

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE



“Dinámica del nitrógeno en el suelo, rendimiento y calidad de maíz forrajero aplicando fertilizantes con inhibidor de nitrificación DMPP”

Por:

RAFAEL BARRIENTOS ALTAMIRANO

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

Torreón, Coahuila, México

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE

“Dinámica del nitrógeno en el suelo, rendimiento y calidad de maíz forrajero aplicando fertilizantes con inhibidor de nitrificación DMPP”

Por:


RAFAEL BARRIENTOS ALTAMIRANO


TESIS


Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

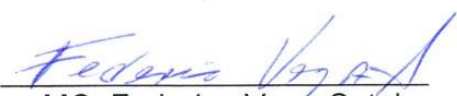
INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

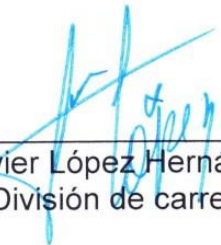
Jurado examinador:


PhD. Vicente De Paul Álvarez Reyna
Asesor Principal Interno


PhD. José Antonio Cueto Wong
Asesor Principal Externo


Ing. Eliseo Raygoza Sánchez
Coasesor


MC. Federico Vega Sotelo
Coasesor


ME. Javier López Hernández
Coordinador de la División de carreras agronómicas



Torreón, Coahuila, México
Diciembre de 2018

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE

“Dinámica del nitrógeno en el suelo, rendimiento y calidad de maíz forrajero aplicando fertilizantes con inhibidor de nitrificación DMPP”

Por:

RAFAEL BARRIENTOS ALTAMIRANO

TESIS

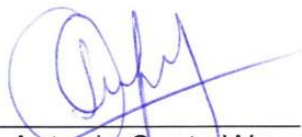
Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN


Aprobada por el Comité de Asesoría:



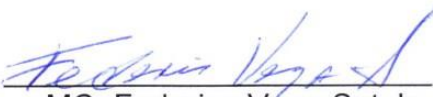
PhD. Vicente De Paul Álvarez Reyna
Asesor Principal Interno



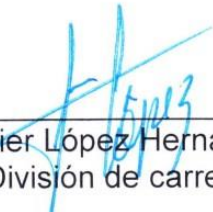
PhD. José Antonio Cueto Wong
Asesor Principal Externo



Ing. Eliseo Raygoza Sánchez
Coasesor



MC. Federico Vega Sotelo
Coasesor



ME. Javier López Hernández
Coordinador de la División de carreras agronómicas



Torreón, Coahuila, México
Diciembre de 2018

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme la dicha de venir a esta vida al lado de una familia maravillosa, por nunca abandonarme en momentos complicados, por ponerme en buen camino siempre y por cruzarme con personas de buen corazón.

A mis padres, por todo el apoyo tanto económico, moral y espiritual, por nunca renegar por mis tiempos, por sus desvelos, por sus sacrificios y esfuerzos de ser mejor cada día para que no nos falte nada.

A él M.C. Edgar Ramírez Horta, primero que nada por mostrar ser una gran persona y ser humano y hoy me atrevo a decir amigo de los que ya hay muy pocos , por su apoyo incondicional desde el primer día que decidí por esta carrera hasta hoy, por siempre estar aconsejándome, por estar al pendiente y buscar apoyo en cada etapa de mi estadía en la UAAAN UL, por no perder la paciencia nunca, por querer transmitirme todos sus conocimientos, por apoyarme en cada una de las decisiones que he tomado.

A él M.C. Jorge García Sepúlveda por todo el apoyo brindando desde el inicio hasta el final del proyecto, encontrando en él una excelente persona y de buenos valores.

A mis compañeros de INIFAP Mayra Ríos Rodríguez, Alexia Saucedo y Edgar Gutiérrez, ya que sin su apoyo no se hubiera logrado el objetivo.

Al Jefe Rigo y Paco por su enorme disponibilidad y apoyarme en los trabajos de campo, donde nada fue imposible.

DEDICATORIA

A Dios por darme la vida a través del amor de mis padres y regalarme amor y salud, por darme sueños y energía para lograrlos y darme la paz que necesito.

A mis papás porque hacen que todo sea posible, por acompañarme y apoyarme siempre en los buenos y malos momentos y aceptarme tal como soy, también por saber apoyarme en todas las decisiones ya sean buenas o malas, por siempre estar guiándome por el camino del bien y porque sé que lo seguirán haciendo en las buenas y en las malas, por hacernos personas de bien a mi hermana y a mí a pesar de las complicaciones que nos ha puesto la vida hemos salido siempre juntos adelante. Los amo mucho nunca lo duden.

A mi papá por ser mi soldado de mil batallas, por nunca rendirse a pesar de los obstáculos que le ha presentado la vida siempre ha logrado salir adelante y sacarnos adelante a nosotros, por ser el padre que todo hijo quiere tener, por ser un gran ejemplo para mí hermana y para mí ya que con sus acciones nos da las herramientas para encarar la vida de la mejor manera, estoy eternamente agradecido con él.

A mi mamá una guerrera incansable, por siempre luchar por el bien de la familia, por echarse al hombro miles de compromisos para sacarnos adelante, por nunca mostrarnos su cansancio para mantenernos estables y unidos, por demostrarme que en esta vida todo se puede alcanzar siempre y cuando estés convencido de ello, por soportar todo los obstáculos que como familia nos ha presentado la vida, por no renegar nunca de las pruebas que mi Dios nos ha mandado, eres la mejor mamá del mundo, te amo muchísimo.

A mi hermana que es parte de mí, por siempre escucharme, aconsejarme y orientarme, por apoyarme en malos momentos, porque siempre tiene una palabra motivacional en el momento adecuado, porque juntos hemos pasado momentos familiares tanto buenos como muy difíciles.

A mis abuelitos por darme lo mejor de la vida que son mis padres, porque siempre estuvieron preguntando por cómo nos va y porque con sus oraciones nos abren el camino día a día.

A mis maestros por toda su paciencia y por siempre dar lo mejor de ellos para empaparnos de conocimientos, por prepararnos para los retos que vienen en la vida, muchas gracias.

RESUMEN

La fertilización del maíz forrajero en el centro norte de México se realiza de manera poco tecnificada con tendencia a sobrefertilizar el cultivo. El objetivo del trabajo consistió en evaluar el efecto de fertilizantes nitrogenados con inhibidor de la nitrificación (DMPP) sobre el rendimiento, calidad del maíz forrajero y en la dinámica del N inorgánico en el suelo. La investigación se realizó en 2016 en el Campo Experimental La Laguna (Matamoros, Coahuila). Se evaluaron cuatro programas de fertilización comercial que incluyeron varias fuentes y dosis de fertilizantes con inhibidor de nitrificación más dos testigos, uno con fertilización convencional y otro sin fertilizar. Los programas comerciales recibieron tratamiento de Zn en la semilla y dos aplicaciones foliares con varios macro y micronutrientes. Se tuvieron seis tratamientos y cuatro repeticiones bajo un diseño experimental de bloques al azar y prueba de medias de Duncan (0.05). Se determinó el rendimiento, calidad del maíz forrajero y dinámica del N inorgánico en el perfil del suelo. Los resultados mostraron que todos los tratamientos superaron al testigo sin fertilizar ($p > 0.0021$). El tratamiento que recibió 244 kg N ha^{-1} produjo el más alto rendimiento ($20.1 \text{ t MS ha}^{-1}$) y fue estadísticamente igual al tratamiento con DMPP que recibió 136 kg N ha^{-1} (19.1 t ha^{-1}). También se encontró que los tratamientos que recibieron 246.5 y 244 kg/ha de N, fueron también los que reportaron las mayores concentraciones de N-nítrico en la profundidad $60\text{-}90 \text{ cm}$ ($p > 0.001$). La concentración de N-NO₃ en estos tratamientos fue superior en 8 mg/kg con respecto al promedio de los tratamientos 3, 4, 6 y 1 ($162, 143.5, 136$ y 0 kg/ha de N químico aplicado). Se concluye que los fertilizantes con inhibidor de la nitrificación presentan potencial para reducir las dosis de N en el maíz forrajero.

PALABRAS CLAVE: Fertilización, Maíz, Nitrógeno, Rendimiento

ÍNDICE GENERAL

Pagina

AGRADECIMIENTOS.....	i
DEDICATORIA.....	ii
RESUMEN.....	iv
INDICE GENERAL.....	iii
INDICE DE CUADROS.....	iv
INDICE DE FIGURAS.....	v
I. INTRODUCCION.....	1
1.1 Objetivo General.....	4
1.2 Objetivos específicos.....	4
1.3 Hipótesis.....	5
2. REVISION DE LITERATURA.....	6
2.1 Generalidades del Cultivo.....	6
2.1. Generalidades del cultivo.....	6
2.2. Maíz forrajero en la alimentación del ganado bovino lechero.....	8
2.3. Parámetros de calidad.....	9
2.4. Calidad de forraje para ensilaje.....	10
2.5. Efecto del nitrógeno en las plantas.....	11
2.6. Síntomas de deficiencia de nitrógeno en maíz forrajero.....	12
2.7. Ciclo del nitrógeno.....	13
2.8. Pérdida del nitrógeno.....	14
2.9. Mineralización, nitrificación y desnitrificación.....	15

2.10. Eficiencia en el uso del nitrógeno.....	18
3. MATERIALES Y METODOS.....	21
3.1. Ubicación de la Comarca Lagunera.....	21
3.2. Tipo de Suelos.....	22
3.3. Clima.....	25
3.3.1. Humedad Relativa (HR).....	27
3.3.2. Hidrología.....	27
3.4. Localización del sitio experimental.....	29
3.5. Tratamientos.....	30
3.6. Hibrido utilizado.....	33
3.6.1. Tratamiento a la semilla.....	34
3.7. Diseño experimental.....	35
3.8. Variables evaluadas.....	36
3.9 Prácticas culturales.....	37
3.9.1 Preparación del terreno.....	37
3.9.2. Siembra y fertilización.....	38
3.9.3. Tratamientos foliares.....	40
3.10. Riego.....	43
3.11. Control de maleza.....	45
3.12. Control de plagas.....	45
3.12. Cosecha.....	47
3.13. Muestreo foliar.....	49
3.14. Muestreo y análisis de suelo.....	49
4. RESULTADOS Y DISCUSION.....	53

4.1. Rendimiento de forraje verde.....	50
4.2. Rendimiento de forraje seco.....	51
4.3. Rendimiento de grano.....	52
4.4. Valores de SPAD y GreenSeeker.....	53
4.5. Análisis foliar.....	54
4.6. Concentración de nitrógeno inorgánico en el suelo.....	55
5. CONCLUSIONES.....	57
6. LITERATURA CITADA.....	58

