce en promedio, más materia seca y nutrientes digestibles por unidad de superficie que otros forrajes (Paliwal, 2001); en ambientes templados es comúnmente usada para hacer ensilaje. Por otro lado, en los trópicos la planta de maíz es usada como forraje en varias etapas de su desarrollo. Una práctica común es quitar las hojas inferiores a medida que la planta crece y alimentar con ellas el ganado. Muy a menudo, el maíz es considerado un cultivo de doble propósito. Para forraje y grano, y varias partes de la planta son usadas como forraje. Las hojas verdes se van quitando una a una a medida que la planta crece y se le dan al ganado. En otros casos la parte superior de la planta se corta para alimentar al ganado después que el grano llega a su madurez fisiológica. Al cosechar las mazorcas, los restos también se usan como forraje. El maíz también se cultiva como forraje verde en muchos países tropicales; se cosecha después de la floración pero mucho antes de la madurez, y se usa la planta entera.

El forraje es el alimento vegetal para los animales domésticos, generalmente este término se refiere a los materiales como, pastos, heno, alimentos verdes y ensilaje, así mismo se entienden por ensilaje al forraje conservado en un estado succulento, mediante una fermentación parcial (Robles, 1990).

También se define como forraje aquellos alimentos voluminosos y a la inversa de los concentrados, los forrajes tienen gran cantidad de fibra y su valor

nutritivo es bajo. Como representante de este grupo se puede mencionar el ensilaje, henificado, pastos y rastrojo (Kratochvil, 2001).

Un buen maíz forrajero deberá poseer las siguientes cualidades: Rendimiento de forraje verde mayor a $50 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1}$ rendimiento de forraje seco o materia seca mayor a 25%, energía neta de lactancia mayor a $1.45 \text{ Mgal} \cdot \text{kg}$, digestibilidad de la materia seca mayor a 65%, contenido de fibra detergente ácido menor a 30% y contenido de fibra detergente neutro menor a 60% (Vergara, 2002).

Es potencialmente posible obtener hasta $80 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1}$ de forraje seco (30% de materia seca.), con un contenido de grano de 45-50% (Reta *et al.*, 2001).

El uso de altas densidades de población y de una adecuada distribución de plantas en el terreno son técnicas para incrementar el rendimiento de cultivo por unidad de área, en Estados Unidos y Canadá, el incremento en la densidad de población es un factor importante que en las últimas décadas, ha contribuido al incremento en el rendimiento del maíz, esta respuesta se ha logrado gracias a la generación de genotipos de maíz que por su altura de planta intermedia, hojas erectas o semi erectas y resistencia al acame de raíz y tallo, tiene tolerancia en altas densidad de población (Reta *et al.*, 2000).

En los sistemas de producción actuales, entre los principales componentes de la tecnología utilizada, se encuentra el uso de los híbridos de alto potencial de rendimientos adaptados a los sistemas de la región, la mayoría de estos híbridos manifiestan altos potenciales de rendimientos tanto en grano

como en materia seca total y alta calidad energética, estos genotipos han sido identificados, por su capacidad de adaptación y potencial de rendimiento (Carrillo, 1998)

El maíz es un cultivo muy versátil que puede ser sembrado, desde fechas tempranas, hasta fechas tardías. En el transcurso, los productores tienen la opción de cosechar el maíz para el ensilaje o bien para grano. El maíz entre otras presenta una ventaja que puede producir alta cantidad de materia seca con una cosecha. El ensilaje de maíz, permite obtener forraje de alta palatabilidad con calidad constante y alto contenido energético. Además la producción del ensilaje del maíz requiere menos tiempo de trabajo y maquinaria utilizada que otra especie forrajera, así el costo por tonelada de materia seca producida tiende a ser más bajo para el ensilaje del maíz que otro forraje. En algunas características deseables de calidad del ensilaje, el maíz cuenta con alta producción de la materia seca, alto contenido proteico, contenido de energía, digestibilidad, fibra baja y contenido óptimo de la materia seca en la cosecha para la fermentación y el almacenaje aceptable (Kratovich, 2001).

2.3 Importancia del maíz forrajero

El maíz forrajero es después de la alfalfa uno de los forrajes más utilizados en La Comarca Lagunera, para la alimentación animal de los productores de leche. Por ello ha venido incrementando su superficie hasta por seis veces comparando el periodo 2000-2005 versus 2009-2013, de manera similar incrementó su producción en un 66.7%. El estudio de la producción de maíz forrajero, y su análisis económico, implica determinar su rentabilidad para establecer el grado de competitividad que tiene este forraje con respecto a otros

forrajes y sobre todo con respecto al maíz grano, cultivo que en los últimos años ha venido disminuyendo su rentabilidad y con ello la superficie cosechada de este importante producto alimenticio, por todas estas razones es muy importante determinar la rentabilidad del cultivo para saber si los cambios en los patrones de cultivo que se han venido desarrollando en la región son dependientes de las rentabilidades de los cultivos (Moreno, 2008).

El empleo de maíz en la alimentación animal tiene gran versatilidad, ya que puede ser consumido en verde, ensilado, seco (heno o rastrojo) o como grano (Reta *et al.*, 2002).

2.4 Maíz para grano

El maíz constituye el alimento básico de millones de personas a nivel mundial; se emplea como materia prima en la industria (Prasanna 2012), del que se obtiene una amplia gama de productos (Paliwal 2001). En algunos estudios sobre la producción de grano no se han encontrado efectos de la densidad de plantas sobre el rendimiento de este o sobre la producción de materia seca en niveles de 50 000 a 87 500 plantas•ha⁻¹ o en densidades superiores a 90 000 plantas•ha⁻¹ (Peña *et al.*, 2010). Se recomienda el empleo de híbridos de doble propósito, productores de grano y forraje, siempre y cuando se utilicen prácticas de manejo similares.

Se considera que los híbridos altamente productores de grano son también los mejores en calidad de forraje (Wong *et al.*, 2007). Así las densidades de siembra recomendadas para maíz varían según el objetivo, que puede ser grano, forraje o ambos (Sánchez *et al.*, 2011). Las ventajas de los

híbridos en relación con las variedades criollas y sintéticas son producción de grano, uniformidad en floración, altura de planta, maduración, plantas más cortas pero vigorosas que resisten el acame (Castañeda, 2001).

En México la mayor producción se obtiene en los estados de Sinaloa (16.52%), Jalisco (14.66%), Michoacán (8.2%), Estado de México (7.1%), Chiapas (6.4%) y Guerrero (6.0%), en los cuales se tiene un rendimiento promedio de 3.2 ton•ha⁻¹ (SIAP 2012).

2.5 Fertilización

La Comarca Lagunera es una región con muy baja precipitación pluvial y la superficie de riego ha ido disminuyendo, hasta llegar a una zona de temporal, esto afecta considerablemente en la producción como también en la economía, ya que no es posible utilizar fertilizantes convencionales en un temporal por la falta de agua, y por ello es necesario optar por nuevos métodos de fertilización como lo es la orgánica, además que es de suma importancia cuidar el recurso agua para una mayor eficiencia, ya que en la región las condiciones para que se dé un desarrollo económico continuo es el uso eficiente de los recursos y siendo autosuficientes en la producción de granos básicos para nuestro país (Cruz, 2016).

2.6 Nitrógeno

2.6.1 Importancia del elemento para las plantas

El nitrógeno es, después del agua, el nutrimento más limitante con mayor

impacto sobre el rendimiento y productividad de las plantas (Celaya-Michel y Castellanos-Villegas, 2011) y la calidad de los cultivos (Aruani *et al.*, 2008). De los 17 elementos nutritivos reconocidos como esenciales para las plantas (Parra *et al.*, 2012) el nitrógeno promueve el crecimiento vegetativo, ya que forma parte de la estructura molecular de las proteínas, de las lecitinas, de la clorofila, de los ácidos nucleicos (ADN y ARN), de los citocromos y de las coenzimas (Molina y Hernán., 2012).

Si el nitrógeno no se añade en dosis requerida por la planta, el crecimiento y los rendimientos se ven limitados, mientras que el suministro excesivo conlleva a pérdidas de este elemento nutritivo hacia el ambiente, como principal fuente potencial de contaminación hídrica y atmosférica (Machado y Sarmiento, 2012).

2.6.2 Formas de asimilación

El nitrógeno (N) presente en la atmósfera no es disponible para la asimilación por las plantas. La fijación biológica de nitrógeno con microorganismos (bacterias) de vida libre y simbiótica con algunas plantas, representa una importante entrada de nitrógeno al suelo (Celaya-Michel y Castellanos-Villegas, 2011) ya que tienen la capacidad de romper el enlace molecular del nitrógeno, por las nitrogenasas (enzimas) que posee (Cerón-Rincón, y Aristizábal-Gutiérrez, 2012). Diversas especies de la familia de las leguminosas actúan en simbiosis con bacterias fijadoras como *Rhizobium* o *Bradyrhizobium* que forman nódulos (pequeñas tumoraciones) (Celaya-Michel y Castellanos-Villegas, 2011) en las raíces de las plantas, donde las bacterias se transforman en bacteroides y fijan nitrógeno (Aruani *et al.*, 2008).

El nitrógeno es el único elemento que puede ser absorbido en tres formas: en nitratos (NO_3^-), amonio (NH_4^+) y como aminoácidos (Parra-Terraza *et al.*, 2012), provienen principalmente de la mineralización de la materia orgánica del suelo (Miranda *et al.*, 2014.) Cuando se absorbe el N como nitrato, las plantas deben primero reducirlo a amonio, a un costo energético elevado, a diferencia del amonio, el cual una vez absorbido es metabolizado inmediatamente (Gonzales *et al.*, 2012).

A los 42 y 62 días del desarrollo de la planta, los contenidos de amonio en el suelo son menores y en la savia se aprecia en mayores cantidades. Esta forma de nitrógeno no se acumula en el tejido vegetal, sino que se incorpora directamente a compuestos como la glutamina, procedentes del ciclo de Krebs, los cuales representan un medio importante de almacenamiento de nitrógeno en la planta. Investigaciones han revelado que pueden encontrarse concentraciones de NH_4^+ en el xilema de plantas en tomate cultivado con NO_3^- como única fuente de nitrógeno, sin causar toxicidad o reducción del crecimiento, y argumentan que las células vegetales incorporan el amonio rápidamente en los esqueletos carbonados para formar aminoácidos (Barrios-Marta *et al.*, 2012).

2.6.3 Funciones

El nitrógeno actúa en los procesos de absorción iónica, fotosíntesis, respiración, síntesis de la clorofila, multiplicación y diferenciación celular, herencia, en el metabolismo de la planta (Alcántar-González, y Trejo-Tellez, 2009), influye en el crecimiento vegetativo, como en el incremento del volumen de los brotes y la ganancia en peso de los tallos y hojas (Rincón-Castillo y

Adolfo-Ligarreto, 2010), en el macollamiento, la formación y llenado del grano, ya que forma parte de la estructura molecular de las proteínas, de las lecitinas, de la clorofila, de los ácidos nucleicos (ADN y ARN), de los citocromos y de las coenzimas (Molina y Hernán, 2012). La clorofila es el pigmento vegetal capaz de absorber y transmitir la energía de la luz radiante o radiación solar. Está conformada por un anillo molecular consistente en un átomo de Mg y cuatro átomos de N. Parte de esta molécula, está involucrado en el proceso de la fotosíntesis. Cantidades adecuadas de N en la planta, producen hojas de color verde oscuro debido a que éstas tienen alta concentración de clorofila (Rincón-Castillo y Adolfo-Ligarreto, 2010).

2.6.4 Síntomas de deficiencia

Su deficiencia en la planta, se manifiesta en el retraso del crecimiento (Machado y Sarmiento, 2012) con plantas pequeñas y atrofiadas, hojas pequeñas, angostas y erectas, clorosis o amarillamiento del tejido foliar y reducción del macollamiento y disminución del rendimiento del grano (Molina y Hernán., 2012) y es un factor limitante para obtener mayor rendimiento (Machado y Sarmiento, 2012).

2.6.5 Síntomas de toxicidad

El exceso de nitrógeno en la fase de crecimiento puede originar un crecimiento desordenado y acelerado, con hojas excesivamente grandes y frágiles (Aruani *et al.*, 2008), también causa problemas en frutos obteniendo un fruto de menor masa e índice de madurez y mayor acidez. Además, puede favorecer la aparición de plagas y enfermedades (Torres *et al.*, 2010).

El exceso de amonio provoca el engrosamiento de brotes en la base del tallo, las hojas se tornan verde pálido y las más viejas mueren, esto se da por la acumulación del mismo en el tejido ante la incapacidad de ser metabolizado rápidamente (Gonzales *et al.*, 2012).

Al aplicar mezclas de amonio y nitrato en etapas tempranas de desarrollo, los pesos secos de raíz y de hojas disminuyen notablemente, y en alta concentración afecta el crecimiento radicular (Parra *et al.*, 2012).

Si no se añade en dosis requerida por la planta y se suministra en exceso esta se pierde por volatilización hacia el ambiente, como principal fuente potencial de contaminación hídrica y atmosférica (Machado y Sarmiento, 2012).

2.6.6 Ciclo del elemento en la naturaleza

La dinámica de este elemento en la biósfera comprende principalmente la fijación de nitrógeno, la mineralización, la nitrificación, la desnitrificación y la oxidación anaeróbica del amonio, procesos originados principalmente por microorganismos presentes en el suelo. El nitrógeno entra en la biosfera por fijación química y biológica del nitrógeno molecular (N_2) y se remueve de la misma por desnitrificación (Cerón y Aristizábal, 2012).