ÍNDICE DE CUADROS

	Pagina
Cuadro 1. Propiedades físicas y químicas del suelo a 30 cm de profundidad en el sitio experimental.....	25
Cuadro 2. Precipitación, temperatura máxima, mínima y media anual de 2007 a 2017.....	27
Cuadro 3. Presas de almacenamiento en el Distrito de Riego 017.....	29
Cuadro 4. Tratamientos evaluados, aporte nutrimental y productos utilizados.....	32
Cuadro 5. Nombre comercial y aporte nutrimental de cada producto incluido en la formulación de los diferentes programas de fertilización.....	33
Cuadro 6. Análisis garantizado y concentración de Basfoliar Kelp®.....	36
Cuadro 7. Análisis garantizado y concentración Basfoliar Zinc® 75 Flo.....	36
Cuadro 8. Composición, forma química y concentración en Basfoliar PS ®.....	42
Cuadro 9. Composición química Basfoliar Algae ®.....	43
Cuadro 10. Composición química y concentración de Fertiquel Combi®.....	44
Cuadro 11. Calendario de riegos, fecha de aplicación y días entre riegos.....	45
Cuadro 12: Combate de plagas realizado durante el ciclo del experimento.....	48
Cuadro 13: Rendimiento de forraje verde expresado en t·ha ⁻¹	52
Cuadro 14: Rendimiento de forraje seco expresado en t·ha ⁻¹	53

Cuadro 15. Rendimiento de grano de maíz forrajero a madurez fisiológica en t · ha ⁻¹	53
Cuadro 16. Concentración de nutrimentos en muestras foliares de maíz forrajero tomadas en la etapa de floración femenina.....	56
Cuadro 17. Concentración de nitrógeno inorgánico en el perfil del suelo (0-90 cm).....	57

INDICE DE FIGURAS

	Pagina
Figura 1. Sitio de acción de la molécula IN DMPP dentro del proceso de nitrificación.....	3
Figura 2. Pérdida de nitrógeno (flechas azules) a la atmósfera en forma de amoníaco (NH ₃), óxido nitroso (N ₂ O) y nitrógeno molecular (N ₂) y las pérdidas por lixiviación (flechas rojas) de N en forma de nitratos (N-NO ₃ ⁻)	3
Figura 3. Deficiencia severa de N (lado der. Fuente: Signs of nutrient deficiency in corn. Corn and soybean digest	13
Figura 4. Componentes principales del ciclo del N. Fuente: Lumen Microbiology. Biochemical Cycles	14
Figura 5. Entradas de N y P al suelo, conglomerado de bacterias que actúan en la descomposición de la materia orgánica, la liberación de N disponible y la liberación a la atmósfera de dióxido de carbono (CO ₂).....	16
Figura 6. Conversión de amonio (N-NH ₄) a nitrito (N-NO ₂ ⁻) y posteriormente a nitrato (N-NO ₃ ⁻) en el proceso de la nitrificación. Fuente: Measuring Nitrite in Wastewater Treatments.....	17
Figura 7. Reacción química involucrada en el proceso de desnitrificación.....	18
Figura 8. Localización de La Comarca Lagunera y municipios de los Estados de Coahuila y Durango que la conforman	21
Figura 9. Principales grupos de suelos en México (2007). Fuente: INEGI. Conjunto de Datos Vectorial Edafológico, Escala 1: 250 000, Serie II (Continuo Nacional). México. 2007.....	23
Figura 10. Toma de muestras de suelo antes de la siembra y después de la cosecha para determinar propiedades físicas, químicas y concentración de N-NO ₃ ⁻ y NH ₄ ⁺	24

Figura 11. Carta de climas del INEGI.....	26
Figura 12. Localización del sitio experimental.....	29
Figura 13. Diferentes tratamientos en el sitio experimental.....	30
Figura 14. Croquis de campo.....	33
Figura 15. Tratamiento a la semilla antes de la siembra.....	34
Figura 16. Actividades adicionales: De izquierda-derecha y de arriba-abajo: Lecturas de GreenSeeker®, altura y diámetro de plantas, conteo de mazorcas y muestreo foliar previo a la etapa de floración.	37
Figura 17. Diferentes aspectos de la preparación del terreno y sistema de riego.....	38
Figura 18. Diferentes aspectos de la siembra.....	39
Figura 19. Diferentes aspectos de la preparación y aplicación de los tratamientos.....	40
Figura 20. Colocación de la tubería para la conducción de agua y riego por multicompuertas, riego de pre siembra, primer y segundo riego de auxilio (orden del reloj)	45
Figura 21. Plagas que se presentaron en el cultivo. De derecha-izquierda y de arriba-abajo: Gusano Cogollero (<i>Spodoptera frugiperda</i>), Araña Roja (<i>Tetranychus urticae</i>), y Diabrotica (<i>Diabrotica undecimpunctata</i>).....	46
Figura 22. Aspectos de la cosecha de forraje en verde y de grano a madurez fisiológica.....	48

INTRODUCCIÓN

La Comarca Lagunera (CL) es la cuenca lechera más importante y tecnificada del país ya que se producen más de 2 433 millones de litros de leche al año, que representan el 20% del total nacional (SIAP, 2017), colocando a la región como el primer lugar en producción de leche y primer lugar en la producción de forraje con irrigación en el país (S.E., 2012).

En La Laguna existen casi 500 mil cabezas de ganado bovino lechero (GBL) concentradas en un área menor a 55 km² entre los estados de Coahuila y Durango (Chávez *et al.*, 2018). Para satisfacer parcialmente la gran demanda de alimentos que el hato genera, en el ciclo agrícola 2018, de acuerdo con cifras de la Delegación Regional de SAGARPA, se establecieron 39 mil 678 hectáreas de maíz forrajero (16 mil ha de riego por gravedad y 23,661 ha por bombeo) que son destinadas a la alimentación del GBL, debido principalmente a su alto potencial de rendimiento en materia seca (MS) y como fuente de energía (grano) y fibra (Rodríguez, 2010).

El maíz forrajero presenta un potencial de rendimiento en la región de entre 22 y 24 t · ha⁻¹ de MS (Cueto *et al.*, 2006) cuando las necesidades bióticas y abióticas del cultivo son las adecuadas. Se establece en dos ciclos, primavera y verano con rendimiento superior a 55 t · ha⁻¹ de forraje verde (FV) cuando se cosecha con aproximadamente 33% de MS.

Entre mayor sea el rendimiento esperado, mayor será la demanda y extracción de nutrientes por el cultivo. En La Comarca Lagunera la tendencia ha sido hacia incrementar la dosis de estiércol, de fertilizante químico o de ambos.

Sin embargo, en términos generales, el abonamiento del maíz forrajero continúa realizándose de una manera empírica y con poco uso de la información básica requerida para hacer un uso eficiente de los abonos orgánicos o fertilizantes químicos, como son los análisis de suelo previos a la siembra y demanda nutrimental en función de un rendimiento esperado realista del cultivo (Cueto *et al.*, 2018).

Debido a la tendencia a sobrefertilizar el cultivo del maíz forrajero, especialmente cuando se hace uso simultáneo de estiércoles y fertilizantes químicos, existe el riesgo de contaminación de los acuíferos de la región con nitratos (N-NO_3^-) y pérdida hacia la atmósfera de gases de efecto invernadero (NO_x), principalmente óxido nitroso (N_2O).

Debido a estas circunstancias en los últimos años se ha prestado gran atención al desarrollo de tecnología que permita una mejor eficiencia en el uso de nitrógeno (EUN) como lo son los fertilizantes recubiertos para la liberación lenta del N y aquellos que incorporan inhibidores de la nitrificación como el DMPP (3,4 Dimetil Pirazol Fosfato) en su formulación, con el objetivo de reducir la concentración de nitratos (N-NO_3^-) en el suelo durante el ciclo del cultivo y minimizar las pérdidas al medio ambiente de NO_x derivado de la desnitrificación.

Los fertilizantes con inhibidores de la nitrificación se caracterizan por la acción de sus moléculas, las cuales inhiben la acción de las bacterias *Nitrosomas sp* en el proceso de la nitrificación. Las bacterias de los géneros *Nitrosomas* y *Nitrobacter* entre otras, son responsables de la oxidación de amonio (N-NH_4^+) a nitrato (N-NO_3^-). Al permanecer el N en el suelo en forma de amonio, éste es retenido en el suelo por el complejo arcilloso debido a su carga positiva, evitando así el riesgo de lixiviación de N-NO_3^- a través del perfil del

suelo y mejorando la disponibilidad y eficiencia de uso de nitrógeno (Díez *et al.*, 2009).

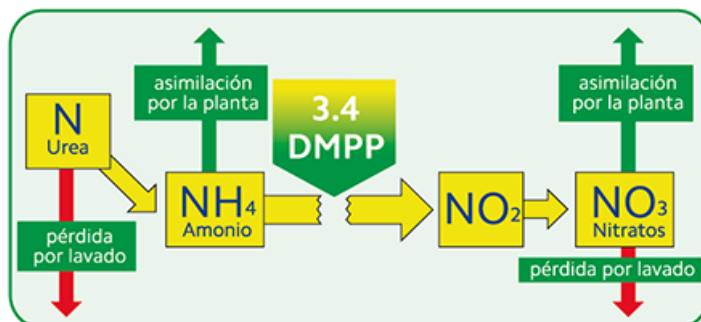


Figura 1. Sitio de acción de la molécula 3,4 DMPP dentro del proceso de nitrificación. FUENTE: Compo Experts, México. www.compo-experts.com.mx