La fijación del nitrógeno, consiste en la incorporación del nitrógeno atmosférico, a las plantas, a través de microorganismos (bacterias y cianobacterias), que se encuentran presentes en el suelo. Esta fijación se da por medio de la conversión de nitrógeno gaseoso (N_2) en amoníaco (NH_3) o nitratos (NO_3^-) por bacterias del género *Rhizobium* (produce 150 a 400 $kg \cdot ha^{-1} \cdot año$), *Azotobacter* (aerobias), *Clostridium* (anaerobias), *Rhodospirillum*

(Alcántar y Trejo 2009).

Los procesos de mineralización del nitrógeno son determinantes para la disponibilidad del elemento en los ecosistemas terrestres, se da por la desaminación y degradación de la materia orgánica que se incorpora al suelo (Cerón y Aristizábal., 2012). La descomposición de la materia orgánica influye mucho la temperatura del suelo que debe ser de 30 a 35 °C ya que favorece la actividad microbiana, entre -33 a -10 kPa de potencial de agua del suelo, pH entre 6 a 8 (Flores *et al.*, 2013).

El proceso de nitrificación (Figura 1) consiste en la oxidación secuencial del amonio a nitrito y la oxidación de nitrito a nitrato por bacterias del género *Nitrobacter* (Cerón y Aristizábal., 2012).

La desnitrificación es la reducción de los nitratos (NO_3^-) a nitrógeno gaseoso (N_2), y amonio (NH_4^+) a amoníaco (NH_3), llevada a cabo por las bacterias desnitrificadoras *Pseudomonas desnitrificans*, del género *Thiobacillus* (Alcántar y Trejo 2009).

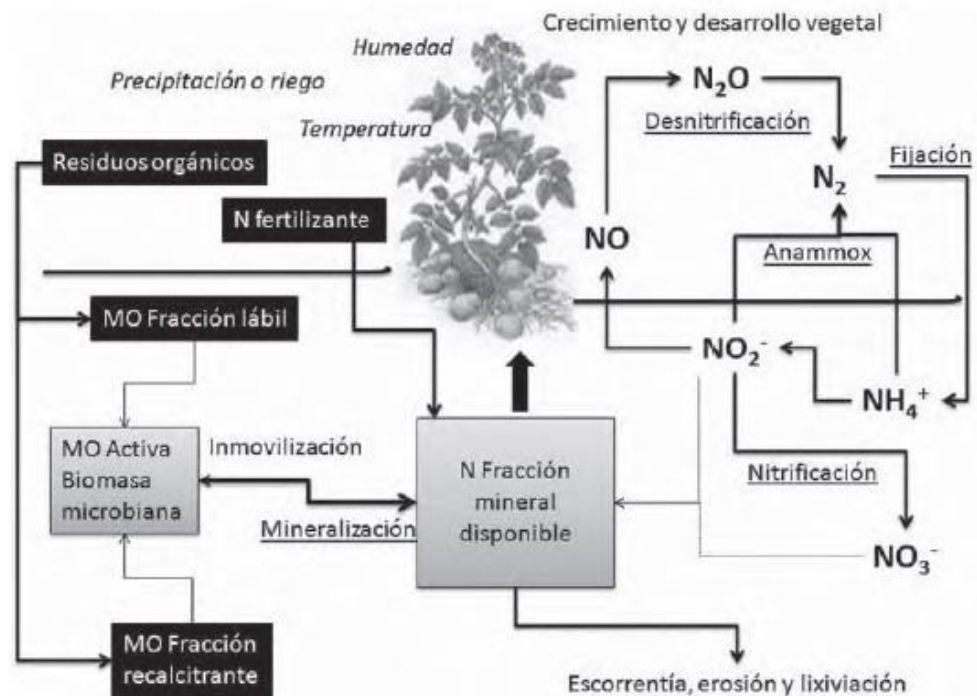


Figura 1. Ciclo del nitrógeno y su relación con los compartimentos orgánicos y minerales (Cerón y Aristizábal, 2012).

2.6.7 Procesos que se presentan en la naturaleza y en el suelo que se consideran como fuentes de aportación

Los procesos que aportan al suelo nitrógeno aprovechable para las plantas son: La precipitación pluvial, el agua de la lluvia procedente de diferentes fuentes contienen nitrógeno en forma aprovechable, puede ser en óxidos de nitrógeno o nitratos y que son sintetizados por las descargas eléctricas que son provenientes de la contaminación del ambiente causada por plantas industriales. También puede poseer amonio o nitrógeno orgánico por contaminación con polvo atmosférico. La cantidad de nitrógeno incorporada al suelo a través del agua de la lluvia se estima entre 1 y 50 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}$ (Alcántar y Trejo, 2009).

Mineralización y/o descomposición de la materia orgánica: La planta se beneficia con la asociación simbiótica, al morir, sus hojas o raíces aportan nitrógeno disponible tanto a microorganismos como a otras plantas (Cerón y Aristizábal, 2012). Las plantas reabsorben en promedio la mitad de su contenido foliar de nitrógeno antes de la caída (Celaya y Castellanos, 2011) se estima que el 40% del (N) en el suelo se deriva de las hojas (González y Causarano, 2014) y renovación de raíces, que constituyen el principal proceso de transferencia de elementos nutritivos al suelo y puede llegar a ser de más de 90% del nitrógeno absorbido por las plantas. Se denomina mineralización al proceso mediante el cual el nitrógeno orgánico del suelo es transformado por los microorganismos del suelo a formas inorgánicas (Cerón y Aristizábal., 2012). El primer producto de la mineralización es el amoníaco (NH_3) el cual puede adquirir un hidrógeno y formar amonio (NH_4^+) (Celaya y Castellanos, 2011). La absorción del N depende de la manera en la que se encuentre, es decir, orgánica o inorgánica en el caso del nitrógeno que proviene de una fuente orgánica, como la urea, la absorción se produce en forma de amonio. Se estima que la fijación biológica de N al suelo, contribuye globalmente con 180 millones de toneladas métricas de amonio por año y que el aporte actual de nitrógeno antropogénico es comparable con el aporte biológico. La asimilación microbiana es un proceso crítico que controla la disponibilidad de N para las plantas, que junto con la relación C/N en plantas y suelo, son variables claves que afectan las tasas de mineralización. La disponibilidad de carbono y la temperatura regulan la actividad del potencial biológico encargado de la reducción de nitrato (Cerón y Aristizábal, 2012).

La fijación de nitrógeno atmosférico por organismos simbióticos ocurre con casi todas las leguminosas con la bacteria del género *Rhizobium* fijando el nitrógeno atmosférico y cediéndole a la planta. La fijación de nitrógeno atmosférico por organismos no simbióticos se encuentran los organismos más importantes, capaces de llevar a cabo este tipo de fijación que son las bacterias (géneros *Clostridium*, *Azotobacter*, *Rhodospirillum*, *Beijerinckia*, *Derxia*), hongos del género *Phoma*, algas Cianofíceas (Azul-verdes) de las familias *Nostocaceae* y *Oscillatoriaceae*. Por su parte la fijación artificial de nitrógeno atmosférico en este tipo se utiliza el N del aire y el gas natural, cuya combustión proporciona Hidrógeno, con estos dos elementos reaccionando a alta presión y temperatura se sintetiza el amoníaco (NH_3) (Alcántar y Trejo 2009). Otra forma de aportación es por estiércol de animales especialmente bovinos, ya que aportan suficiente nitrógeno (Flores *et al.*, 2013) y otras fuentes de elementos nutritivos para los cultivos. Su manejo adecuado presenta ventajas como el mejoramiento de la fertilidad y calidad del suelo (Miranda *et al.*, 2014).

2.6.8 Procesos que se presentan en la naturaleza y en el suelo que disminuyen la disponibilidad y aprovechamiento para las plantas

Las pérdidas de este elemento se dan, por la absorción de nitrógeno por plantas superiores compitiendo con las de cultivo, erosión, volatilización en forma de nitrógeno y en amoníaco, lixiviación, inmovilización microbológica, y desnitrificación (Alcántar y Trejo 2009), por la eliminación de la cubierta vegetal por perturbaciones como: pastoreo excesivo del ganado, desmonte con maquinaria o por fuego, que afecta los procesos y el funcionamiento del ecosistema y que pueden llevar a disminuir el contenido de nitrógeno del suelo

(Celaya y Castellanos, 2011).

La aplicación de fertilizante nitrogenado en exceso lleva a la volatilización del nitrógeno (alrededor de 60%), disminuyendo su uso por la planta ocasionando la reducción en el rendimiento y la actividad de las comunidades bacterianas desnitrificantes en suelos agrícolas (Cerón-Rincón *et al.*, 2012).

La aplicación de fertilizante nitrogenado en exceso reduce la actividad de las comunidades bacterianas desnitrificantes (Cerón-Rincón *et al.*, 2012), como la utilización de Urea convencional como principal fuente de nitrógeno conlleva pérdidas importantes por volatilización, lixiviación, reducción desasimilatoria, desnitrificación y escorrentía (Barrios y Basso, 2012), desaprovechando su uso por la planta ocasionando la reducción en el rendimiento (Cerón-Rincón *et al.*, 2012), por ello, actualmente los fertilizantes nitrogenados de liberación controlada como la urea-ESN (Environmental y Smart Nitrogen) o inhibidores de la nitrificación como el sulfonitrato de amonio con el inhibidor 3,4-dimitipirazol fosfato (DMPP) son herramientas muy útiles para disminuir las pérdidas de nitrógeno a través del retardo de la tasa de nitrificación o de la inhibición de la acción de las bacterias nitrificantes (Barrios y Basso, 2012).

Las aplicaciones continuas de estiércol y fertilizante inorgánico pueden poner en riesgo al suelo provocando salinidad (Flores. *et al.*, 2013), afecta el proceso de fijación simbiótica (Gómez *et al.*, 2007) ya que contribuye a la reducción de las poblaciones de *rhizobia* del suelo y la capacidad de las plantas

para formar nódulos (Gómez *et al.*, 2013.).

2.6.9 Formas del elemento en el suelo

El nitrógeno se encuentra en el suelo como: nitratos, nitritos y amoníaco (Cerón y Aristizábal, 2012). Si el suelo se encuentra seco, es decir, sin humedad, el nitrógeno inorgánico permanece en el suelo por varios periodos, la humedad del suelo favorece la mineralización y liberación de nitrógeno disponible para la planta (Miranda).

2.6.10 Factores que afectan la disponibilidad del elemento en el suelo

Los factores ambientales (O_2), humedad, precipitación, temperatura), afectan la fijación del nitrógeno ya que disminuyen el proceso (Cerón-Rincón *et al.*, 2012).

También repercute mucho la temperatura que presenta el suelo cuando es de 5-16 °C, el porcentaje de nitrificación disminuye de 59-29%, otro factor es la humedad, cuando es inferior a 0.05 atmosferas (Alcántar y Trejo, 2009) provoca la reducción de la fijación, ejemplo: en las fabáceas si no hay humedad disminuye la fijación biológica (Córdova *et al.*, 2011), y la reducción de humedad afecta la mineralización de la materia orgánica (Miranda *et al.*, 2014). La pérdida de amonio por volatilización se ve afectada por el pH del suelo cuando es mayor de siete, ya no pudiendo ser asimilable por la planta (Barrios y Basso, 2012).

Estudios recientes en diferentes tipos de suelo han concluido que la textura y el tipo de drenaje que presenta el suelo afecta la mineralización de nitrógeno, ya que los grandes espacios porosos aumentan la lixiviación del elemento nutritivo, aunque los patrones estacionales tienen mayor efecto en

esta, por los cambios de temperatura especialmente la baja o alta temperatura en el suelo (Flores *et al.*, 2013).

2.7 Fosforo

2.7.1 Funciones del fosforo en las plantas

El fosforo es un componente de ciertas enzimas y proteínas, trifosfato de adenosina (ATP), ácidos ribonucleicos (RNA), ácidos desoxirribonucleicos (DNA), y fitina. El ATP está involucrado en varias reacciones de transferencia de energía, y el RNA y DNA son componentes de la información genética (Jones, 1998).

El fosforo desempeña un papel importante en la fotosíntesis, la respiración, el almacenamiento y transferencia de energía, la división y crecimiento celular y otros procesos que se llevan a cabo en la planta. Además, promueve la rápida formación y crecimiento de las raíces, mejora la calidad de la fruta, hortalizas y granos y está involucrado en la transferencia de características hereditarias de una generación a la siguiente (Potash & Phosphate Institute, 1997)

2.7.2 Formas del fosforo en el suelo

El fosforo en el suelo puede clasificarse en general como orgánico e inorgánico, dependiendo de la naturaleza de los compuestos en que se encuentra. La fracción orgánica se allá en el humus y otros materiales orgánicos, que pueden o no estar asociado con él. La fracción inorgánica se encuentra en numerosas combinaciones con hierro, aluminio, calcio, flúor y otros elementos (Tisdale y Nelson, 1982).

2.7.3 Formas utilizables del fósforo

Las plantas absorben la mayoría del fósforo como ion ortofosfato primario (H_2PO_4^-), las plantas también absorben pequeñas cantidades de fósforo como ion ortofosfato secundario (HPO_4^{2-}). El pH del suelo influye en gran parte en la absorción de estas dos formas de fósforo por la planta (Potash & Phosphate Institute, 1997).

2.7.4 Movimiento del fósforo en el suelo

El fósforo se mueve muy poco en la mayoría de los suelos, generalmente se mantiene en el lugar donde ha sido colocado por la meteorización de los minerales o por la fertilización. Muy poco de este elemento se pierde por lixiviación, aun cuando se mueve más libremente en suelos arenosos que en arcillosos y la erosión y la remoción por el cultivo son las dos únicas formas significativas de pérdidas de fósforo del suelo (Guerrero, 1996).

2.7.5 Época de aplicación del fósforo

Como el fósforo no se mueve a través del suelo, deberá aplicarse en posiciones en donde pueda ser alcanzado por las raíces de las plantas cuando necesiten, es decir aplicarse antes de la siembra (Cooke, 1997).