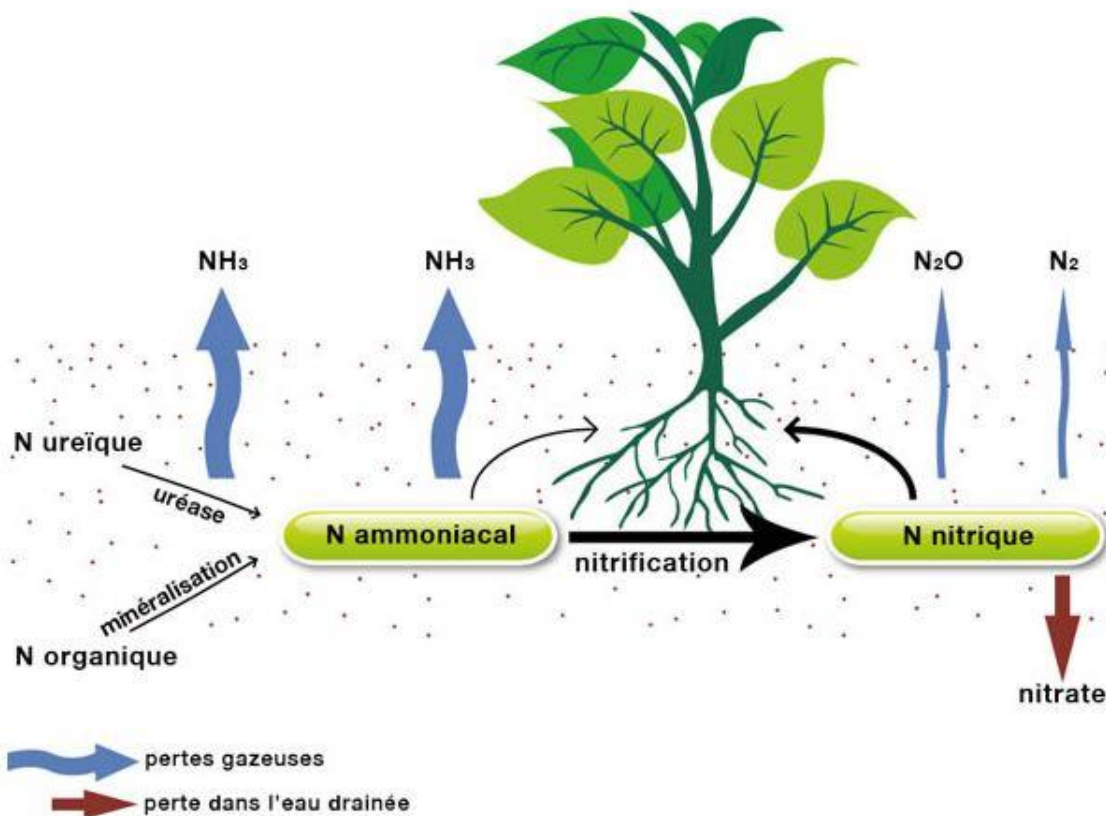


Figura 2. Pérdidas de nitrógeno a la atmósfera en forma de amoníaco, óxido nítrico y nitrógeno molecular y por lixiviación en forma de nitratos (N-NO_3^-).

Fuente: <https://fertilisation-edu.fr/le-raisonnement-de-la-fertilisation/azote-et-soufre/choix-de-la-form>

OBJETIVO GENERAL

Evaluar diferentes programas de fertilización que incluyen fertilizantes nitrogenados con inhibidor de la nitrificación (3,4 DMPP), tratamiento a semilla y aplicaciones foliares, sobre el rendimiento, desarrollo agronómico y calidad de maíz forrajero en un sistema típico de producción de la Comarca Lagunera.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

Evaluar y comparar el rendimiento de forraje, estado nutricional, calidad bromatológica y dinámica del N inorgánico (N-NO_3^- y NH_4^+) en el perfil del suelo entre fertilizantes nitrogenados convencionales y los que contienen el inhibidor de nitrificación (3,4 DMPP).

HIPÓTESIS

El uso de fertilizantes nitrogenados con el inhibidor de la nitrificación (3,4 DMPP) reduce la aplicación de la dosis de nitrógeno que se aplica normalmente al maíz forrajero con fertilizantes convencionales, sin afectar el rendimiento ni la calidad del cultivo, debido al incremento en la eficiencia en el uso del nitrógeno (EUN) al mantener al nitrógeno por más tiempo en forma amoniacal, la cual es menos propensa a la lixiviación.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 GENERALIDADES DEL CUTIVO

Debido a sus propiedades cualitativas, su uso en la producción de proteína animal, y el consumo humano e industrial, el maíz (*Zea mays*L.) se ha convertido en uno de los productos más importantes del mundo debido a su relevancia económica y social. De acuerdo con el reporte de perspectivas agrícolas, del total del maíz cultivado en México, el 51.5% se destina a consumo humano y el 48.5% restante, para la alimentación animal, principalmente de bovinos lecheros y bovinos para carne (DIEES, 2016).

Datos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) indican que en el año agrícola 2016 (ciclos primavera-verano y otoño-invierno), en la modalidad de riego y temporal, en el país se cosecharon 601 663 ha de maíz forrajero verde (MFV) con un rendimiento conjunto de 16 164 604 t de forraje y un valor de producción de 8 383 291 (miles de pesos). El rendimiento promedio nacional (RPN) fue de 26.86 t · ha⁻¹ de forraje verde (SIAP, 2018).

El estado de Jalisco fue el principal productor de maíz forrajero con una superficie de 207 299 ha y un rendimiento promedio (RP) de 22.5 t·ha⁻¹, el estado de Zacatecas ocupó el segundo lugar con 112 886 ha y un RP de 20.22 t·ha⁻¹, el tercero, cuarto y quinto lugar fueron los estados de Durango con 64 920 ha y RP de 37.1 t·ha⁻¹, Aguascalientes 61 902 ha y RP de 23.1 t·ha⁻¹ y Chihuahua con 44 446 ha y RP de 16.71 t·ha⁻¹, respectivamente (SIAP, 2018).

En la Comarca Lagunera, en el ciclo agrícola 2016, se establecieron 143,287 ha con una producción de 4 millones 727 000 t de forraje, melón, sandía, tomate, cebada, chile y vid, principalmente. En cuanto al maíz forrajero se establecieron 39 mil 678 hectáreas de maíz forrajero (16 mil ha de riego por gravedad y 23,661 ha por bombeo) y el rendimiento promedio en suelo con irrigación fue de 45.71 t · ha⁻¹ de forraje verde.

En La Comarca Lagunera, cuando las condiciones bióticas y abióticas son las adecuadas, el maíz forrajero presenta un potencial de rendimiento que fluctúa entre 22 y 24 t · ha⁻¹ de materia seca (MS) y se estima que la remoción de N por ciclo de cultivo varía entre 245 y 270 kg · ha⁻¹ (Cueto *et al.*, 2006). Adicionalmente, de acuerdo con estimaciones recientes para la Comarca Lagunera, anualmente se generan 925 000 toneladas de estiércol en base a materia seca (MS), con un contenido promedio de N de 1.6% con base a peso seco, equivalentes a 14 800 t de N total año⁻¹ (Figuroa *et al.*, 2010).

A nivel mundial, se está aplicando un exceso de fertilizantes nitrogenados a los cultivos, lo que al final de cuentas genera contaminación por N en la ecósfera. La atmósfera está contaminada con óxido nitroso (N₂O) y gases derivados (NO_x) que directa e indirectamente aumentan contribuyen al calentamiento de la atmósfera y el cambio climático. Además, el N puede perderse por escurrimiento superficial o lixiviarse del suelo agrícola en forma de nitratos (NO₃⁻). La pérdida superficial eutrófica “enriquece nutricionalmente” ríos, lagos y mares, provocando “zonas muertas” por anoxia y reduciendo la diversidad de la vida acuática y perjudicando industrias asociadas como la pesca y el turismo. La lixiviación contribuye a contaminar el agua del subsuelo (Good *et al.*, 2011).

2.2. MAÍZ FORRAJERO EN LA ALIMENTACION DEL GANADO BOVINO LECHERO

El maíz, es un forraje de un solo corte y se destina para ensilado. Sus virtudes nutritivas radican en su gran contenido de energía, así como la excelente aceptación del ganado para este forraje y que, por lo general, se da combinado con alfalfa (Gasque *et al.*, 2013).

El maíz para ensilar es un cultivo muy utilizado por los ganaderos lecheros de la región norte y central de México y forma parte importante de la ración forrajera, en muchos establos se suministra por lo general como ensilado, el cual es rico en energía y fibra, también se suministra como paja o rastrojo en temporada seca. Se le combina por lo general con heno de alfalfa, especialmente en raciones integrales. Por su calidad y valor nutritivo, el maíz forrajero junto con la alfalfa es ampliamente utilizado en explotaciones pecuarias para la alimentación de ganado bovino lechero (GBL) en desarrollo y producción (Becerra, 2004).

Se utiliza como forraje debido a sus múltiples bondades como: alta producción de MS, alto contenido de grano, gran palatabilidad, almacenamiento y bajos costos de producción. Tiene dos atributos principales; la energía contenida en el grano y fibra en el tallo (Rodríguez, 2010).

Los forrajes presentan una gran variación en calidad en sus distintas etapas de crecimiento y en las diferentes fracciones de la planta. Esta diferencia se debe a la variabilidad en las condiciones ambientales (suelo-clima), al

material genético y al manejo del cultivo en cuanto al riego y fertilización, entre otros.

2.3. PARÁMETROS DE CALIDAD

Los parámetros de calidad más utilizadas son: Materia seca (MS): expresa el contenido de materia seca de un forraje, para el caso de maíz para ensilaje, se considera ideal entre 30 y 35%. Proteína bruta (PB): incluye el N contenido en proteínas y en otros compuestos nitrogenados no proteicos. Fibra detergente neutra (FDN): es la porción del forraje que es insoluble en un detergente neutro (Almeida, 2014). La FDN, está básicamente compuesta por celulosa, hemicelulosa, lignina y sílice y se le denomina pared celular. Se considera que a mayor FDN menor consumo de materia seca. Fibra detergente ácido (FDA): es la porción de la muestra que es insoluble en un detergente ácido. Se considera que a mayor FDA menor digestibilidad del forraje. Carbohidratos no estructurales (CNES): son aquellos que no forman parte de la pared celular. Están constituidos por azúcares libres (glucosa, fructosa, sacarosa), almidón y fructosa. La importancia de los mismos es que poseen un potencial de fermentación rápido y total en el rumen. Cuando se hace referencia a forraje de alta calidad, es porque tienen moderado a elevado contenido proteico (más del 12%) y bajo a moderado niveles de fibra (28% a 60%) y con más de 60% de digestibilidad (Almeida, 2014).

En una serie de experimentos llevados a cabo entre 2002 y 2003 con 21 genotipos comerciales de maíz forrajero obtuvo los siguientes resultados: proteína cruda (PC): 7.37, fibra detergente neutra (FDN): 63.37, fibra detergente ácida (FDA): 37.11 (Núñez *et al.* 2010). La concentración de lignina fue 6.13%, la digestibilidad *in vitro* 71.50%, la digestibilidad de la fibra

detergente neutro 55.06% y la concentración de energía neta de lactancia (ENL): 1.52Mcal kg⁻¹ MS.

2.4. CALIDAD DE FORRAJE PARA ENSILAJE

El estado de madurez de la planta a cosecha (o etapa de corte) es el principal factor que afecta el valor nutritivo y características de fermentación del ensilaje de maíz. En México, la etapa de corte para ensilaje tradicionalmente se realiza en estado lechoso-masoso o masoso, por lo que los ensilajes presentan una baja proporción de elote que se refleja en menor producción y calidad del forraje (González *et al.*, 2006).

Al cosechar en etapas tempranas las concentraciones de fibra son mayores. Se ha determinado que el máximo rendimiento de materia seca, mayor digestibilidad y menor contenido de fibra se obtiene cuando se cosecha en la etapa fenológica entre $\frac{1}{2}$ y $\frac{1}{3}$ de línea de leche en el grano debido principalmente a que incrementa la proporción de grano en el forraje (González *et al.*, 2006).