2.7.6 Forma de aplicación del fósforo

El contenido del fósforo en la zona radicular debe ser lo suficientemente alto para asegurar su disponibilidad durante todas las etapas de crecimiento. La fijación es un factor importante a considerar cuando se debe decidir la forma de aplicación del fósforo. Existe un mayor contacto entre el suelo y el fertilizante cuando se aplica al voleo y se le incorpora con el arado o con la

rastra que cuando se le aplica en banda (Rodríguez, 1996)

2.7.7 Factores que afectan la disponibilidad del fosforo

La disponibilidad de fosforo presenta una doble restricción: el bajo nivel de fosforo total en los suelos y las bajas cantidades de las formas disponibles. Además, cuando se aplican al suelo los fosfatos solubles, estos son rápidamente fijados hacia las formas insolubles que en un tiempo van a ser no disponible para las plantas. En suelos ácidos, el fosforo es preferiblemente fijado por hierro, aluminio y magnesio, y en suelos alcalinos por el calcio y el magnesio, esta fijación reduce gradualmente la eficiencia de los fertilizantes fosfatados, de tal modo que solo pequeña cantidad del fosforo añadido puede ser tomado por las plantas. Con el tiempo; sin embargo, este fosforo fijado puede formar parte de la reserva y ser absorbido por las plantas (Brady, 1990).

La disponibilidad del fosforo varía de acuerdo a los siguientes factores: (i) Cantidad de arcilla, (ii) tipo de arcilla, (iii) época de aplicación, (iv) aireación, (v) compactación, (vi) humedad, (vii) contenido de fosforo en el suelo, (viii) temperatura, (ix) otros nutrimentos (xi) cultivo y (xii) el pH del suelo.

2.8 Potasio

2.8.1 Funciones del potasio en las plantas

El potasio está involucrado en el mantenimiento del estado hídrico de la planta, la presión de turgencia de sus células y el mecanismo de apertura y cierre estomático. El potasio es requerido para la acumulación y translocación de los nuevos carbohidratos formados (Jones, 1998).

El potasio imparte a las plantas gran vigor y resistencia a las enfermedades, coadyuva en la producción de proteínas en las plantas, aumenta el tamaño del grano y semilla y es esencial para la formación y desplazamiento de almidones, azúcares y aceites. También mejora la calidad de los frutos, ayuda al desarrollo de los tubérculos y auxilia en la formación de las antocianinas (National Plant Food Institute, 1985).

2.8.2 Formas del potasio en el suelo

El potasio existe en el suelo en cuatro formas:

1. Como catión K^+ en la solución del suelo.
2. Como K^+ intercambiable en los coloides del suelo.
3. Fijado en las arcillas.
4. Como un componente en minerales potásicos (Jones, 1998).

2.8.3 Formas utilizables del potasio

El potasio es absorbido como ion K^+ y se encuentra en los suelos en cantidades variables. En general la fracción cambiante y la forma asimilable por las plantas generalmente son pequeñas comparadas con el total de potasio en el suelo (Tisdale *et al.*, 1985).

2.8.4 Movimientos de potasio en el suelo

El potasio en la solución del suelo está expuesto a considerables pérdidas por lixiviación. Las dos formas de potasio fácilmente disponibles se encuentran en un equilibrio dinámico. Tal situación tiene una gran importancia práctica. Cuando las plantas absorben potasio, el potasio intercambiable se

mueve inmediatamente hacia la solución del suelo, hasta que el equilibrio nuevamente se establece. Cuando son suministrados al suelo fertilizantes solubles en agua, el equilibrio es inverso, el potasio de la solución del suelo se mueve hacia el complejo de intercambio. El potasio intercambiable puede considerarse como un importante mecanismo "buffer" para el potasio de la solución del suelo (Brady, 1990).

Es vital mantener niveles adecuados de potasio en el suelo porque este nutrimento no se mueve mucho, excepto en suelos arenosos o en suelos orgánicos. Este elemento tiende a mantenerse en el sitio donde se coloca cuando se fertiliza y cuando se mueve, lo hace por medio del proceso denominado difusión, en desplazamientos lentos y de corto recorrido por las películas de agua que rodean las partículas del suelo (Potash & Phosphate Institute, 1997).

2.8.5 Época y forma de aplicación del potasio

En la mayoría de los cultivos anuales, incluyendo los cereales y las hortalizas, los fertilizantes potásicos deben aplicarse a la siembra o al trasplante, debido a que las plantas absorben una buena porción del potasio en las etapas tempranas del crecimiento.

Sin embargo, en suelos de textura liviana (arenosos, o franco arenosos), con un alto potencial de perder potasio por lixiviación, se recomienda una aplicación fraccionada (Mackay y Barber, 1985).

2.8.6 Disponibilidad de potasio en los suelos

En contraste con el fósforo, el potasio se encuentra en altos niveles en

la mayoría de los suelos minerales, excepto en suelos arenosos. No obstante, la cantidad de potasio disponible para las plantas a menudo es muy pequeña. La mayor parte de este elemento se encuentra como parte de minerales primarios o es fijado en formas que presentan poca o moderada disponibilidad para las plantas. Por lo tanto, la situación con respecto a la utilización del potasio es semejante que para el fósforo y el nitrógeno en último término. Una proporción muy grande de estos tres elementos en los suelos es insoluble y relativamente no disponible para las plantas (Brady, 1990).

2.8.7 Deficiencia de potasio

Cuando la planta es deficiente en potasio, la fotosíntesis decrece mientras que la respiración se incrementa, esto reduce seriamente la formación de carbohidratos y por consiguiente el crecimiento y rendimiento de los cultivos (Tisdale *et al.*, 1985).

2.9 Fertilización en maíz

2.9.1 Nutrientes esenciales para las plantas

Para 1890, los científicos habían establecido que el carbono (C), Hidrógeno (H), oxígeno (O), nitrógeno (N), fósforo (P), azufre (S), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), y hierro (Fe), eran requeridos por las plantas, y que su ausencia o baja disponibilidad podían resultar en la muerte de la planta, o un crecimiento muy pobre acompañado de síntomas visuales. Entre 1922 y 1954, elementos adicionales fueron considerados como esenciales: manganeso, cobre, zinc, molibdeno, boro, y cloro (Jones, 1998).

2.9.2 Fertilización con nitrógeno

El uso del nitrógeno por la planta de maíz es un tema complejo ya que participan numerosos componentes fisiológicos tales como absorción, translocación, asimilación, y redistribución, donde cada componente tiene una curva de respuesta a factores ambientales (temperatura, estrés de humedad, luz, etc.) y a prácticas culturales (densidad de siembra, distancia ente surcos, etc.) (Gardner *et al.*, 1990).

Muchos experimentos de campo han demostrado respuesta en el rendimiento de maíz, por la aplicación de fertilizantes nitrogenados (Karlen *et al.*, 1987; Gardner *et al.*, 1990; Killorn y Zourarakis, 1992; Adriaanse y Human, 1992 y 1993; Eghball y Maranville, 1993; Muchow, 1994; y Durieux *et al.*, 1994). Sin embargo, la magnitud de la respuesta de la aplicación de nitrógeno es variable en función de dosis, fuentes, variaciones climáticas, variedades y prácticas de cultivo (Muchow, 1994). Ibrahim (1997), al estudiar ocho genotipos de maíz fertilizados con 120, 180 y 240 kg•ha⁻¹ de nitrógeno encontró que al incrementar la tasa de nitrógeno se incrementó la tasa de acumulación de materia seca, la producción de paja y producción de grano sin afectar el índice de cosecha; sin embargo, hubo respuestas diferenciales en función de genotipos (Tollenar *et al.*, 1994 y Gardner *et al.*, 1990).

2.9.3 Efecto de la fertilización nitrogenada en presiembra

La aplicación de nitrógeno antes de la siembra en el cultivo del maíz ha sido controversial, hay investigadores que han reportado respuesta a la aplicación de este elemento. Jokela (1992), en un estudio sobre el efecto de la fertilización inicial en la producción de maíz forrajero, reportó un incremento de

la producción en tres de los cinco sitios evaluados. Con resultados coincidentes, Sánchez (1995), trabajando con maíz en suelos con niveles medios de fósforo y potasio, reportó diferencias significativas al momento de la cosecha para las variables peso seco de planta, peso de mazorca, peso de olote, peso de 100 granos, y peso de grano, encontrando que en todos los casos, se obtuvieron valores promedio mayores en las parcelas donde se aplicó nitrógeno 55 días antes de la siembra.

Mascagni y Boquet (1996), realizaron estudios con seis híbridos de maíz para determinar el efecto de la fertilización inicial en el crecimiento y rendimiento en grano del maíz en el período de 1991 a 1993; observaron incrementos en el rendimiento de 0.5 a 1.4 kg•ha⁻¹ al aplicar 11 kg de nitrógeno inicial en dos de los tres años; sin embargo, encontraron que la respuesta en rendimiento no fue consistente a través de los años, ni a través de híbridos.

Por otra parte, también existen trabajos que indican no haber encontrado respuesta en rendimiento al utilizar una fertilización nitrogenada de presembrado, como el caso de Bullock *et al.* (1993) quienes reportan que el crecimiento de la planta, el peso de las hojas y el índice de área foliar en las primeras etapas de desarrollo, presentaron una respuesta favorable a la fertilización nitrogenada inicial. Sin embargo, al final del ciclo, el peso final de la planta, el peso de las hojas, el índice de área foliar y el rendimiento, no se incrementaron con la fertilización inicial.

2.9.4 Fertilización con fósforo

Niveles altos de fósforo en el suelo estimulan la tasa de crecimiento

radicular comparados con los suelos no fertilizados (Zhang y Barber, 1992).

En un experimento de campo con dos genotipos de maíz, se combinaron 0 y 135 kg•ha⁻¹ de N con 0, 67.5 y 135 kg•ha⁻¹ de P₂O₅. El rendimiento se incrementó con la aplicación de nitrógeno y también con la aplicación de fósforo, incluso sin nitrógeno. La asimilación de fósforo, y el contenido de fósforo en las hojas al momento de la cosecha, se incrementaron con la tasa de fósforo y la aplicación de nitrógeno (Cao *et al.*, 1995).

Existe una respuesta varietal diferencial para los niveles de disponibilidad de fósforo, diferencias genotípicas en hábitos de enraizamiento y potencial para producir (Khasawneh *et al.*, 1980).

2.9.5 Fertilización con potasio

Sánchez (1995) encontró diferencia significativa para las variables rendimiento por hectárea y concentración de potasio en la hoja de la mazorca, observando en ambos casos valores promedio mayores en las parcelas donde se aplicó el potasio.

Se ha reportado que los requerimientos de potasio se incrementan en sistemas de producción de alta tecnología. Heckman y Kamprath (1992) sugirieron que prácticas tales como irrigación, mayor población de plantas y aplicaciones de nitrógeno pueden incrementar los requerimientos de potasio.

Se ha demostrado la influencia del potasio en relación a las enfermedades. Kostandi y Solimán (1997) al combinar los niveles de cero y 48 kg de potasio por hectárea, con diferentes niveles de nitrógeno, encontraron

que la aplicación de potasio redujo en un 19.6% el daño de hongos en la mazorca.

2.10 Fertilización orgánica

La agricultura orgánica es una forma para producir alimentos sanos de la máxima calidad y en cantidad suficiente, utilizando como modelo a la misma naturaleza, apoyándose en los conocimientos científicos y técnicos vigentes. El desarrollo de la agricultura orgánica busca la recuperación permanente de los recursos naturales afectados, para el beneficio de la humanidad. La agricultura orgánica se orienta a proporcionar un medio ambiente limpio y balanceado, potenciar la capacidad productiva y fertilidad natural de los suelos, optimizar el reciclaje de los nutrientes, el control natural de plagas y enfermedades. Por ello, es preciso promover e implementar las técnicas y prácticas de la agricultura orgánica, en beneficio de la salud humana, animal, y protección del medio ambiente en general. La creciente preocupación del consumidor informado por la inocuidad de los alimentos que adquiere, ha llevado a las grandes cadenas de supermercados a exigir garantías mucho más sólidas en los productos que comercializan (Figueroa, 2003).

2.10.1 Fertilizantes orgánicos

Los abonos orgánicos debe considerarse como la mejor opción para la sustentabilidad del recurso suelo; su uso ha permitido aumentar la producción y la obtención de productos agrícolas orgánicas; ha apoyado al desarrollo de la agricultura orgánica a la producción de alimentos de alta calidad nutritiva sin el uso de insumos de síntesis comercial. Los productos obtenidos bajo este sistema considera su precio por su mejor calidad nutritiva e inexistencia de

contaminantes nocivos para la salud.

El efecto de los abonos verdes sobre el suelo a nivel materia orgánica del suelo depende de las características del material añadido, el suelo, el clima, las prácticas agrícolas y la actividad microbiana; los materiales con alto contenido de nitrógeno no mantienen elevados los niveles de este componente del suelo, debido a que su descomposición ocurre muy rápido (De la Cruz y Martin, 2012).

El estiércol es un fertilizante orgánico que debe ser mineralizado para ser asimilado por las plantas, por lo que su efecto es lento y durante cierto tiempo. Contiene N: 0.05, P: 0.025 y K: 0.05, además de microorganismos, hormonas, antibióticos y vitaminas (De la Cruz y Martin, 2012).

2.10.2 Las ventajas de la fertilización orgánica

Los beneficios de la fertilización orgánica ha sido demostrada en algunos estudios controlados como superior a la fertilización inorgánica al lograr mayor contenido de nutrientes en la planta, ejemplos de tales estudios muestran que en repollo, lechuga, espinaca y zanahoria fertilizados con composta obtuvieron niveles significativamente altos de ácido ascórbico, β -caroteno y niveles bajos de nitratos, además que el costo es mucho menor a los fertilizantes inorgánicos (Labrador, 2004).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización geográfica del sitio experimental

El experimento se estableció en el ejido de Santo Niño Municipio de San Juan de Guadalupe, Dgo., el cual se localiza al este del estado de Durango, a los 24° 37' 50" de latitud norte; y 102° 47' 41" de longitud oeste; a una altitud promedio de 1,520 msnm. Limita al norte y al oeste con el estado de Coahuila; al sur y al este con el estado de Zacatecas y al oeste con el municipio de Simón Bolívar, Dgo (INEGI, 2015).

3.2 Características climáticas

La Región Lagunera presenta en su mayoría un clima seco, semi-seco y templado. En 49% del territorio presenta clima seco y semi-seco, el 46 por ciento tiene clima muy seco y el 5 por ciento restante registra clima templado subhúmedo (INEGI, 2015). La temperatura media anual es de 18 a 22°C. La temperatura más alta, mayor de 30°C, se presenta en los meses de mayo a agosto y la más baja en enero, que es alrededor de 4°C (INEGI, 2015). Las Precipitaciones pluviales son escasas, concentrada en los meses de julio, agosto y septiembre; variando desde los 200 mm anuales en la parte baja de la cuenca, donde se localiza la mayor parte de la zona agrícola, hasta los 600 mm en la parte alta de la cuenca, ubicada en la Sierra Madre Occidental, que es donde ocurren las precipitaciones más significativas las cuales generan los escurrimientos superficiales que se utilizan para la sustentabilidad del riego agrícola en la Comarca Lagunera (Cervantes & González, 2006).

Desde el punto de vista de las características físicas y químicas de los suelos en general, son suelos calcáreos, de origen sedimentario, con endurecimientos en la capa superficial, debido al régimen climático que permite la eluviación de las sales, las cuales se manifiestan mediante enconstramientos en la superficie de los suelos del área en cuestión (Cervantes & González, 2006).

3.3 Preparación del terreno

Se realizaron las labores culturales que a continuación se describe:

Cuadro 1. Labores culturales en la preparación del terreno.

Labores culturales
Barbecho profundo (arado de discos)
Rastreo
Rastreo

3.4 Siembra

En el primer ciclo primavera-verano 2016 la siembra se realizó de forma manual en tierra venida, el día 9 de abril del 2016. Previamente se formaron los surcos con un tractor y chusos. La distancia entre surcos fue de 0.75 m y entre planta y planta de 0.25 m para grano y 0.15 m para forraje.

En el segundo ciclo primavera-verano 2017 la siembra se realizó de forma manual en tierra venida, el día 20 de marzo del año mencionado. Previamente se formaron los surcos con un arado de tiro (yunta).

3.5 Riegos

En el Cuadro se describe el calendario de riego aplicado al experimento.

Cuadro 2. Calendario de riego en el experimento.

Riego	Fecha
Primer auxilio	17 de abril de 2016
Segundo auxilio	11 de mayo de 2016
Tercer auxilio	14 de junio de 2016
Cuarto auxilio	29 de junio de 2016
Quinto auxilio	27 de julio de 2016

3.6 Fertilización

La aplicación del fertilizante fue de forma manual en cada parcela.

Cuadro 3. Fertilización química aplicada a la población 60 en primer ciclo.

Fertilizante	Fecha	Dosis
MAP Fosfato Monoamónico	09-abr-16	90 Unidades
Segunda aplicación de Urea	03-jun-16	80 Unidades
Urea $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$	09-abr-16	80+20 Unidades de MAP

Cuadro 4. Fertilización orgánica aplicada a la población 60 en primer ciclo.

Fertilizante	Fecha	Dosis
Compost	09-abr-16	50 kg por parcela
Lixiviado	03-jun-16	250 mL por parcela

Cuadro 5. Fertilización química aplicada a la población 60 en el segundo ciclo.

Fertilizante	Fecha	Dosis
MAP Fosfato Monoamónico	20-mar-17	90 Unidades
Segunda Aplicación de Urea	20-may-17	80 Unidades
Urea CO(NH ₂) ₂	20-mar-17	100+20 Unidades de MAP

Cuadro 6. Fertilización orgánica aplicada a la población 60 en el segundo ciclo.

Fertilizante	Fecha	Dosis
Compost	20-mar-17	56 kg por parcela
Lixiviado	20-may-17	250 mL por parcela

El manejo de plagas se realizó como a continuación se describe:

Cuadro 7. Insecticidas utilizados, número de aplicaciones y dosis utilizadas en el experimento.

Plaga	Insecticida	Dosis (mL•ha ⁻¹) ¹⁾	Aplicaciones
<i>Spodoptera frugiperda</i>	Permetrina	500-750	1
<i>Spodoptera frugiperda</i>	Clorpirifos líquido	300-400	2
<i>Spodoptera frugiperda</i>	Clorpirifos granulado	8-10 ton•ha ⁻¹	1
<i>Epitrix Hirtipennis</i>	Cipermetrina	400-600	1
<i>Frankiniella occidentalis</i>	Cipermetrina	400-600	2
<i>Helicoverpa zea</i>	Clorpirifos+cipermetrina	750-1000	1
<i>Melanaphis saccahri</i>	Cipermetrina	400-600	1

3.8 Control de malezas

Durante el ciclo del cultivo la presencia de las malezas fue controlada de forma manual.

3.9 Material genético

En este experimento solo se utilizó un material genético el cual lleva el nombre de “Población 60”, la cual fue creada por el Dr. Armando Espinoza Banda profesor investigador del departamento de Fitomejoramiento de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna.

3.10 Diseño y parcela experimental

En el ciclo primavera-verano del 2016 el experimento se estableció en un diseño de bloques al azar en localidades con cuatro repeticiones y tres tratamientos con un total de 12 parcelas experimentales. La parcela útil consistió en cuatro surcos de 12 m de largo y 0.75 m de ancho.

El segundo ciclo fue en primavera-verano del 2017 y se estableció con las características mencionadas en el primer ciclo.

3.11 Variables agronómicas evaluadas

3.11.1 Altura de planta (AP)

Se seleccionaron tres plantas al azar y se midió desde la base de la planta hasta la inserción de la espiga. Se expresó en centímetros.

3.11.2 Superficie cosechada

Se realizó en forma manual, cuando la mazorca se encontraba en un tercio de la línea de leche. La superficie cosechada fue determinada con la siguiente fórmula:

SC = número de surcos * largo de surco cosechado

* ancho de surco cosechado.

3.11.3 Rendimiento de forraje verde (RFV)

Se cosechó el forraje de dos metros lineales de la parcela útil, no considerando las plantas que se encontraban a un metro del final de cada extremo del surco para evitar efecto de orilla y así tener plantas con competencia completa. Se expresó en ton•ha⁻¹.

$$RFV = PVP + PVM \frac{10000}{SC}$$

Dónde: RFV: Rendimiento de forraje verde en ton•ha⁻¹, PVP: peso verde de planta en ton•ha⁻¹, PVM: peso verde de mazorca en ton•ha⁻¹ y SC: Superficie cosechada en ton•ha⁻¹.

3.11.4 Índice de cosecha (IDC)

Se pesaron las plantas cosechadas en los tres metros y también los elotes de esas plantas, y este se determina con el peso del elote entre el peso de la planta verde y todo esto por 100.

3.11.5 Porcentaje de materia seca (%MS)

De las dos plantas molidas se tomó una muestra de 500 g con todos los componentes como lo son hojas, tallo, grano y espiga. Después se puso a secar en una estufa de marca FELISA hasta que dio un peso constante y el porcentaje de materia seca se da de la siguiente manera.

$$\%ms = PMS * \frac{100}{PMV}$$

Dónde: PMS= Peso de muestra seca, 100 es constante de promedio y PMV= Peso de muestra verde.

3.11.6 Materia seca total (MST)

Se molieron dos plantas completas elegidas al azar de los tres metros lineales (en el momento de la cosecha) y se llevó a una estufa marca FELISA por un periodo de 24 h a una temperatura de 65°C ±1°C hasta alcanzar peso constante, para estimar el contenido de materia seca total en ton•ha⁻¹. Se determinó con la siguiente fórmula:

$$MST = \frac{\%MS * RFV}{100}$$

Dónde: % MS = Por ciento de materia seca y RFV = Rendimiento de forraje verde.

3.12 Variables de calidad fisiológica:

3.12.1 Ensayo de germinación estándar (G)

Se realizó esta prueba con el método “entre papel” propuesto por la International Seed Testing Association (ISTA, 2004), la cual consistió en colocar las semillas sobre toallas de papel, enrollarlas, hidratarlas y mantenerlas en una cámara de germinación a $25 \pm 1^\circ\text{C}$ durante 7 días. Se hizo un primer conteo al cuarto día. Se cuantificaron el número de semillas germinadas. Por último al séptimo día se registraron las semillas germinadas que desarrollaron plántulas normales. El porcentaje de germinación se expresó en porcentaje y se obtuvo con la siguiente fórmula

$$GE = \frac{PN}{NS} * 100$$

Dónde: PN: plántulas normales y NS: número de semillas utilizadas en el ensayo.

3.12.2 Desarrollo Longitud de plúmula (V)

Consistió en medir en centímetros la longitud de la plúmula de 25 plántulas por tratamiento. Se calculó el vigor y se clasificó dentro del rango de la escala propuesta por Peretti (1994).

$$LP = \frac{1n + 3n + 5n + 7n + 9n + 11n + 13n}{ns} n$$

Dónde: LP: longitud de plúmula, n: número de plántulas normales y ns: número de semillas utilizadas.

Cuadro 8. Rangos de longitud media para determinar el vigor en plántulas (Peretti, 1994).

Longitud de plúmula (cm)	Vigor
≥ 7	Plántulas de alto vigor
$5 \leq L < 6.9$	Plántulas de mediano vigor
$3 \leq L < 4.9$	Plántulas de bajo vigor
$L < 3$	Plántulas sin vigor

3.12.4 Peso de mil semillas (PMS)

Se seleccionaron ocho repeticiones de 100 semillas del total y se registró su peso en gramos.

3.12.5 Peso volumétrico (PV)

Se colocó la semilla en un recipiente de volumen conocido, posteriormente se tomó el peso en una báscula de precisión marca Scientech modelo SG 8000. El peso se registró en kilogramos hectolitro.

$$PV = \frac{P}{V} * 100$$

Dónde: P: peso de la semilla y V: volumen del recipiente.

3.13 Variables de calidad forrajera

Se evaluaron variables de calidad bromatológica: a cada uno de los tratamientos cosechados a un tercio de la línea de leche y a las plántulas emergidas después de las pruebas de germinación y vigor, se le realizan los análisis de fibra neutro detergente (FND), fibra ácido detergente (FAD), % de materia seca (%MS), digestibilidad (Digest), y el valor relativo de forraje (VRF).

Antes de realizar el análisis para determinar la calidad bromatológica del forraje, se colocaron las muestras de forraje en un horno marca FELISA modelo 2484 durante un aproximado de 48 a 72 horas dependiendo de la humedad del material, después de secarse se molieron las muestras en un molino marca CYCLONE SAMPLE MILL modelo 3010-030 hasta obtener muestras pequeñas para la realización del análisis.

3.13.1 Determinación de fibra detergente acida (FDA) y fibra detergente neutra (FDN)

El análisis bromatológico se determinó bajo el principio de (Van Soest, 1967) utilizando un analizador de fibras ANKOM 220. El ensayo consistió en tomar 0.500 g (± 0.01 g) de la muestra molida de materia seca de las plantas que se cosecharon y las plántulas obtenidas después de los ensayos de germinación, las cuales se colocaron en una bolsa de papel filtro ANKOM F57. En seguida las muestras se pasaron al analizador de fibras, agregándose 2 L de solución en el vaso de digestión, para el análisis de FDA y para la obtención de FDN, a la solución se le agregaron 20.0 g de sulfato de sodio (Na_2SO_4) y 4 mL de alfa amilasa.

Posteriormente las muestras para FDA y FDN fueron digeridas en el analizador de fibras por un tiempo de 60 minutos, a una temperatura de 100 °C (± 1 °C).

Cuando el tiempo de digestión fue alcanzado, se lavaron con agua destilada caliente a una temperatura aproximada de 100°C, realizándose este

proceso tres veces para cada uno de las fibras. Para el análisis de FDN se agregaron 4.0 mL de alfa amilasa a cada uno de los dos primeros enjuagues, posteriormente se retiraron las bolsas de papel filtro con las muestras y se colocaron en un vaso de precipitado de 500 mL y se agregaron 200 mL de acetona dejándose por 3 minutos en la solución, con la finalidad de eliminar probables residuos de las soluciones utilizadas.

A continuación se dejaron las muestras expuestas al medio ambiente por un lapso de 45 min, esto para permitir la evaporación de la acetona, en seguida las muestras se sometieron a secado en estufa a una temperatura de 105 °C ($\pm 1^\circ\text{C}$) por 24 horas y posteriormente se procedió a pesar las muestras y así determinar el porcentaje de FAD y FND con la siguiente fórmula:

$$\%FAD \text{ ó } FND = \frac{(W3 - (W1 * C1))}{W2} \times 100$$

$$c1 = \frac{\text{peso de bolsa en blanco después del proceso}}{\text{peso de bolsa en blanco antes del proceso}}$$

Dónde: FAD= Fibra ácido detergente; FND = Fibra neutro detergente; W1= peso de bolsa, W2 = peso de muestra, W3 = peso de bolsa con muestra después del proceso y C1 = peso de bolsa en blanco después de proceso/ peso de bolsa en blanco antes del proceso.

Cuadro 9. Solución para determinación de fibra ácido detergente.