Al sembrar maíz forrajero se busca obtener una materia seca de entre 32 a 35%, de manera que se garantice la calidad y conservación del silo. El momento en el que el maíz presenta una mayor digestibilidad de fibras cuando la planta tiene una materia seca del 27%, sin embargo, el rendimiento de MS y energía no es el óptimo.

Si superamos el 35% de materia seca, los niveles de almidón aumentarán ligeramente, pero la digestibilidad de la fibra bajará considerablemente. Al mismo tiempo, es más difícil conseguir una buena compactación en el silo, con lo que aumenta la cantidad de oxígeno, y por lo tanto las pérdidas por fermentación es no deseada (LG Seeds, 2016).

Lo que realmente nos interesa es conseguir la mayor capacidad de producción de leche por hectárea del maíz obtenido, por eso es primordial cosecharlo en este punto (32-35% MS), ya que es donde obtendremos la mayor rentabilidad.

La observación de la planta entera no siempre es suficiente. En genotipos con buen stay-green (proceso de senescencia foliar demorado), la evolución del grano alcanza la materia seca adecuada sin que se vea claramente en la planta, las hojas siguen muy verdes pero la tasa óptima de materia seca de la planta entera ya se ha alcanzado. El efecto engañoso de este verdor puede provocar una recolección con una tasa de materia seca demasiado elevada.

Para evitar esto, además del estado vegetativo de la planta, tenemos que observar atentamente la evolución del llenado del grano en la mazorca, para así poder predecir con mayor probabilidad una cosecha en el momento óptimo (LG Seeds, 2016).

2.5. EFECTO DEL NITRÓGENO EN LAS PLANTAS

El N llega a las raíces de las plantas por medio de “flujo de masas” ocasionado por un gradiente hídrico en el sistema suelo-planta-atmósfera. La planta puede absorber N tanto bajo la forma de nitrato (NO_3^-) como de amonio (NH_4^+). Estos

iones llegan primero al espacio libre de la raíz para posteriormente atravesar las membranas entrando en las células vegetales.

La absorción de nitrato se realiza contra un gradiente electroquímico, implicando por lo tanto un gasto de energía metabólica (ATP). La absorción de amonio se realiza a través de mecanismos pasivos, sin gasto de energía para la planta (Uhart *et al.*, 1998).

La principal fuente de N para las plantas es la materia orgánica del suelo, a partir de la cual se generan el amonio y el nitrato. El nitrato, una vez absorbido es reducido con gasto de energía proveniente de la fotosíntesis. El amonio no necesita ser reducido y es incorporado rápidamente a aminos y amidas dado que no puede ser almacenado porque es tóxico para la planta. Bajo condiciones de baja irradiación, la absorción y reducción de N y la fijación y reducción del carbono pueden entrar en competencia por la energía disponible (Uhart *et al.*, 1998).

2.6. SINTOMAS DE DEFICIENCIAS DE NITRÓGENO EN MAÍZ FORRAJERO

El maíz es un cultivo sensible a la deficiencia de nitrógeno. Cuando ésta se presenta, las plantas se retrasan en el crecimiento y forman mazorcas pequeñas. A su vez, las mazorcas afectadas tienen pocos y pequeños granos. Se ha observado que el crecimiento de las plantas jóvenes se reduce drásticamente, aun con deficiencias leves de este nutriente. El N es móvil en la planta y en el suelo. Con baja disponibilidad se mueve fácilmente de las hojas viejas a las más jóvenes (Sharma *et al.*, 2017).

Los síntomas de deficiencia aparecen primero en las hojas viejas, en las plantas adultas, los síntomas pueden aparecer simultáneamente en las hojas jóvenes, que presentarán un color verde claro; en las hojas medias (mitad de planta), que van de amarillo claro a café claro; y en las hojas más viejas, las cuales posteriormente se secan de manera inusual.

Cuando la deficiencia es leve, la planta completa tendrá un verde claro uniforme y a medida que la deficiencia aumente en severidad, las hojas más viejas presentarán una clorosis amarilla que avanza hacia la base de las hojas, a lo largo de la nervadura central con un patrón en forma de "V". Es más probable que una deficiencia de N ocurra en suelo con bajo contenido de MO, suelo arenoso que han sido lixiviados por el agua de la lluvia o riego excesivo, suelo con manejo intensivo, pero deficientemente abonado y suelos con anegamiento prolongado (Sharma *et al.*, 2017).



Figura 3. Deficiencia severa de N junto a una parcela con nivel de N suficiente para su desarrollo. Fuente: Propia.

2.7. CICLO DEL NITRÓGENO

La forma y cantidad del N en el suelo cambian constantemente debido a procesos edáficos físicos, químicos y biológicos. Las formas orgánicas de nitrógeno disponible incluyen aminoácidos y proteínas. Las formas inorgánicas de nitrógeno son las formas absorbibles por las plantas, amonio (N-NH_4^+) y nitrato (N-NO_3^-). El N en la solución del suelo está presente de manera predominante como N-NO_3^- , el cual no es retenido por el complejo arcilloso del suelo debido a su carga eléctrica negativa y por lo tanto, es más propenso a perderse por lixiviación (Verhulst *et al.*, 2015).

El N puede llegar al suelo como: fertilizantes orgánicos y sintéticos, fijación simbiótica (Leguminosas) y no simbiótica, en el agua de riego y de la descomposición de residuos de los cultivos.

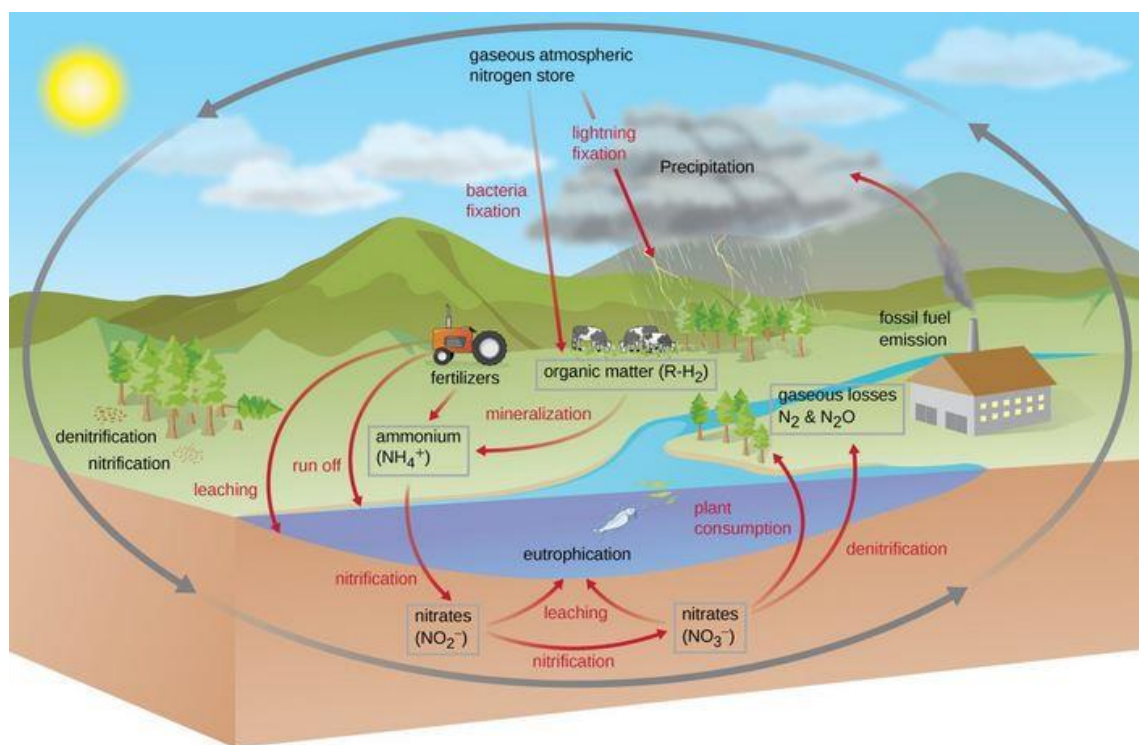


Figura 4. Principales componentes del ciclo del N. Fuente: Lumen Microbiology. Biochemical Cycles. <https://courses.lumenlearning.com/microbiology/chapter/biogeochemical-cycles/>

2.8. PÉRDIDA DE NITRÓGENO

Algunos procesos como la volatilización del amoníaco (NH₃), en la cual el N gaseoso se pierde en la atmósfera y la emisión de productos de la desnitrificación (N₂, N₂O, NO_x) pueden reducir el contenido de nitrógeno en el suelo. En caso de un exceso de humedad, el nitrógeno mineral (particularmente

el NO_3^-) puede lixiviarse a través del suelo por infiltración y flujo del agua pudiendo llegar y contaminar mantos freáticos (Verhulst *et al.*, 2015).

Varios estudios aseguran que la lixiviación de N-NO_3^- en regiones agrícolas puede llegar hasta un 40%. Se puede asegurar entonces, que el aumento de nitratos en cuerpos de agua superficial y subterránea casi siempre es debido, a las aplicaciones de altas dosis de N que superan las necesidades de los cultivos (INTAGRI, 2017).

La pérdida por lixiviación puede ser importante cuando la dosis de fertilizantes nitrogenados se encuentra por encima de los requerimientos del cultivo (sobrefertilización), o cuando la oferta de nitratos y demanda del cultivo están desfasadas en el tiempo.

2.9. MINERALIZACIÓN, NITRIFICACIÓN Y DESNITRIFICACIÓN

La mineralización de los residuos de los cultivos puede proveer importantes cantidades de N disponible (N-NO_3^- y N-NH_4^+), o puede significar una inmovilización neta de N del suelo. Entre los factores más importantes que controlan la mineralización del N, se incluyen la composición de los residuos, las condiciones ambientales (temperatura y humedad) y características del suelo.

Los residuos orgánicos agregados en forma superficial o incorporados dentro del suelo son descompuestos por la biomasa microbiana presente en el suelo y/o en los residuos. Parte del C en la descomposición de residuos, es liberado como

CO₂ y otra parte, es asimilada por la biomasa microbiana involucrada en el proceso de descomposición (Cabrera *et al.*, 2007).

Para que ocurra la asimilación del C, el N también debe ser asimilado en cantidades determinadas por la relación carbono/nitrógeno (C: N) de la biomasa microbiana. Si la cantidad de N presente en los residuos orgánicos es superior que la requerida por los microorganismos, existirá una mineralización neta, con liberación de N inorgánico (N-NO₃⁻ y N-NH₄⁺) disponible para las plantas (Cabrera *et al.*, 2007).