Reactivo	Cantidad
Bromuro de cetyl ($\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{15}\text{N}(\text{CH}_3)_3\text{Br}$ Trimetil amonio	20 g
Ácido sulfúrico (H_2SO_4)	1 L

Cuadro 10. Solución para análisis de Fibra neutro detergente.

Reactivo	Cantidad
Lauril sulfato de sodio ($\text{C}_{12}\text{H}_{25}\text{O}_4\text{SNa}$)	150g
Sal disódica (EDTA)	93.05g
Tetraabato de sodio decahidratado	34.05g
Fosfato ácido disódico (Na_2HPO_4)	22.80g
Agua destilada	5L
Etilenglicol	50 mL

3.13.2 Digestibilidad de la materia seca (DIMS)

La digestibilidad de la materia seca se estimó en base a la siguiente ecuación:

$$DIMS = 88.9 - (0.779 * \% FAD)$$

Dónde: DIMS = Digestibilidad de la materia seca y FAD: Fibra ácido detergente

3.13.3 Valor relativo de forraje (VRF)

El valor relativo de forraje se estimó con la siguiente formula:

$$VRF = \frac{CMS * DIMS}{1.29}$$

Dónde: VRF= valor relativo de forraje, CMS= consumo de materia seca y DIMS= digestibilidad de la materia seca

3.14 Caracteres Cualitativos

3.14.1 Floración masculina (FM)

Se observó en el tercio medio del eje principal de la panoja el 50% de las plantas de la parcela tuvieron anteras descubiertas. El número de días a floración se obtuvo contado desde la siembra hasta el día en que se tomó la floración.

3.14.2 Floración femenina (FF)

Se observó la aparición de los estigmas, después se contó el 50% de las plantas de la parcela tuvieron estigma descubierto. El número de días a floración se obtuvo contado desde la siembra hasta la aparición de estigmas emergidos.

3.15 Caracteres cuantitativos

3.15.1 Altura de planta (AP)

Se midió con un estadal de aluminio de 4 m de largo de la marca Leica® desde la superficie del suelo, hasta la punta de la espiga.

3.15.2 Diámetro de mazorca (DM)

Se midió la parte central de la mazorca con un vernier digital marca Truper® y se expresó en mm.

3.15.3 Longitud de mazorca (LM)

Se midió el largo de la mazorca con una regla de 30 cm y el resultado se expresó en los mismos.

3.15.4 Número de hileras de granos en la mazorca superior (NHM)

Se contó manualmente cada una de las hileras de la mazorca superior.

3.15.5 Número de granos por hilera en la mazorca superior (NGH)

Se obtuvo contando manualmente los granos de tres hileras, seleccionada de la mazorca.

3.15.6 Rendimiento de grano (RG)

Del peso determinado hay que ajustar de acuerdo a la humedad en campo y eso se hace con la siguiente fórmula.

$$FactorHumedad = \frac{(100 - HC) * 100}{85.5}$$

Dónde: HC= Humedad de Campo, 100 es constante al igual que lo es 85.5.

Después de calcular el factor humedad hay que hacer el ajuste en el rendimiento de grano y se hace de la siguiente manera:

$$RGA = \frac{(PG * SC) * FH}{100}$$

Dónde: PG= peso de grano, SC= superficie cosechada, FH= factor humedad y 100 es constante.

3.15.7 Determinación de Nitrógeno y Proteína (N) y (PC)

Digestión: se pesan 0.1 g de muestra y se colocan en un matraz microkjeldahl o en tubos. Se adicionan 4 mL de la mezcla de ácidos sulfúricos-salicílico, cuidando que esta sea en contacto íntimo con la muestra. El H₂SO₄ es un mal agente mojante por lo que la impregnación de la muestra se debe

favorecer agitando suavemente el contenido del tubo. Simultáneamente se corren blancos de reactivos.

Se deja en reposo toda la noche o al menos 6 horas. se añaden 0.5 g de Tiosulfato ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) a través de un embudo de tallo largo para alcanzar el bulbo del matraz. Se calienta cuidadosamente la mezcla hasta que cese la formación de espuma. Se debe evitar que la espuma suba por el cuello del matraz. Esto se logra mezclando bien el $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ con el ácido y calentando suavemente al inicio de la digestión. Una vez terminada esta fase, para la cual bastan de 5 a 15 minutos, se adicionan 1.1 g de mezcla catalizadora. La adición del $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ y la mezcla puede hacerse mediante medidas volumétricas calibradas.

Se digiere nuevamente y se aumenta la temperatura. La placa de digestión debe alcanzar entre 360 y 390 °C para permitir la ebullición de la mezcla de ácido con sales que se pueden adicionar al suelo. Temperaturas inferiores o superiores a esta pueden provocar recuperación incompleta o pérdida de N, respectivamente. Después de una corta ebullición la mezcla se aclara. Cuando se alcanza este punto, se bulle lentamente por una hora adicional para el caso de muestras de rutina. Cuando se desea una recuperación entre 99 y 100%, se debe bulle por 5 horas después de clarear. La temperatura en esta fase debe regularse para que los vapores de H_2SO_4 se condensen en el primer tercio inferior del cuello del matraz. Cuando la digestión este completa se enfría y se agregan aproximadamente 3mL de agua. Se agita vigorosamente para disolver material soluble.

Destilación: se transfiere el contenido del bulbo de la cámara de destilación del aparato. Se lava el tubo con pequeñas porciones de agua, para tener aproximadamente 7 mL. Se coloca en el tubo de salida del aparato de digestión un matraz Erlenmeyer de 125 mL con 10mL de la solución de H₃BO₃ ácido bórico con indicador. Se adicionan 10 mL de NaOH 10 N al bulbo de destilación. Se conecta el flujo de vapor y se inicia la destilación. Se destilan aproximadamente 50 mL y se lava el condensador.

El nitrógeno amoniacal se determina por titulación con ácido 0.05 N se sugiere utilizar una microbureta de 10 mL con graduaciones de 0.02 mL o un titulador automático. El punto de equivalencia de la titulación ocurre cuando la solución vira de verde a rosado-rosa a verde (titular los blancos y tomar como referencia este vire).

El nitrógeno se determina con la siguiente formula:

$$\%N = \frac{(V_{muestra} - V_{blanco}) * 14}{\text{peso de muestra} * 10}$$

Dónde:

V_{muestra}= Volumen de H₂SO₄ para titular la muestra (mL)

V_{blanco}= Volumen de H₂SO₄ para titular el blanco (mL)

N=Normalidad exacta del H₂SO₄

14=peso mili-equivalente del N (mg).

1/10=factor para convertir a porcentaje (100/1000)

71.428= factor para convertir de porcentaje a cmol Kg⁻¹

Peso de muestra en gramos

La proteína se determina con la siguiente formula:

$$PC = \%N * 6.25$$

Dónde:

%N= porcentaje de nitrógeno y 6.25 es una constante para determinar la proteína.

3.16 Análisis estadístico de datos

Para el análisis de datos se utilizó el diseño de bloques al azar con dos localidades y dos repeticiones y tres tratamientos. El modelo utilizado fue: bloques al azar con localidades. La prueba de medias fue: Diferencia Mínima Significativa (DMS). Los datos se corrieron en el programa estadístico SAS 9.4 (Statistical Analysis Software). Los datos de graficaron en caja de bigote.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El resumen del análisis de varianza realizado en las diferentes variables evaluadas, señala que en el factor ciclos se detectó diferencias significativas ($P \leq 0.05$) para las variables de RFV, MST, FDA, FDN, FM, FF, AP, NHM, PV y RG, lo cual implica que los diferentes ciclos afectaron la magnitud de la expresión fenotípica de los caracteres anteriormente expuestos, es decir que respondieron de manera diferentes en cada uno de los ciclos a los que fueron sometidos.

El efecto de las interacciones Bloque(C) y Ciclo*Trata no presentaron diferencias significativas en todas las variables a excepción de la variable de rendimiento de grano (RG), por lo que se concluye que los factores en consideración son independientes entre sí para estos parámetros; es decir los efectos simples de un factor son los mismos para todos los niveles de los otros factores dentro de una variación aleatoria medido por el error experimental (Steel y Torrie, 1990).

Con respecto a los tratamientos (TRAT) se mostraron diferencia significativa ($P \leq 0.05$) solo en la variable de rendimiento de grano, esto indica diferencias en el comportamiento que tuvieron las dosis de fertilización aplicadas al cultivo, dado principalmente tal vez por la constitución de cada uno de ellos.

Cuadro 11. Cuadrados medios del análisis de varianza de variables de rendimiento de forraje y análisis bromatológico.

FV	gl	RFV	MS	MST	DMS	VRF	FDA	FDN	N	PC
Ciclo	1	6213.9**	9.01 ns	595.72**	156.24 ns	4142.22 ns	2887.03**	646.21*	0.07 ns	2.71 ns
B(C)	2	102.49 ns	7.39 ns	8.28 ns	5.28 ns	425.31 ns	8.01 ns	11.22 ns	0.20 ns	8.02 ns
Trat	2	265.73 ns	8.92 ns	11.73 ns	29.44 ns	1500.31 ns	33.75 ns	127.50 ns	0.13 ns	5.32 ns
C*Trat	2	232.06 ns	0.01 ns	16.93 ns	6.11 ns	221.95 ns	4.65 ns	7.38 ns	0.14 ns	5.83 ns
Error	4	123.92	18.87	20.76	41.76	1044.90	50.96	62.75	0.25	9.72
CV (%)		21.02	14.83	29.01	9.32	23.25	21.35	21.35	33.53	33.58

*, **, : Valores significativos al 0.05 y al 0.01 de probabilidad, ns: no significativo de probabilidad, B: Bloques, C:Ciclos, Trat: Tratamientos, RFV= rendimiento de forraje verde, MS= materia seca, MST= materia seca total, DMS= digestibilidad de la materia seca, VRF= valor real de forraje, FDA= fibra detergente acida, FDN= fibra detergente neutra, N= nitrógeno, PC= proteína cruda.

Cuadro 12. Cuadrados medios del análisis de varianza de variables agronómicas.

FV	gl	FM	FF	AP	IDC	NHM	NGH	LM
Ciclo	1	65.33 *	154.08 *	2.17 **	244.35 ns	8.33 *	14.08 ns	612.04 *
B(C)	2	8.33 ns	5.08 ns	0.04 ns	48.04 ns	1.66 ns	9.75 ns	455.10 ns
Trat	2	2.58 ns	4.33 ns	0.09 ns	51.28 ns	2.33 ns	1.08 ns	119.77 ns
C*Trat	2	0.58 ns	0.33 ns	0.08 ns	120.86 ns	0.33 ns	5.58 ns	92.52 ns
Error	4	8.08	11.33	0.01	421.69	0.67	7.50	89.36
C V (%)		3.97	3.90	5.63	35.04	5.50	7.10	40.73

*, **, : Valores significativos al 0.05 y al 0.01 de probabilidad, ns: no significativo, B: Bloques, C:Ciclos, Trat: Tratamientos, FM= floración masculina, FF= floración femenina, AP= altura de planta, IDC= índice de cosecha, NHM= número de hileras por mazorca, NGH= número de granos por hilera, LM= longitud de mazorca.

V. Cuadro 13. Cuadrados medios del análisis de varianza de variables de componentes de rendimiento y de calidad de semilla.

FV	gl	DM	PMS	PV	GE	LP	RG
CICLO	1	0.008 ns	37.63 ns	7.76 *	12.00 ns	1.73 ns	31.78 **
BLOQUE(C)	2	0.01 ns	40.63 ns	1.15 ns	12.00 ns	0.241 ns	1.96 ns
TRATA	2	0.04 ns	201.44 ns	0.53 ns	1.33 ns	0.76 ns	5.82 *
CICLO*T	2	0.01 ns	1919.56 *	0.53 ns	4.00 ns	0.57 ns	15.18 **
ERROR	4	0.05	307.07	0.69	8.00	0.37	0.62
C V		4.61	4.61	0.95	2.90	6.03	11.21

*, **, : valores significativos al 0.05 y al 0.01 de probabilidad, ns: no significativo, DM= diámetro de la mazorca, PMS= peso de mil semillas, PV= peso volumétrico, GE= germinación estándar, LP= longitud de plúmula y RG= rendimiento de grano.

Los coeficientes de variación fueron altos en las variables de NT (33.53%), PC (33.58%), IDC (35.04) y LM (40.73%) debido tal vez al manejo de los datos, sin embargo en el resto de las variables son aceptables considerando que el experimento se condujo bajo condiciones de temporal (Cano *et al.*, 2001).

4.1 Comportamiento promedio de variables de forraje

Los comportamientos promedios obtenidos indican que las variables de RFV, MST y VFR (Figura 2) no mostraron diferencias significativas entre ninguno de los tratamientos de fertilización aplicados en el experimento. Sin embargo se puede observar que el efecto más alto corresponde al tratamiento sintético reflejándolo en el RFV con un rendimiento de 55.23 ton•ha⁻¹, en MST con 17.14 ton•ha⁻¹ y VRF con 154.70.

El nitrógeno es factor clave en la obtención de altos rendimientos, se observa claramente en las variables evaluadas, por lo cual el nitrógeno no puede ser prescindible en el cultivo de maíz (Tapia *et al.*, 2013). En lo que respecta al porcentaje de materia seca (MS) claramente se observa que el testigo 1 fue superior al tratamiento químico y orgánico, con un porcentaje de materia seca de 31.00. Este resultado pudo haber sido tal vez por las propiedades físicas y químicas del suelo del sitio experimental (Tapia *et al.*, 2013).

En general se observa que los porcentajes obtenidos de MS se encuentran dentro de los resultados reportados por INIFAP (2006) en evaluación de híbridos para forraje en Región Lagunera donde los porcentajes van desde 28 a 37.26%.