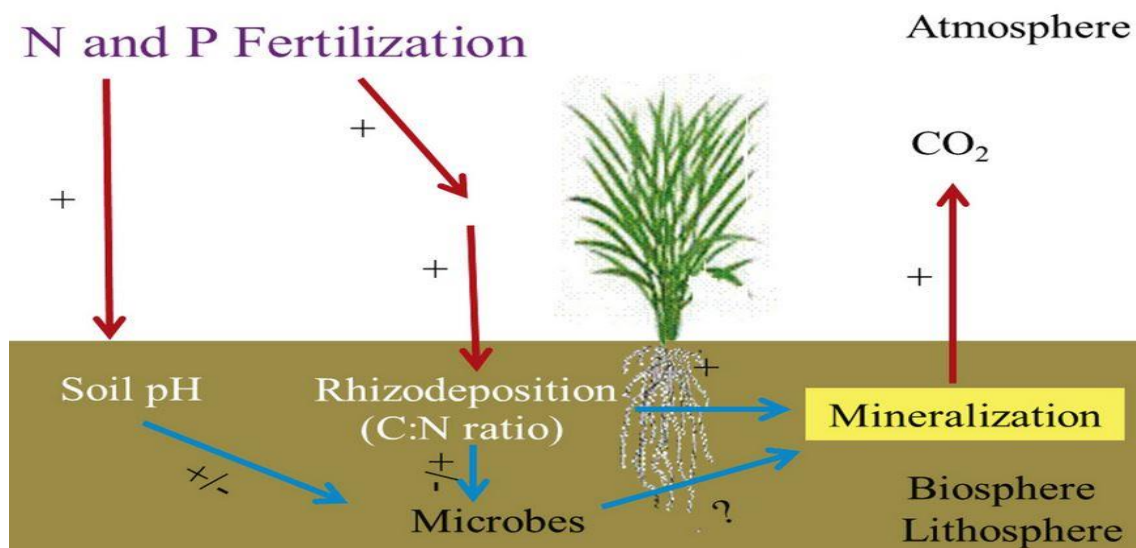


Figura 5. Entradas de N y P al suelo mostrando la participación de microorganismos en la descomposición de la materia orgánica, la liberación de N disponible y la liberación a la atmósfera de dióxido de carbono (CO₂). Fuente: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969716326808>

NITRIFICACIÓN

La nitrificación es la conversión de amonio (N-NH_4^-) a nitrato (N-NO_3^-), llevada a cabo principalmente por bacterias quimio autótrofas de los géneros *Nitrosomonas* y *Nitrobacter*.

La tasa de nitrificación (TN) en el suelo está fuertemente relacionada con la temperatura, contenido de agua, pH y el potencial osmótico del suelo. En general, la forma de la curva de respuesta de la nitrificación a la temperatura es similar a la del N mineralizado con la excepción que a baja temperatura la respuesta a la nitrificación no parece ser tan pronunciada como la mineralización de N (Cabrera *et al.*, 2007).

La temperatura óptima para la nitrificación varía de acuerdo a la ubicación geográfica y la profundidad del suelo (variaciones aparentemente causadas por la adaptación de las bacterias al medio ambiente). Consecuentemente, suelos de áreas frías tienen una temperatura óptima menor para la nitrificación que suelos de áreas más cálidas. Los nitrificadores (*Nitrosomonas* y *Nitrobacter*) necesitan agua y oxígeno para llevar a cabo la oxidación del amonio a nitrato, además existe una fuerte interacción entre la temperatura y contenido de agua del suelo en la tasa de nitrificación (Cabrera *et al.*, 2007).

El pH del suelo tiene un efecto fuerte en la tasa de nitrificación. En general, la nitrificación se detiene una vez que los valores de pH son menores de 4.5 o mayores a 9.

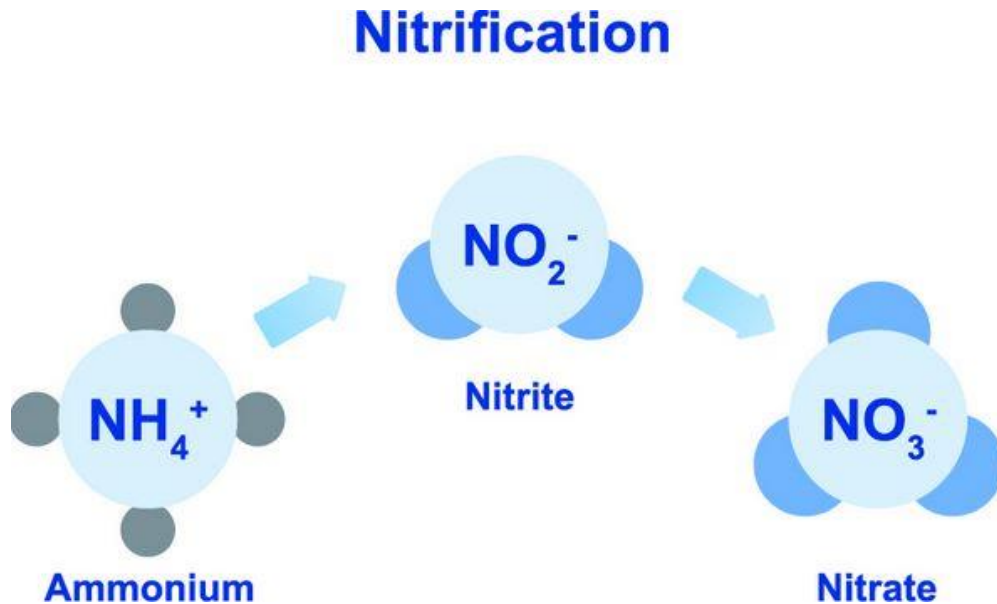


Figura 6. Conversión de amonio (N-NH_4) a nitrito (N-NO_2^-) y posteriormente a nitrato (N-NO_3^-) en el proceso de la nitrificación. Fuente: Measuring Nitrite in Wastewater Treatments, <http://www.cclynch.com/measuring-nitrite-in-wastewater-treatment/>

DESNITRIFICACIÓN

Es un proceso de reducción bioquímico mediante el cual el N de los nitratos (NO_3^-) es devuelto a la atmósfera como óxido nitroso (N_2O) o como N elemental (N_2). El proceso es llevado a cabo por una serie de bacterias de suelo (del género *Bacillus* y *Pseudomonas*, principalmente).

Las bacterias des nitrificantes toman los iones nitrato (NO_3^-) como aceptores de electrones para su propia respiración reemplazando al oxígeno. Algunas de estas bacterias son anaeróbicas (bacterias que cuentan con un

metabolismo que genera su energía a partir de sustancias que carecen de oxígeno) mientras que

Otras (la mayoría) son facultativas, es decir, respiran oxígeno si existe disponibilidad; cuando éste se agota, eligen compuestos oxidados que sirvan como aceptores de electrones, por ejemplo los nitratos (NO_3^-) y los reducen. Una vez que estos desaparecen o se consumen totalmente, las bacterias buscarán otros compuestos como los óxidos de hierro y de manganeso que los suceden en la serie de potencial oxido-reducción, para continuar el proceso. Por esta razón, situaciones de anegamiento generan condiciones de déficit de oxígeno libre, promoviendo entre otros procesos, la desnitrificación (INTA, 2016).



Figura 7. Transformaciones químicas involucradas en el proceso de desnitrificación.

Existen factores clave para que ocurra la desnitrificación y que inciden directamente en las cantidades de N perdidas por el proceso, como lo son:

A) Disponibilidad de nitratos: A mayor contenido de nitratos (NO_3^-) en el suelo, la magnitud de la pérdida aumenta. Suelos de mayor fertilidad o fertilizados previamente a la existencia de condiciones que promueven el proceso.

B) Contenido de humedad del suelo: Factor muy importante debido a que regula las condiciones de oxido-reducción en el suelo.

C) Contenido de materia orgánica (M.O.): Relacionado directamente a la población bacteriana del suelo y proveedor de energía (compuestos de carbono) para su supervivencia. Una vez debido a la lixiviación, los nitratos se desplazan a capas más profundas del suelo, con menor contenido de M.O. en donde el proceso se hace más lento por la ausencia de bacterias y fuentes de energía para éstas.

D) Temperatura: Todo proceso biológico es afectado por la temperatura. Por ende, es de esperar mayor pérdida en primavera-verano que en otoño invierno, debido a mejores condiciones de temperatura del suelo para el desarrollo microbiano.

E) Textura del suelo: Suelo arcillososuelen presentar mayor pérdida por desnitrificación que suelo arenoso. Esto, debido a que el suelo arcillosoes más propenso a producir condiciones de anaerobiosis que el suelo arenoso.

F) pH: Una reacción del suelo neutra o ligeramente alcalina, promueve la desnitrificación por el efecto sobre la actividadbiológica bacteriana del suelo (INTA, 2016).

2.10. EFICIENCIA EN EL USO DEL NITRÓGENO (EUN)

Una de las definiciones establece que la EUN es la proporción de rendimiento del grano por unidad de nitrógeno disponible en el suelo, incluido el nitrógeno del residual ($N-NO_3^- + N-NH_4^+$) presente y fertilizante o abono nitrogenado aplicado. Es decir, no todo el nitrógeno absorbido por la planta proviene del abono nitrogenado aplicado.

La EUN es una función de la estructura edáfica, condiciones climáticas, interacciones entre el suelo, procesos bacterianos y naturaleza de las fuentes de nitrógeno orgánicas e inorgánicas, lo cual no está incluido en la siguiente fórmula.

La forma más sencilla de calcular la EUN es con base en un balance parcial de nitrógeno:

EUN = Nabsorbido por el cultivo / N aplicado

Existen varios procesos como la pérdida de nitrógeno que no están incluidos en la fórmula para la EUN. La pérdida más importante en los sistemas de agricultura son la lixiviación de nitratos y volatilización (Verhulst *et al.*, 2015).

La EUN no deberá confundirse con un manejo efectivo de nutrientes. Regularmente se pueden conseguir eficiencia más alta, al reducir la dosis y sacrificar el rendimiento, sin embargo, no es el fin de la agricultura intensiva, ni es económicamente sostenible.

La EUN, el retorno económico y protección ambiental son componentes que definen la sustentabilidad actual y del futuro. Las prácticas adecuadas de manejo de la nutrición como: aplicar nutrientes en dosis, época y localización correcta ayudarán a lograr óptima eficiencia en el EUN (Stewart, 2007).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA COMARCA LAGUNERA

La región conocida como Comarca Lagunera se localiza en la parte centro-norte de México. Comprende 10 municipios del estado de Durango y cinco de Coahuila. En la Figura 8 se muestra sus colindancias, las cuales incluyen varios municipios de los estados de Coahuila, Durango y Zacatecas.



Figura 8. Localización de la Comarca Lagunera y municipios del Estado de Coahuila y Durango que la conforman. Fuente: www.inegi.gob.mx

3.2. TIPO DE SUELO

La Comarca Lagunera cuenta con una gama de tipos de suelos, principalmente suelo joven con poco desarrollo típico de climas áridos, donde se lleva a cabo solo agricultura de riego, fundamentalmente para la producción de cultivos forrajeros que abastecen al gran hato ganadero regional. De acuerdo con Cervantes *et al.*, (2002) existen los siguientes órdenes de suelos; xerosoles, litosoles y vertisoles. De acuerdo a estos estudios, los suelos encontrados en varios sitios muestreados son xerosoles cálcicos en Lerdo y Mapimí y vertisoles en Lerdo y Gómez Palacio.

En general, son suelos calcáreos, de origen sedimentario, con endurecimiento en la capa superficial, debido al régimen climático que favorece la eluvación de las sales, las cuales se manifiestan mediante encostramientos en la superficie de los suelos afectados. (Cervantes et a., 2002).

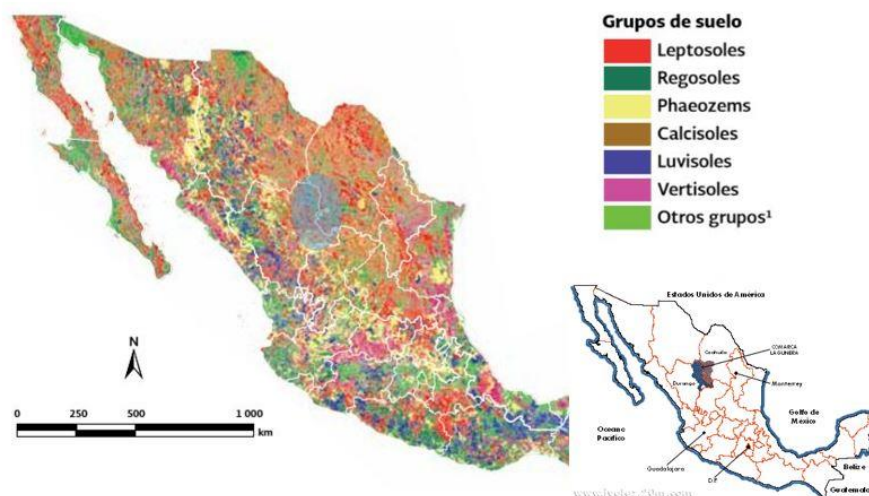


Figura 9. Principales grupos de suelos en México (2007). Fuente: INEGI. Conjunto de Datos Vectorial Edafológico, Escala 1: 250 000, Serie II (Continuo Nacional). México. 2007

Previo al establecimiento del cultivo en el sitio experimental, se realizó un muestreo de caracterización del suelo en cada una de las parcelas en tres diferentes puntos y a tres diferentes profundidades (0-30, 30-60 y 60-90 cm) se obtuvo una muestra compuesta, la cual se analizó en el laboratorio de suelos del INIFAP-CELALA. Después de la cosecha se realizó otro muestreo de suelo en cada parcela con la finalidad de determinar las concentraciones de N-NO_3^- y N-NH_4^+ residual.



Figura 10. Aspectos de la toma de muestras de suelo antes de la siembra y después de la cosecha.

Los resultados de los análisis de laboratorio (Cuadro 1) mostraron que se trata de un suelo franco arcilloso en su capa superficial, pero con clara tendencia hacia suelo arenoso (47%). El suelo es alcalino (pH, 8.4) y se clasifica como suelo no salino, ($0.48 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$), bajo contenido de materia orgánica (1.2%) y bajo en nitrógeno y fósforo disponibles, 22 y 13 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, respectivamente.

Cuadro 1. Propiedades físicas y químicas del suelo en el sitio experimental a 30 cm de profundidad.

Propiedad	Unidades	Valor
Arena	%	46.9
Limo	%	21.8
Arcilla	%	31.3
Clase textural	--	Franco arcilloso
pH		8.36
Conductividad eléctrica	$\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$	0.48
Materia orgánica	%	1.2
Nitrógeno nítrico	$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de suelo de $\text{N}\cdot\text{NO}_3$	9.4
Nitrógeno amoniacal	$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de suelo de $\text{N}\cdot\text{NH}_4$	12.7
Fósforo disponible	$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de suelo de P	12.9

3.3. CLIMA

El clima de la Comarca Lagunera se clasifica como desértico (estepario cálido). El régimen de lluvias es de verano con inviernos fríos (Figura 11). La temperatura media anual regional es 22.1 °C, con media máxima de 38.5 °C y media mínima anual de 16.1 °C. La precipitación pluvial media anual es 227.7 mm anuales y evapotranspiración anual de 2 396 mm. Las heladas se presentan de noviembre a marzo y las granizadas de mayo a junio (Cuadro 2).

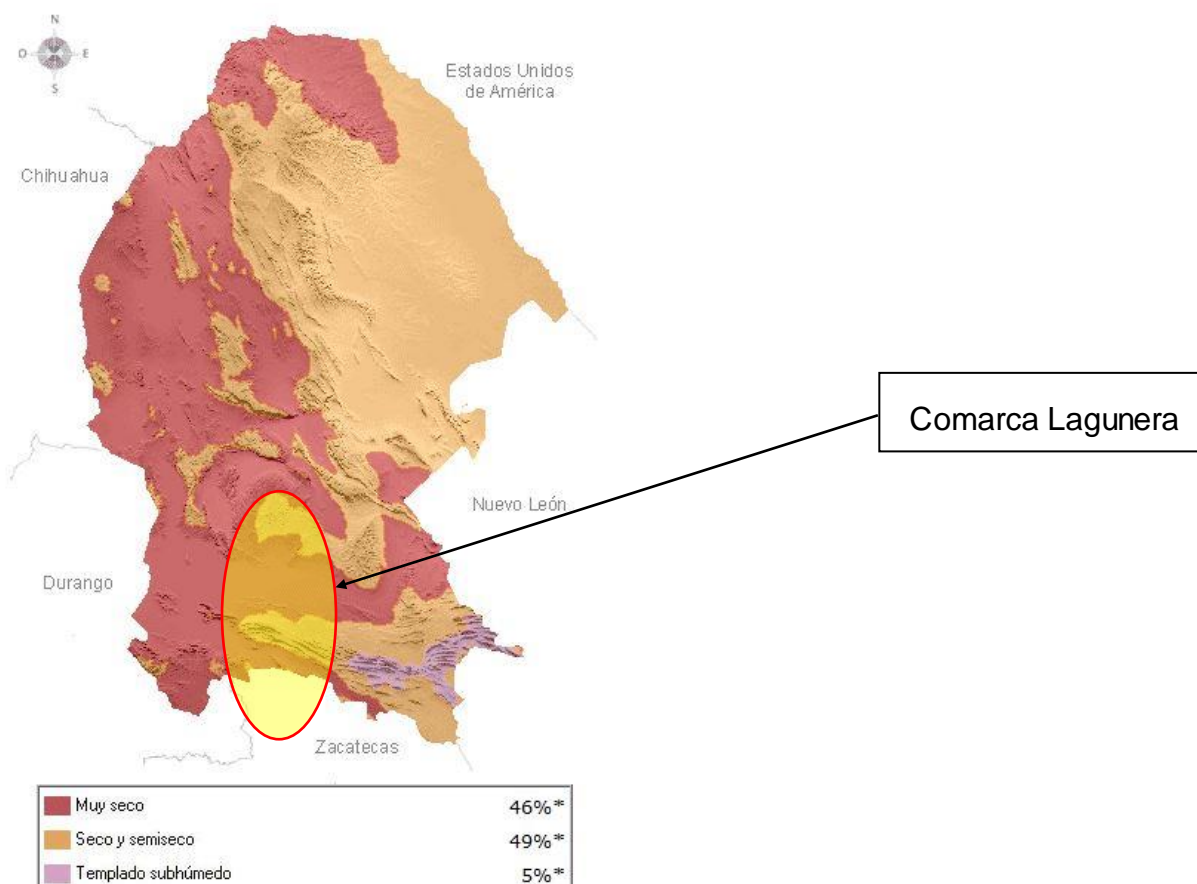


Figura 11. Carta de climas del INEGI donde se puede observar que la localización de la Comarca Lagunera es un área catalogada de clima muy seco.

Cuadro 2. Precipitación, temperatura máxima, mínima y temperatura media anual de 2007 a 2017.

Año	Precipitación (mm)	Temperatura Media Máxima (°C)	Temperatura Media Mínima (°C)	Temp. Media Anual (°C)
2007	196.6	29.54	13.44	21.62
2008	243	29.64	13.28	21.63
2009	162.2	29.88	14.28	22.22
2010	288.6	29.17	12.77	21.03
2011	10.2	30.75	13.66	22.54
2012	132.6	30.25	14.43	22.52
2013	252.8	29.25	13.93	21.75
2014	209	29.49	13.97	21.77
2015	248	28.04	15.23	21.75
2016	308.6	29.81	14.19	22.06
2017	189.6	30.6	14.37	22.64

FUENTE: Red de estaciones climatológicas INIFAP-Campo Experimental La Laguna. Matamoros, Coahuila. 2017. <http://clima.inifap.gob.mx/redinifap/est.aspx?est=26473>.

3.3.1 HUMEDAD RELATIVA

La humedad relativa en la región es variable a través del año. En primavera es del 31% y 47.3% en verano, 58.3% en otoño en invierno 40.3% (CONAGUA, 2016).

3.3.2 HIDROLOGÍA

La Comarca Lagunera está ubicada dentro de la Región Hidrológica 36 y se localiza en la mesa del norte de la República Mexicana y abarca parte de los estados de Durango, Zacatecas y Coahuila.

Aproximadamente el 50% del agua para riego en la región proviene del río Nazas, el cual inicia en el Estado de Durango y termina en La Laguna de Mayran en el Estado de Coahuila. Su recorrido total es de 350 km y sus principales afluentes son el río San Juan, río del Peñón, río de Cuencamé, arroyos de Naitcha y el río Sixtin.

Actualmente las aguas del río Nazas son reguladas por la Presa Lázaro Cárdenas “El Palmito”, la cual es de captación y se encuentra ubicada en los municipios Duranguenses de Indé y El Oro, contando con una capacidad de 2 873 millones de metros cúbicos (Mm^3) y la presa reguladora, Francisco Zarco “Las Tórtolas” ubicada en el municipio de Lerdo, Durango, la cual cuenta con una capacidad de 355 Mm^3 . Esta agua es regulada por la Comisión Nacional del Agua mediante el Distrito de riego 017 y sus módulos de riego (Cuadro 3).