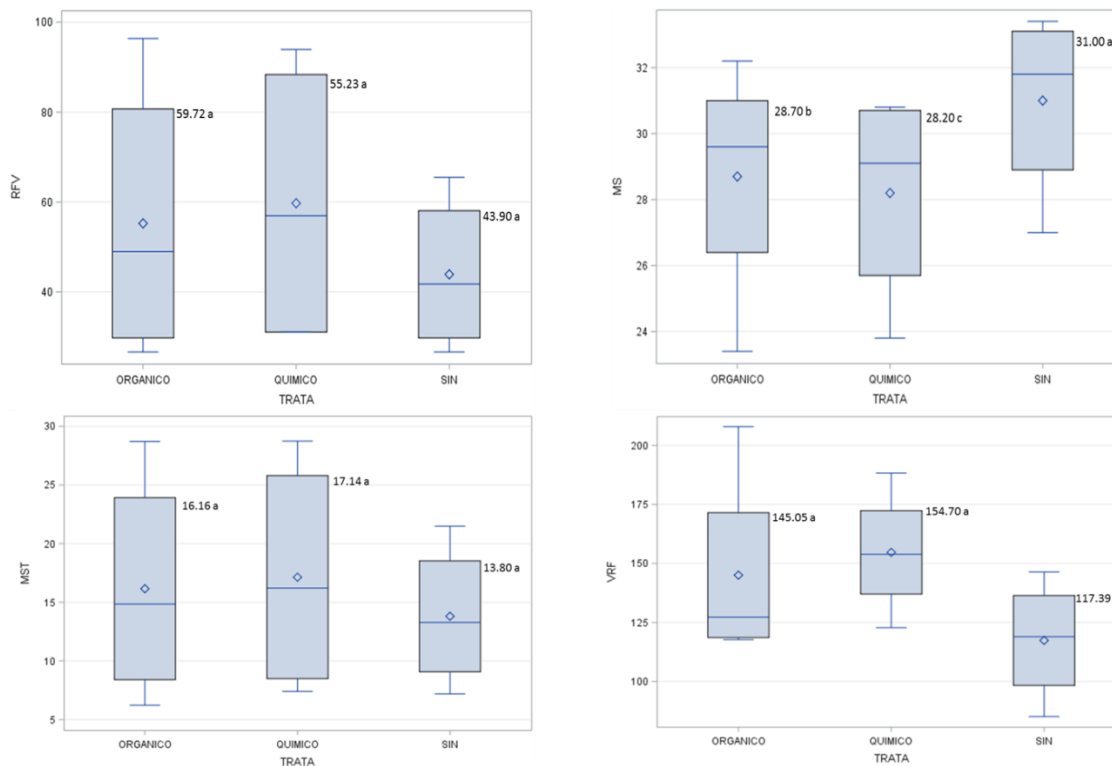


Figura 2. Comportamiento promedio de variables de forraje evaluadas con tres tratamientos de fertilización.

Comportamiento promedio de análisis bromatológico

El efecto de los tres tratamientos de fertilización se presenta en la Figura 3, donde se observa que se mantuvieron en el mismo grupo significativo, no se obtuvo respuesta, señalando que fueron similares en su comportamiento en las variables de DMS, N y PC. Sin embargo numéricamente el tratamiento químico observo una mejor respuesta en DMS con un valor de 71.84% ubicándose entre los valores promedio de calidad, seguido del tratamiento orgánico con 69.69% y el menor valor fue para el testigo con 66.45%, cuyos valores son considerados como mínimos en calidad (Blanco *et al.*, 2009).

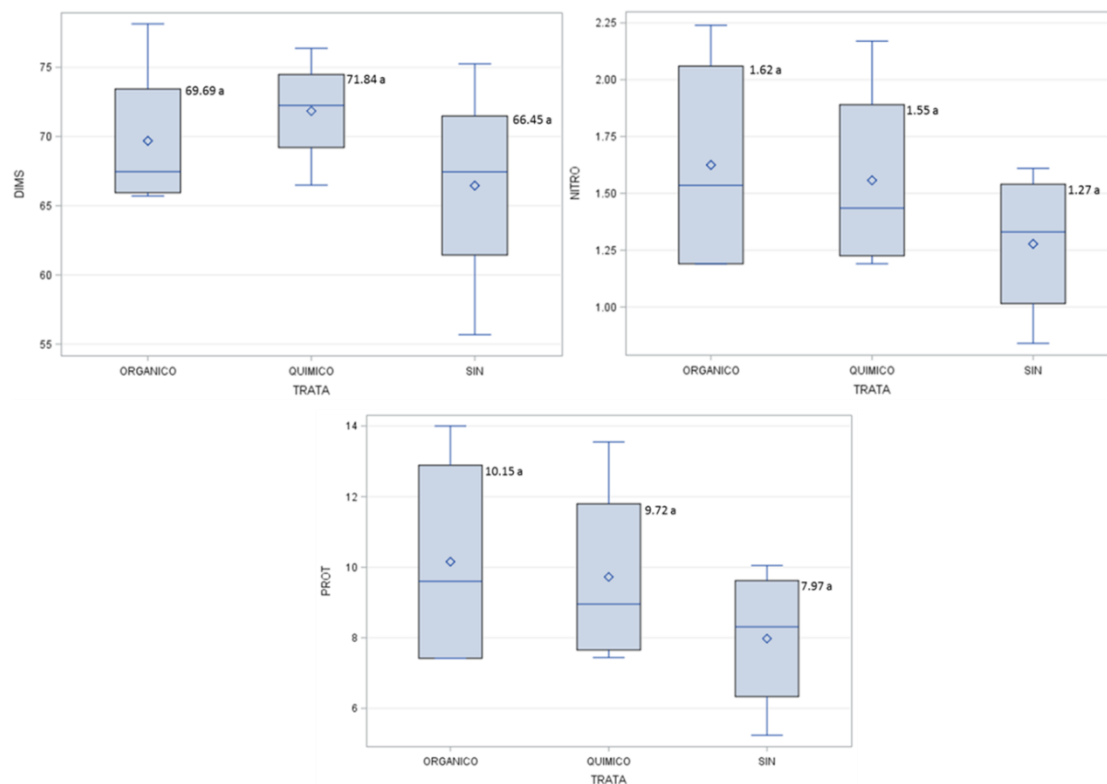


Figura 3. Comportamiento promedio de variables de forraje evaluadas con tres tratamientos de fertilización.

Respecto al contenido de nitrógeno los tratamientos se vieron afectados ya que los valores observados se encuentran por debajo de los niveles óptimos para el cultivo de maíz. Los valores observados fueron de 1.62 a 1.27. Sin embargo los valores encontrados de proteína (Figura 3) encontrados están dentro de los rangos óptimos para una planta de maíz (Blanco *et al.*, 2009). En tratamiento orgánico se presentó un valor de 10.15 %, en el tratamiento químico 9.72% y el testigo 7.97%.

La aplicación de las distintas formulaciones de fertilizantes no tuvo efecto significativo sobre el contenido de fibra neutro detergente y fibra ácido detergente (Figura 4). El testigo mostro los valores más altos de FDA y FDN con 39.01 y

43.42% respectivamente. El menor porcentaje fue en el tratamiento sintético con porcentajes que fueron de 33.21% de FDA y 32.44% de FDN. Los porcentajes obtenido se ubican dentro de los estándares de calidad (Blanco *et al.*, 2009).

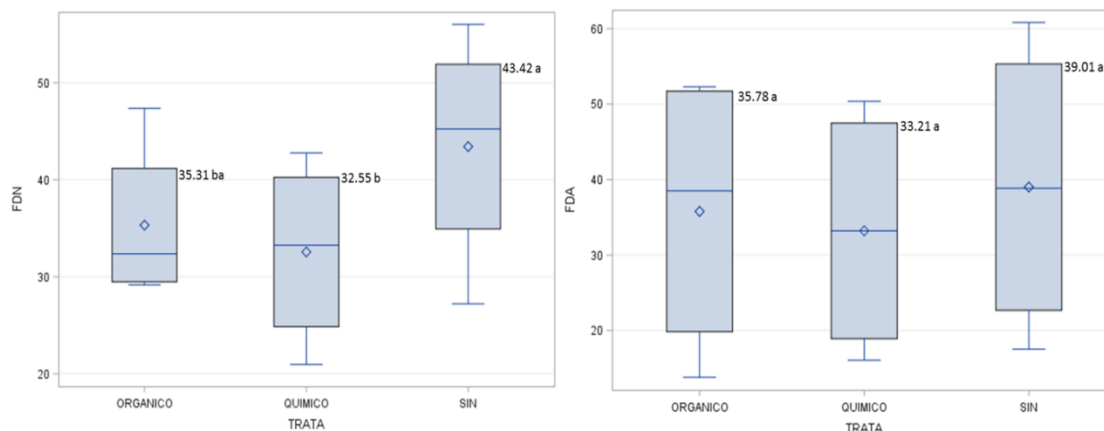


Figura 4. Comportamiento promedio de variables de calidad bromatológica evaluadas en tres tratamientos de fertilización.

4.2 Comportamiento promedio de caracteres agronómicos

En la Figura 5 se observa que la aplicación de los tres tratamientos de fertilizante no tuvo efecto sobre floración masculina (FM) y floración femenina (FF). Los tratamientos tuvieron el mismo comportamiento. Sin embargo se observa que en FF se amplió la duración del período de floración, los días a floración fueron más tardíos en el tratamiento orgánico ya que estos fueron de 87 días, en el testigo fue a los 87 días y en el tratamiento químico la floración femenina fue a los 85 días. Respecto a la floración masculina (FM) los valores oscilaron de 71 a 72 días.

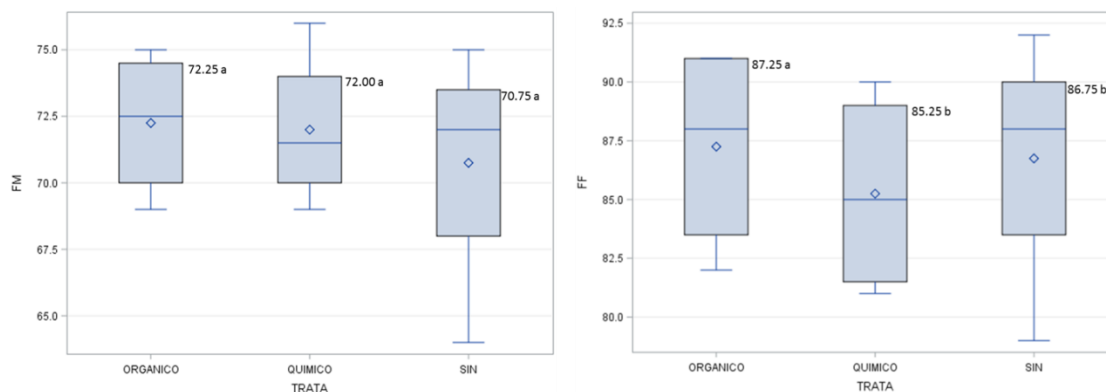


Figura 5. Comportamiento promedio floración masculina (FM) y floración femenina (FF) evaluadas en tres tratamientos de fertilización.

Al comparar los tratamientos de fertilización no se observó una diferencia entre la altura de planta (Figura 6) ya que los valores oscilaron 1.95 a 2.04 m. Se observa que los tratamientos contribuyeron de la misma forma en el desarrollo y crecimiento del cultivo.

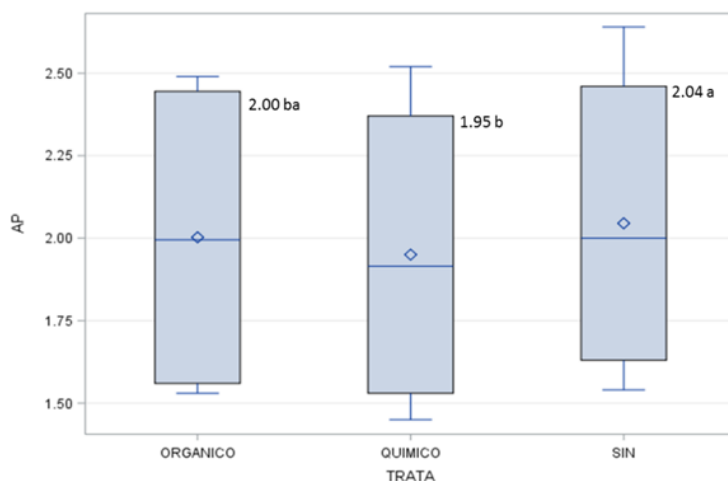


Figura 6. Comportamiento promedio altura de planta (AP) evaluada en tres tratamientos de fertilización.

4.3 Comportamiento promedio de componentes de rendimiento de grano

El comportamiento promedio de los tratamientos no presentó diferencias entre las variables de NGH, NHM, LM y DM (Figura 7). Sin embargo se puede

observar que el tratamiento orgánico y químico influyeron en la longitud de mazorca ya que los valores obtenidos (26.67 y 26.65 cm) superaron al testigo 1.

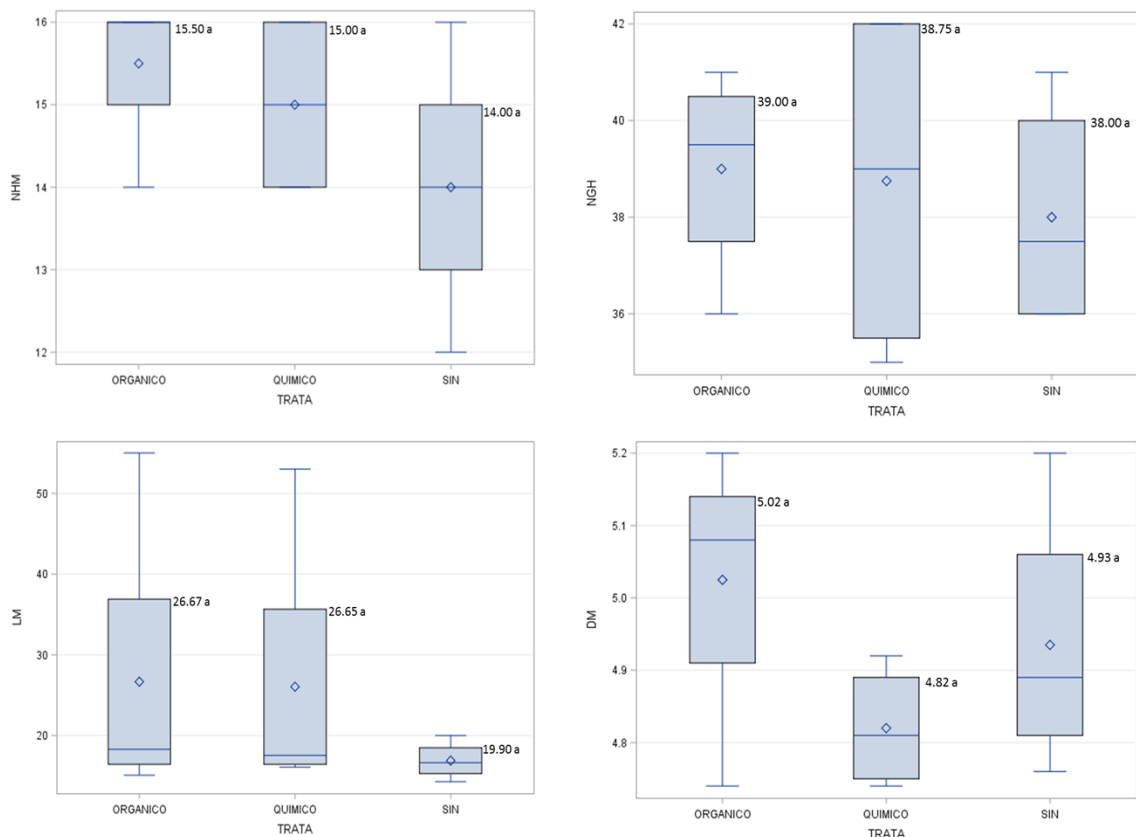


Figura 7. Comportamiento promedio de componentes de rendimiento de grano evaluado en tres tratamientos de fertilización.

El rendimiento de grano (RG) e índice de cosecha (IDC) fue mayor en el tratamiento químico con una producción de grano de $8.05 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1}$ y con un 62.73% de IDC. Se observa también que la fertilización orgánica tuvo efecto en estas dos variables contrario al testigo donde el RG fue menor con $5.71 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1}$. Esto indica que el nitrógeno y la nutrición orgánica, presentan una diferentes respuesta, significativa en las variables de estudiadas (Tapia *et al.*, 2013).

Similares resultados fueron encontrados por Pagani *et al.* (2008) quienes mencionaron que con $0 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de nitrógeno el rendimiento de maíz, se mantuvo en $4.5 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}$, mientras que a una dosis de $80 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ aumentó a $8.5 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}$ de grano, sin embargo, a una dosis de $160 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de nitrógeno el rendimiento subió a $12 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}$, teniendo un máximo de $12.5 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}$ a una dosis de 210 kg de nitrógeno. El manejo nutricional orgánico, también produjo buenos resultados en rendimiento de grano como se observa en la Figura 8.

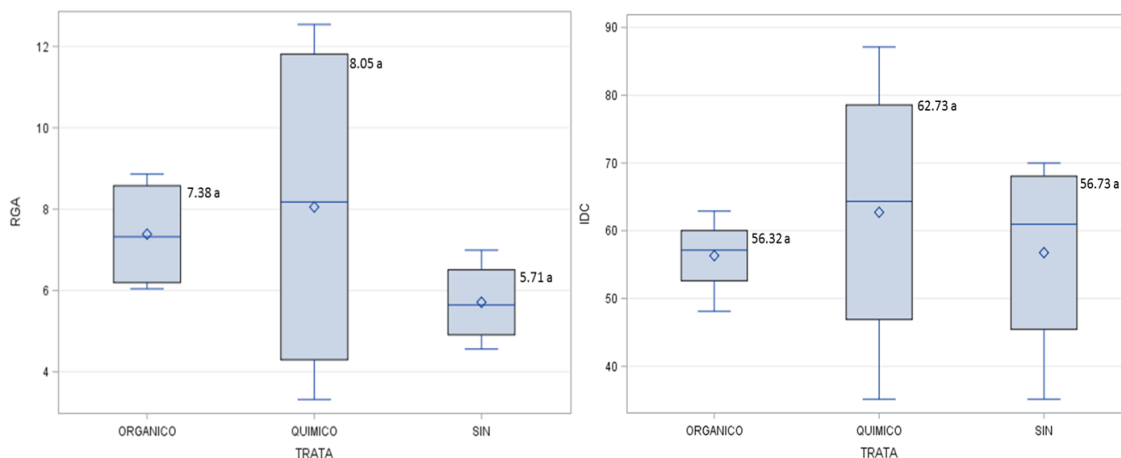


Figura 8. Comportamiento promedio de rendimiento de grano (RG) e índice de cosecha (IDC) evaluado en tres tratamientos de fertilización.

4.4 Comportamiento promedio de variables de calidad física de semilla de semilla

En las variables de calidad física de los tres tratamientos de fertilización no se presentó efecto significativo. En PMS los pesos exhibidos fueron de 387.31 g en el testigo, en el tratamiento químico de 379.88 g y en tratamiento orgánico de 373.13 g . El mayor PV fue de $88.21 \text{ kg}\cdot\text{hL}^{-1}$ en tratamiento químico, seguido del orgánico con $87.54 \text{ kg}\cdot\text{hL}^{-1}$ y el testigo fue el de menor PV con $87.54 \text{ kg}\cdot\text{hL}^{-1}$.

(Figura 9). Estos valores encontrados en las variables de calidad física de la semilla superan a los recomendados por Fernández (1990b) donde indico en un estudio de fertilización en maíz que el peso de calidad es de: 250 a 350 g en peso de mil semillas y en peso volumétrico de 70 a 75 kg•hL⁻¹.

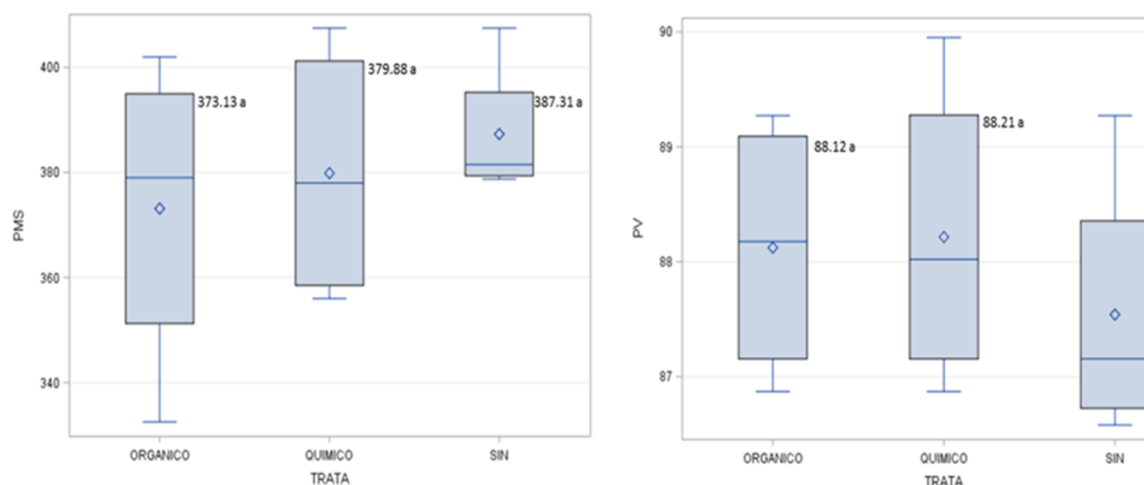


Figura. 9 Comportamiento promedio de variables de calidad física de la semilla de maíz, evaluada en tres tratamientos de fertilización.

4.5 Comportamiento de variables de calidad fisiológica de semilla

Las variables de calidad fisiológica de semilla presento un comportamiento similar, ya que los tratamientos no presentan diferencias estadísticas entre ellos. El testigo presento el menor valor porcentual de 97. La calidad fisiológica de la semilla fue buena en GE de acuerdo con la ISTA (1993), esto sugiere que los nutrimentos aplicados contribuyeron a mejorar el funcionamiento de la planta, posiblemente con una mayor acumulación de sustancias de reserva en la semilla, mismas que son utilizadas para la de germinación (Zepeda, 2002).

No se encontró efecto significativo ($P \leq 0.05$) de la fertilización en el vigor de la semilla, sin embargo la longitud de plúmula presento valores de 9.62 a 10.42

cm, donde el tratamiento orgánico y el testigo fueron los de mayor LP. La LP de las semillas las ubicó dentro de la escala de buen vigor de acuerdo con Peretti (1994) quien señala que plántulas con longitud de plúmula mayor de 7 cm son consideradas de excelente vigor (Figura 10).

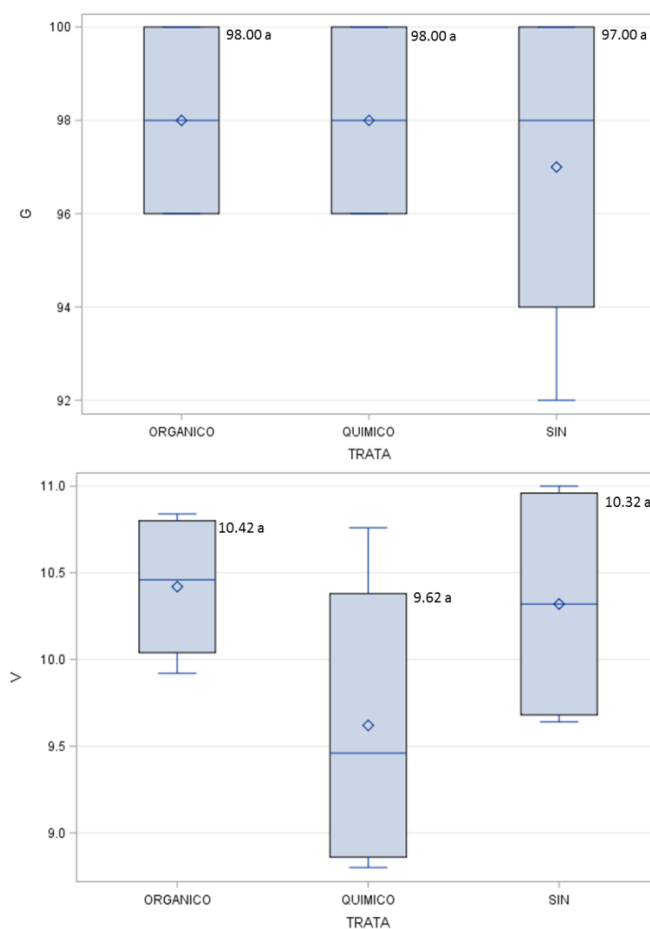


Figura. 10 Comportamiento promedio de variables de calidad fisiológica de la semilla de maíz, evaluada en tres tratamientos de fertilización.

VI. CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados se puede concluir: que los tratamientos no presentaron diferencias significativas en todas las variables.

1. Los tratamientos influyeron en el rendimiento de grano RG, siendo el tratamiento químico el mejor.
2. En el índice de cosecha el tratamiento químico mostro resultados más altos
3. En fibras no se presentaron diferencias significativas, sin embargo el tratamiento químico mostro el menor resultado.
4. El ciclo y el manejo fueron los que más presentaron diferencias significativas en los tratamientos.
5. En algunas variables no hubo diferencias significativas, sin embargo el testigo mostro mejor resultado que los otros dos tratamientos.
6. En las variables NGH, NHM, LM y DM no se presentaron diferencias significativas, Sin embargo el tratamiento orgánico y químico influyeron en la longitud de mazorca.
7. En la altura de planta no hubo diferencia significativa en ninguno de los 3 tratamientos.
8. En FM y FF tampoco se presentaron diferencias significativas en los tres tratamientos.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- Alcántar-González, G. y L. I. Trejo-Tellez., 2009, Nutrición de cultivos, 1ra edición. Editorial Mundi-Prensa. (DF), México. pp. 24, 35, 100-119.
- Aldrich, S. R. y E. R. Leng. 1974. Producción Moderna del Maíz. Ed. Hemisferio Sur. Buenos Aires, Argentina. 307p.
- Aruani M. C., P. Gili, L. Fernández, R. González-Junyent, P. Reeb, E. Sánchez, 2008, Utilización del nitrógeno en diferentes manejos de fertilización en lechuga (*Lactuca sativa* L.) y su efecto sobre algunas variables biológicas del suelo, Agro-Sur, 36 (3): 147 – 157.
- Barrios M., J. García y C. Basso, 2012. Efecto de la fertilización nitrogenada sobre el contenido de nitrato y amonio en el suelo y la planta de maíz. Bioagro 24(3): 213-220.
- Bianco Ana Maria, 2009. Balance de la dieta en sistemas con alta inclusion de ensilados.
- Bidwel, R. G. S. 1987. Fisiología Vegetal. Primera edición en español. AGT. Editor. México. 784p.
- Brady, N. C. 1990. The Nature and Properties of Soils. M° Millan Publishing Co. Inc. 8a Edición. New York, E. U. A. 63 9p.
- Bullock, D. G., F. W. Simmons, I. M. Chung and G. I. Johnson. 1993. Growth analysis of corn grown with or without starter fertilizer. Crop Sci. 33: 112-117.