Adicionalmente, en la Comarca Lagunera existen 2 217 pozos agrícolas que extraen 1 100 Mm^3 , siendo la recarga estimada de solo 520 Mm^3 , lo cual explica en parte el constante abatimiento que sufren la mayoría de dichos pozos (Diagnóstico Agropecuario de la Región Lagunera, 2016).

Cuadro 3. Presas de almacenamiento y regulación del agua en el Distrito de Riego 017.

Nombre de la Presa	Capacidad con niveles de administración modal ordinaria (hm ³)	Capacidad con niveles de administración modal extraordinaria (hm ³)	Corriente que suministra
Lázaro Cárdenas	4 438	2 873	Rio Sixtin y Rio Ramos
Francisco Zarco	436	365	Rio Nazas

Fuente: Cervantes *et al.* (2002). Sistema de información básica del agua CT 2000

3.4. LOCALIZACIÓN DEL SITIO EXPERIMENTAL

El trabajo de investigación se llevó a cabo durante el ciclo de primavera - verano de 2016 en el lote 13, del Campo Experimental La Laguna perteneciente al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP-CELALA) ubicado en el Municipio de Matamoros, Coahuila. El sitio experimental se encuentra ubicado geográficamente en los 25°31'55" de latitud Norte y 103°14'29" de longitud oeste, a una altura de 1118 msnm.



Figura 12. Localización del sitio experimental dentro de las instalaciones del Campo Experimental La Laguna en Matamoros, Coahuila.

3.5. TRATAMIENTOS

Los tratamientos consistieron en tres programas de fertilización comercial que contienen varias fuentes nitrogenadas tratados con el inhibidor de nitrificación DMPP (3,4 Dimetil, Pirazol Fosfato), tratamiento a semilla y una o dos aplicaciones de fertilizantes foliares (30 y/o 45 DDS); un testigo regional (246.5

-78- 00) suplementado a base de urea (46% N) y ácido fosfórico (52% P_2O_5); un tratamiento en el que la dosis de fertilización nitrogenada se estimó en base a análisis de suelo y rendimiento esperado; y un testigo absoluto (sin ningún tipo de fertilización). (Cuadro 4).



Figura 13. Diferentes tratamientos en el sitio experimental.

Cuadro 4. Tratamientos evaluados, aporte nutrimental y productos utilizados.

Trat.	Nombre del Tratamiento	Producto Comercial	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
1	Testigo absoluto	Sin Fertilizar	0	0	0	0	0
2	Testigo regional	MAP, urea	246.5	78	0	0	0
3 ^{1,2,3}	N-Max [®] (65.7%)	Novatec N-Max [®] , Novatec Solub 45 [®]	162	15	15	0	6
4 ^{1,2,3}	N-Max [®] (58%)	Novatec N-Max [®] , Novatec Solub 45 [®] , Novatec Solub 11- 05-30+ME [®]	143.5	12.5	25	0	4
5 ^{1,2,3}	Novatec [®] +Fert. Tradicional (N)	Novatec Solub45 [®] , urea y MAP	244	78	0	0	0
6 ^{1,2,4}	Trat. Basado en análisis de suelo	Blaukorn Classic [®] , Hydrospeed CaB Max [®] , Novatec Solub 45 [®] , Sulfato de Mg, Novatec Premium [®]	136.05	12.4	30.4	16.9	10.28

¹Fertilizante con inhibidor DMPP, ²Semilla tratada con 250 ml de Basfoliar Kelp + 250 ml de Basfoliar Zinc 75 FLO por cada 20 kg de semilla, ³Una aplicación foliar de COMPO Pack[®] a los 30 DDS, ⁴Dos aplicaciones foliares de COMPO Pack[®] a los 30 y 45 DDS.

Los productos utilizados para la formulación de cada tratamiento se presentan en el Cuadro 3. La fertilización nitrogenada se aplicó en dos partes; 50% al momento de la siembra y el 50% antes del primer riego de auxilio (43 DDS).

Cuadro 5. Nombre comercial y aporte nutrimental de cada producto incluido en la formulación de los diferentes programas de fertilización.

	N		P	K	Ca	Mg	S	Zn	B	Fe
Producto	N-NH ₄	N-NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	S	Zn	B	Fe
Novatec N-Max	13	11	5	5	0	2	5	0.01	0.02	0.06
Novatec Solub 45	45	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Novatec Solub 11-05-30 más ME	11		05	30	0	0	8	0.01	0.02	0.06
Blaukorn Classic	7	5	8	16	0	3	10	0.01	0.02	0.06
Hydrospeed CaB- Max	0.8	14.3	0	0	26.6	0	0	0	0.20	0
Novatec Premium	8	7	3	20	0	2	10	0.01	0.02	0.06
Urea (N-NH ₂)	46		0	0	0	0	0	0	0	0
MAP	11		52	0	0	0	0	0	0	0
Sulfato de magnesio	0		0	0	0	20.2	26.6	0	0	0

El nitrógeno contenido en los productos Novatec®, a excepción de Blaukorn Classic® y Hydrospeed CaB-Max® está estabilizado con el inhibidor DMPP.

Croquis de Campo, Inhibidores de la nitrificación. COMPO
INIFAP – CELALA: Lote 13.
Fecha: Primavera – verano, 2016.

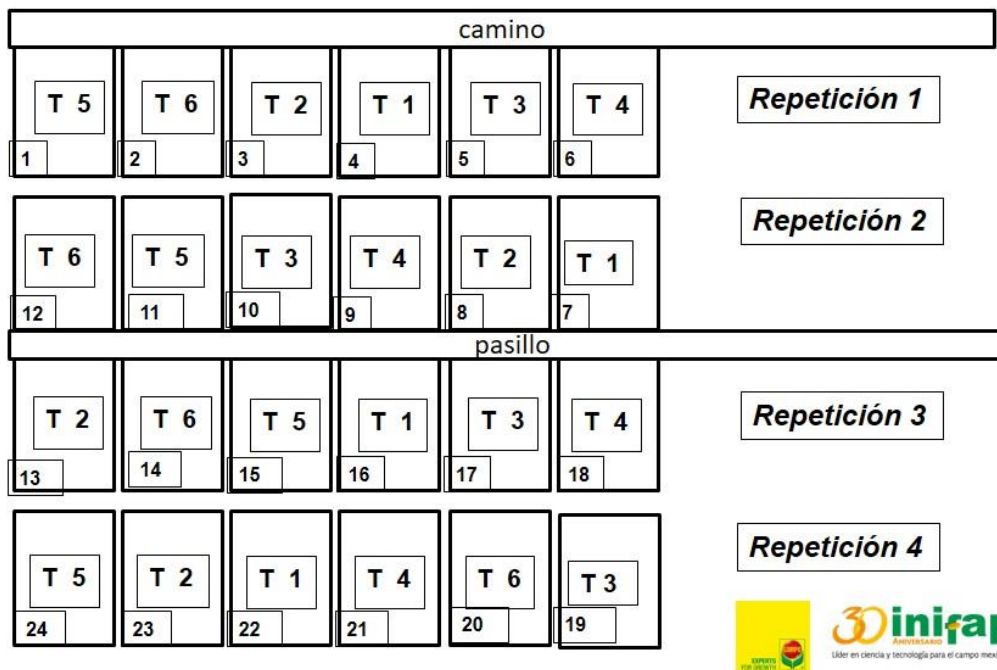


Figura 14. Croquis de campo del sitio experimental.

3.6. HIBRIDO UTILIZADO

El material utilizado fue el híbrido “Invicto” SB 302, el cual es una semilla desarrollada para el centro del país. Es de doble propósito (grano y silo), forma de mazorca cilíndrica de tamaño grande, grano sedimentado, ciclo vegetativo intermedio, de 75 días a floración, 145 días a madurez fisiológica y 160 días a cosecha, tolerante al acame y rango de adaptabilidad a la altitud de 800 a 1850 msnm.

3.6.1. TRATAMIENTO A LA SEMILLA

La semilla utilizada en todos los tratamientos fue tratada con un insecticida adherido a la semilla (350 g L^{-1} de Tiametoxam 600) a una dosis de 500 cm^3 por cada 100 kg de semilla.

Los tratamientos 3, 4,5 y 6 incluyeron un tratamiento adicional a la semilla, consistente en 250 mL de Basfoliar Kelp® + 250 mL de Basfoliar Zinc® 75 Flo por cada bulto de 20 kg de semilla (60 000 semillas aproximadamente). Previo a la aplicación, los productos se mezclaron hasta tener una mezcla homogénea con la que se trató la semilla: El tratamiento se llevó a cabo un día antes de la siembra de manera que la semilla quedara oreada y seca antes de la siembra.



Figura 15. Tratamiento a la semilla un día antes de la siembra.

Los productos utilizados para tratar la semilla de los tratamientos 3, 4, 5 y 6 se describen en los Cuadro 6 y 7.

Cuadro 6. Análisis garantizado y concentración de Basfoliar Kelp®

Análisis Garantizado	Concentración	
Auxinas	(11 mg/L)	0.00011%
Citoquininas	(0.031 mg/L)	0.0000031%
Aminoácidos	(944 mg/L)	0.0944%

Fuente: Compo Experts México (2018). <https://www.compo-expert.com/mx/home/productos/fertilizantes-foliares/basfoliar-kelp.html>

Cuadro 7. Análisis garantizado y concentración Basfoliar Zinc® 75 Flo

Análisis Garantizado	Concentración
Zinc (Zn)	750 g/L (75% Zn p/v)

Fuente: Compo Experts México (2018).

<https://www.compo-expert.com/mx/home/productos/fertilizantes-foliares/basfoliar-zn-75-flo.html>

3.7. DISEÑO EXPERIMENTAL

Los tratamientos fueron distribuidos de manera aleatoria en el Lote 13 del Campo Experimental La Laguna (INIFAP-CELALA) de acuerdo a un diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones por tratamiento, generando un total de

24 parcelas experimentales. En los casos en que se encontró diferencia estadísticamente significativa entre tratamientos, la comparación de medias se realizó mediante una prueba LSD con un nivel de 5% de probabilidad ($p < 0.05$).

3.8. VARIABLES EVALUADAS

Las variables de respuesta fueron: rendimiento de forraje verde ($FV \cdot ha^{-1}$), rendimiento de forraje seco ($FS \cdot ha^{-1}$), rendimiento de grano a madurez fisiológica y las concentración de nitrógeno nítrico ($N-NO_3^-$), amoniacal ($N-NH_4^+$) y N total inorgánico en el suelo ($N-NO_3^- + N-NH_4^+$).

Adicional a lo anterior, se tomaron alturas de plantas a través del ciclo de cultivo, muestras para análisis foliares en la etapa de floración femenina, de suelo durante el ciclo del cultivo, peso y número de mazorcas. Tanto las muestras de suelo como las foliares se enviaron a el laboratorio AgroLab® para su posterior análisis.