- Cao, Y. P., Lin C. L. and X. R. Wang. 1995. Phenotypic difference in Phosphorus utilization by two maize genotypes. *Acta - Agriculturae - Universitatis - Pekinensis*. 21:111-116.
- Carrillo A. J. 1998. Evaluacion de nuevos híbridos de maíz grano *Zea mays* L. En la region Lagunera. Informe Tecnico CELALA-INIFAP.
- Carsky, R. J. and W. S. Reid. 1990. Response of corn to zinc fertilization. *J. Prod. Agrie*. Vol. 3. No. 4: 502-506.
- Celaya-Michel, H. y A. E. Castellanos-Villegas 2011, Mineralización de nitrógeno en el suelo de zonas áridas y semiáridas. *Terra* 29 (3): 343 – 348.
- Cerón-Rincón, L. E., y F. A. Aristizábal-Gutiérrez, 2012. Dinámica del ciclo del nitrógeno y fósforo en suelo. *Revista colombiana de Biotecnología* 14(1): 285-295.
- Cervantes, M. C. y González, A. M. F. (2006). Diagnostico ambiental de la comarca lagunera, *Colegio de Geografía*.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2004. Programa hidráulico regional 2002-2006. Región VII. Cuencas Centrales del Norte. Resumen ejecutivo. México, DF. 35 p.
- Cooke, G. W. 1979. Fertilizantes y sus Usos. Octava Impresión. México. 180p.
- Córdova-Sanchez, S., M. Castelán-Estrada, S. Salgado-Garcia, J.D. Palma-Lopez, J. A. Vera- Nuñez, J. J. Peña-Cabriales, L. C. Lagunes-Espinoza, R. Cárdena-Navarro, 2011. Fijacion biológica de nitrógeno por tres fabáceas

(Leguminosae) en suelos acidos de Tabasco, Mexico. Revista de investigación y difusión científica agropecuaria 15(1): 31-50.

CRUZ HERNANDEZ, D. A. (2016). DIVERSIDAD DE CRIOLLOS DE MAIZ EN LA COMARCA LAGUNERA DE COAHUILA Y DURANGO

De la Cruz L., E., S. A. Rodríguez H., A. Palomo G. A. López B., V. Robledo T., A. Gómez V. y R. Osorio O. 2007. Aptitud de proteína para características forrajeras. Universidad y ciencia 23 (1): 57-68.

El Siglo de Torreón. 2011. Resumen Económico Comarca Lagunera 2010. Cia. Editora de la Laguna S. A de C. V. Torreón, Coahuila, México. 80 p.

Eloy-Molina y J. Hernán-Rodríguez, 2012. Fertilización con N, P, K y S, y curvas de absorción de nutrimentos en arroz var. cfx 18 en Guanacaste. Agronomía Costarricense 36(1): 39-51.

Fernandez G y M (1990b) Siembra. *In Vademecum del Maiz*. V C Linan (ed). Semillas Pacifico. Sevilla, España. Pp: 57.128.

Figueroa, V.U. (2003). Uso sustentable del suelo. En: Enrique Salazar Sosa, M. Fortis H., A. Vázquez A. Y C. Vázquez V. (eds), p 1-22. Abonos Orgánicos y Plasticultura. Gómez FAZ UJED. SMCS y COCYTED. ISBN 658-6404-63-5. Palacio, Durango, México. 233 p

Flores-Márgez, J. P., C. Valero-Córdoba., P. Osuna-Ávila., B. Corral-Díaz, M. K. Shukla, E. Salazar-Sosa, 2013. Textura del suelo y tipo de agua de riego

en la disponibilidad de fósforo de estiércol bovino. *Terra Latinoamericana* 31 (3): 211-220.

Gallegos S.L., 2006. Alternativas forrajeras para Guanajuato. Secretaria de Desarrollo Agropecuario. SDA. Celaya, Guanajuato.

Gardner, C. A. C., P. L. Bax, D. J. Bailey, A. J. Cavalieri, C. R. Clousen G. A. Luce, C. W. Tiffany, M. W. Trimble and B. N. Wilsin. 1990. Response of corn hybrids to nitrogen fertilizier. *J. Prod. Agrie.* 3: 39-43.

Gómez-Padilla, E J., L. Argente-Martínez, C. Ávila-Amador, K. Alarcón-Barrero, R. López-Sánchez, B. Ruiz-Díez, M. Fernández-Pascual, B. Eichler-Loebermann, 2013. Evaluación de la tolerancia a la salinidad en frijol Caupí a partir de variables relacionadas con la nodulación y la acumulación de nitrógeno foliar. *Cultivos tropicales* 34(3): 11-16.

Gonzales-Marie, Norca-Mogollón, Geine-Alvarado, Aracelis-Giménez y Tarcisio-Capone, 2012. Efecto del medio de cultivo in vitro y la fuente nitrogenada sobre el crecimiento del cocuy (*Agave cocui* trelease). *Bioagro* 24(1): 39-44.

González A. L., y H. J. Causarano-Medina, 2014. Destino del nitrógeno aplicado en un cultivo de sésamo (*Sesamum indicum* L.) en un suelo degradado de Paraguay. *Acta Agronómica* 63 (2): 253-261.

Guerrero, G. A. 1996. *El Suelo, los Abonos y la Fertilización de los Cultivos*. Ediciones Mundi-Prensa. Bilbao, pp.54, 121.

Hernández-Flores, L., J. A. Munive-Hernández, E. Sandoval-Castro, D. Martínez-Carrera y M. C. Villegas-Hernández, 2013. Efecto de las prácticas agrícolas sobre las poblaciones bacterianas del suelo en sistemas de cultivo en Chihuahua, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 4 (3): 353-365.

INEGI. (2015). Instituto Nacional de Estadística y Geografía. from <http://www.beta.inegi.org.mx/app/areasgeograficas/?ag=10027>

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), 2008, Anuario Estadístico de los Estados Unidos Mexicanos, Cobertura temporal: 2007, Edición 2008, ISSN: 0188-8633.

ISTA (International Seed Testing Association) (1993) International rules for seed testing. *Seed Sei. Technol.* 21, Supplement. 288.

Jokela, W.E. 1992. Effect of starter fertilizer on com silage yields on medium and high fertility soils. *J. Prod. Agrie.* 5: 233-237.

Jones, J. B. 1998. *Plant Nutrition*. CRC Press. Florida. USA. 140p.

Khasawneh, F. E., E. C. Sample and E. J. Kamprath. 1980. The role of phoshorus in agriculture. American Society of Agronomy. Crop Science Society of America. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin USA. pp. 681-690.

- Kostandi, S. F. and M. F. Solimán. 1997. Smut disease incidence and mineral composition of corn as affected by N fertilizer sources and application rates. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 178 4: 197-204.
- Kuzmenko, L. M., M. G. Zhmurko, L. A. Sivak, M. M. Yermak, T. I. Demchenko, M. M. Ermark. 1994. Reaction of maize genotypes to zinc application. *Fiziologiya Biokhimiya Kul Turnykh Rasteni*. 26: 151 - 155.
- Labrador, M. J.; Procura J. L.; Reyes P. J. L. 2004. Fertilizantes, enmiendas, activadores biológicos, sustratos y acondicionadores de suelo. En: Labrador M. J. (ed.) *Conocimientos, técnicas y productos para la agricultura y la ganadería ecológica*. Sociedad española de agricultura ecológica. p. 117-180.
- Loué, A. 1998. *Los Microelementos en la Agricultura*. Ediciones Mundi - Prensa. Madrid. España, pp 107 - 135.
- Machado-Daniel. y Lina-Sarmiento, 2012. Respuesta del cultivo de papa a la combinación de diferentes fuentes de fertilización nitrogenada: evaluando la hipótesis de la sincronización. *Bioagro* 24(2): 83-92.
- Mackay, A. D. and S. A. Barber. 1985. Soil moisture effect on potassium uptake by corn. *Agron. J.* 77:524-527.
- Mascagni, H. J. and D. J. Bouquet. 1996. Starter Fertilizer and Planting date effects on corn rotated with cotton. *Agron. J.* 88:975-982.

- Melgar, R., y M. Diaz - Zorita. 1997. La Fertilización de Cultivos y Pasturas. Ed. Hemisferio Sur S. A. Buenos Aires, Argentina, pp. 93-110.
- Miranda R., G. Alavi , S. Aliaga, A. Caballero, 2014. Mineralización del nitrógeno y generación de CO₂ por descomposición del estiércol ovino. Altiplano central, Bolivia. *Venesuelos*, (21):61-71).
- Moreno M. G., 2008. Producción, productividad y rentabilidad de maíz forrajero de bombeo en La Laguna. Tesis profesional. Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, Universidad Autónoma Chapingo, México.
- Muchow, R. C. 1994. Effect of nitrogen on yield determination in irrigated maize in tropical and subtropical environments. *Field Crops Research*. 38:1-13.
- National Plant Food Institute. 1985. Manual de Fertilizantes. Ed. Limusa.
- Pagani A., H.E. Echeverria., H.R Sainz R. y P.A. Barbieri. 2008. Dosis optima economica de nitrogeno en maiz bajo siembra directa en el sudeste bonaerense. *Revista Ciencias del suelo* 26.(2): 56-61.
- Parra-Terraza, S., P. Lara-Murrieta, M. Villareal-Romero y S. Hernández-Verdugo, 2012. Crecimiento de plantas y rendimiento de tomate en diversas relaciones nitrato/amonio y concentraciones de bicarbonato. *Rev. Fitotecnia Mexicana* 35(2): 143 –153.
- Peretti, A. 1994. Manual para análisis de semillas. Editoreal Hemisferio Sur. 1^a edición.

- Potash & Phosphate Institute. 1997. Manual Internacional de Fertilidad de Suelos. Georgia. USA.
- Reta S. D. G., M. A. Gaytán, A., J. Carrillo A. 2002. Respuesta del maíz para ensilaje a métodos de siembra y densidades de población. Revista Fitotecnia Mexicana. 23:37-48.
- Reta S.D., Gaytan M.A., Carillo A.J., Cueto W.J. 2000. Influencia de métodos de siembra y densidades de población en la formación de granos en maíz. Revista Fitotecnia Mexicana.
- Reta, S., y David G. Guía para cultivar maíz forrajero en Surcos Estrechos. Junio 2002. CELALA-INIFAP, Matamoros, Coahuila. P.24.
- Revelli-Roberto. G., R. Claudio-Gagliardi, O. Alberto-Sbodio y E. Juan-Tercero, 2010. Propiedades fisicoquímicas en suelos predominantes del noroeste de Santa Fe y sur de Santiago del Estero, Argentina. CI. Suelo 28(2): 123-130.
- Rincón-Castillo A. y G. Adolfo-Ligarreto, 2010, Relación entre nitrógeno foliar y el contenido de clorofila, en maíz asociado con pastos en el Piedemonte Llanero colombiano, Revista Corpoica - Ciencia y Tecnología Agropecuaria 11(2), 122-128.
- Robles, S.R. 1990. Produccion de granos y forrajes. 5ª edición, Editorial Noriega limusa. Mexico. Pags:
- Rodríguez, S. F. 1996. Fertilizantes. Nutrición Vegetal. AGT Editor, S. A. México, pp 53 — 66.

- SAGARPA-SIAP (2014) Situación Actual y Perspectivas del Maíz en México. Talleres Gráficos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, México, D. F. 131 p.
- Sánchez, R. 1995. Respuesta a la aplicación de nitrógeno, potasio y azufre en dos densidades de siembra en maíz (*Zea mays* L.) en suelos calcáreos del norte de Tamaulipas. Tesis de Maestría en Ciencias. FAUANL. Marín, N. L. 125p.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2010. Series históricas de superficie sembrada y cosechada, SAGARPA, http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=351, 7 de septiembre de 2011, SAGARPA, Tabulados, Mexico.
- Sprague, G. F. 1985. Corn and Corn Improvement. Number. 18 in the series Agronomy. American Society of Agronomy, Inc. Publisher. Madison, Wisconsin USA. pp 645-648.
- STEEL, R.; TORRIE, J. 1990. Bioestadística: Principios y procedimientos. Mc. Graw-Hill. México, D.F. p. 332-345.
- Tapia V. L.M, Rico P.H., Larios G.A., M. E. Pedraza S. y J. Vidales F.I. R. 2010. Manejo nutrimental en relación con calidad de fruto y estado nutricional del melon Cantaloupe. Revista Chapingo Serie Horticultura 16(1): 47-53.

- Tisdale, L. S. y W. L. Nelson. 1982. Fertilidad de los Suelos y Fertilizantes. Ed. UTHEA. México. 760p.
- Tisdale, S. L., W. L. Nelson and J. D. Beaton. 1985. Soil fertility and fertilizers Macmillan Publishing Co. New York. pp. 249-286.
- Tollenar, M., A. A. Dibo, A. Aguilera, S. F. Weise, and C. V. Swanton. 1994. Effect of crop density on weed interference in maize. *Agron. J.* 86:591-595.
- Torres, P. L., J. Aular, M. Rengel, J. Montaña, 2010. Diagnostico nutricional mediante el uso del Dris Modificado (DRIS-M) en huertos de naranjo en el estado Yaracuy, Venezuela. *Bioagro* 22(2): 127-134.
- Vergara N. A. Ramírez, M. Sierra y H. Córdoba. 2002. Comportamiento de cruza simples y aptitud combinatoria de líneas tropicales de maíz de grano blanco. In: Memoria de la XLVIII reunión anual del programa cooperativo centroamericano para el mejoramiento de cultivos y animales. República Dominicana. 52 p.
- Zhang, J. and S. A. Barber. 1992. Maize root distribution between phosphorus fertilized and unfertilized soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56: 819-822.
- Zhu J.K. 2002. SALT and drought stress signal transduction in plants. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Molec. Biol.* 53:247-273.