Figura 16. Algunas de las actividades adicionales: De izquierda a derecha y de arriba-abajo: Lecturas de GreenSeeker®, altura y diámetro de plantas, peso, número y diámetro de mazorcas y muestreo foliar a los 60 DDS previo a la etapa de floración.

3.9 PRACTICAS CULTURALES

3.9.1. PREPARACIÓN DEL TERRENO

El terreno se barbechó con arado vertical el 7 de abril y se dio una rastra cruzada y empareje el 8 de abril. El surcado del terreno se realizó el 11 de abril y el bordeado para aplicar el riego de pre siembra se llevó a cabo el 14 de abril.

El aniego o riego de pre siembra consistió de la aplicación de una lámina de riego de 24.5 cm el 27 de abril. El 6 de mayo se pasó una cultivadora para romper la costra del suelo en preparación para la siembra



Figura 17. Diferentes aspectos de la preparación del terreno y sistema de riego.

3.9.2 SIEMBRA Y FERTILIZACIÓN

La siembra se llevó a cabo el 9 de mayo con sembradora de precisión en surcos con 76 cm de separación y distancia entre semillas de 12.5 cm (8

plantas por metro lineal), lo cual resultó en una densidad de 105 000 semillas·ha⁻¹.

La primera aplicación de los tratamientos de fertilización granular se aplicó al momento de la siembra.

Los tratamientos con fertilización química convencional recibieron el nitrógeno correspondiente en forma de urea (46% N) y 90 kg/ha de P₂O₅ utilizando ácido fosfórico (52% de P₂O₅) como fuente de P. La segunda y tercera aplicaciones de fertilizantes se aplicaron, el 10 y el 23 de junio, respectivamente.

En el testigo regional se aplicaron 138 y 92 kg de N·ha⁻¹ en la primera y segunda aplicación, en el tratamiento 3, 72 y 90 kg de N·ha⁻¹, tratamiento 4, 48 y 95 kg de N·ha⁻¹, tratamiento 5, 153 y 91 kg de N·ha⁻¹ y en el tratamiento 6, 53 y 123.3 kg de N·ha⁻¹



Figura 18. Diferentes aspectos de la siembra.



Figura 19. Preparación y aplicación de los diferentes tratamientos.

3.9.3. TRATAMIENTOS FOLIARES

El “COMPO Pack Foliar” consta de tres productos: Basfoliar PS[®], Basfoliar Algae[®] y Fertiquel Combi[®]. El aporte nutricional y concentración de cada producto se muestran a continuación (Cuadros 8, 9 y 10).

Cuadro 8. Composición, forma química y concentración en BASFOLIAR PS®.

Elemento	Forma química	Concentración (%)
Nitrógeno (N)	N	25.1
Fósforo (P)	P ₂ O ₅	10.2
Potasio (K)	K ₂ O	17.1
Magnesio (Mg)	MgO	0.6
Boro (B)	B	0.01
Molibdeno (Mo)	Mo	0.001
Cobre (Cu)	Cu	0.019
Hierro (Fe)	Fe	0.05
Azufre (S)	SO ₃	3.7
Zinc (Zn)	Zn	0.019
Manganeso (Mn)	Mn	0.05

Fuente: Compo Experts, México. www.compo-experts.com.mx

Cuadro 9. Composición química BASFOLIAR ALGAE ®

Minerales	Concentración (%)	Carbohidratos
Nitrógeno (N)	6.0	Glucosa
Fósforo (P ₂ O ₅)	3.0	Manosa
Potasio (K ₂ O)	5.0	Fructosa
Magnesio (Mg)	0.3	Xilosa
Fe, Cu, Zn	Trazas	Galactosa
Aminoácidos	Concentración (g/L)	Fitohormonas
Alanina	0.76	Auxinas
Glicina	1.31	Citoquinas
Valina	0.51	Vitaminas
Treonina	0.29	A
Serina	0.35	B1
Leucina	0.73	B2
Isoleucina	0.34	C
Prolina	0.69	Carotenos
Cisteína	0.06	Ácido Pantoténico
Hidroxíprolina	0.54	Biotina
Metionina	0.23	Ácido Fólico
Ácido Aspártico	0.69	Ácido Nicotínico
Fenilalanina	0.45	Azúcares
Ácido Glutámico	0.93	Alcoholes
Lisina	0.57	Carbohidratos
Tirosina	0.30	Bases orgánicas
Arginina	0.38	
Histidina	0.09	

Fuente: Compo Experts, México. www.compo-experts.com.mx

Cuadro 10. Composición química y concentración de Fertiquel Combi®

Composición Química	Concentración
Magnesio (MgO)	2%
Azufre (S)	2.6%
Hierro (Fe) ¹	4%
Zinc (Zn) ¹	4%
Manganeso ((Mn) ¹	3%
Boro (B)	1.5%
Cobre (Cu) ¹	0.5%
Molibdeno (Mn)	0.05%
Cobalto (Co)	0.005%

¹Quelatzados con EDTA. Fuente: www.compo-experts.com.mx/productos/fertiquel-combi/frente

3.10 RIEGO

Se aplicó un riego de pre siembra más seis riegos de auxilio con láminas promedio de 15 cm, de acuerdo con el calendario descrito en el Cuadro 11. Esto debido a la textura arenosa del terreno, la cual posee una baja capacidad de retención de humedad, pero también con el criterio de que el agua no fuera a limitar la expresión de los tratamientos de fertilización.

Cuadro 11. Calendario de riegos, fecha de aplicación y días entre regos.

Riego	Fecha	Días entre riegos
Pre siembra	27 de abril	12 días antes de la siembra
Primer auxilio	19 de mayo	10 días después de la siembra
Segundo auxilio	10 de junio	30 días después del riego anterior
Tercer auxilio	24 de junio	15 días después del riego anterior
Cuarto auxilio	8 de julio	14 días después del riego anterior
Quinto auxilio	22 de julio	14 días después del riego anterior
Sexto auxilio	8 de agosto	16 días después del riego anterior

Fuente: Compo Experts, México. www.compo-experts.com.mx



Figura 20. Colocación de la tubería para la conducción de agua y riego por multicompuertas, riego de pre siembra, primer y segundo auxilio (orden del reloj).

3.10. CONTROL DE MALEZA

Se realizó un cultivo mecánico a los 22 días después de la siembra (31 de mayo).

3.11. CONTROL DE PLAGAS

Con la finalidad de mantener sano el cultivo con respecto a las plagas, se realizó un constante monitoreo de las mismas y la aplicación del combate químico

cuando se requirió. En el ciclo de cultivo se detectó la presencia permanente de dos plagas características de la región: el gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*), araña roja (*Tetranychus urticae*), y en un cierto período, diabrotica (*Diabrotica undecimpunctata*).



Figura 21. Principales plagas que se presentaron en el cultivo. De derecha-izquierda y de arriba-abajo: Gusano Cogollero (*Spodoptera frugiperda*), Araña Roja (*Tetranychus urticae*), y Diabrotica (*Diabrotica undecimpunctata*).

Se realizó un estricto combate de plagas (Cuadro 12) con la finalidad de inducir la máxima expresión de los diferentes tratamientos de fertilización.

Cuadro 12: Combate de plagas realizado durante el ciclo del experimento.

Plaga	Fecha	Ingrediente activo/dosis
Gusano cogollero	25 de mayo	Clorpirifós (0.5 l·ha ⁻¹)
Gusano cogollero	30 de mayo	Clorpirifós(0.5 l·ha ⁻¹)
Gusano cogollero	2 de junio	Carbofuran (1.5 l·ha ⁻¹)
Gusano cogollero	15 de junio	Cipermetrina (0.25 l·ha ⁻¹) y Carbofuran (0.5 l·ha ⁻¹)
Gusano cogollero	18 de junio	Clorpirifós granulado(15 kg·ha ⁻¹)
Araña roja	29 de junio	Abamectina (0.5 l·ha ⁻¹)
Araña roja	11 de julio	Abamectina (0.5 l·ha ⁻¹)
Araña roja y diabrotica	19 de julio	Abamectina y Cipermetrina (0.5 l·ha ⁻¹)
Araña roja	26 de julio	Ometoato (0.6 l·ha ⁻¹)
Araña roja	3 de agosto	Ometoato (0.6 l·ha ⁻¹)

3.12. MUESTREO FOLIAR

Se realizó un muestreo foliar en la etapa de floración (emisión de estigmas), tomando la hoja opuesta a la mazorca, en 20 plantas de cada parcela. Las muestras se secaron en estufa de aire forzado, a una temperatura de 65° C, hasta alcanzar peso constante. El nitrógeno se analizó por el método Kjeldahl. El fósforo se analizó por el método de molibdato-vanadato en espectrofotómetro de rango visible. K, Mg, Fe, Cu, Mn y Zn se analizaron por absorción atómica.

3.13. MUESTREO Y ANÁLISIS DE SUELOS

Antes de iniciar el experimento, después de cada riego y después de la cosecha se tomaron muestras de suelo a tres profundidades (0-30, 30-60 y 60-90 cm) en cada parcela experimental. Las muestras se obtuvieron con una barrena de caja, se secaron al ambiente, se molieron manualmente y se tamizaron hasta pasar por un tamiz de 2 mm de abertura. A las muestras iniciales y finales se les determinó la concentración de nitrógeno nítrico, amoniacal y total inorgánico en extracto obtenido a partir de KCl 1M y destilado por arrastre de vapor con MgO y aleación de Devarda.

3.14.COSECHA

El ciclo del cultivo comprendió desde la siembra (9 de mayo) hasta la cosecha para forraje, la cual se realizó el 29 de agosto de 2016 (112 días después de la siembra), cuando se encontraba en el estado fenológico conocido como “1/3 de la línea de leche del grano” y su contenido de materia seca era de aproximadamente un 33%.

Se cosecharon los dos surcos centrales de cada parcela dejando un metro lineal de surco en cada lado de las parcelas para eliminar “el efecto de orilla”. La parcela útil consistió de 2 surcos X 0.76 m X 8 m = 12.16 m².

Se contaron las plantas cosechadas totales, contabilizando por separado las normales y las horras. De las plantas cosechadas se separaron cinco plantas completas al azar las cuales se pesaron en fresco y se secaron en horno de convección forzada a 65 °C hasta peso constante. Con la información del peso fresco y seco se calculó el porcentaje de materia seca. De la misma muestra de cinco plantas, se estimó el rendimiento de grano en el forraje cosechado de cada tratamiento.



Figura 22. Cosecha de forraje en verde (MFV) y grano a madurez fisiológica.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Densidad de población.

La emergencia del maíz se inició a los siete días después de la siembra. A excepción del tratamiento 1, en el que se tuvo una población de 98,000 plantas por hectárea a la cosecha, en el resto de los tratamientos, la población varió entre 82,000 y 88,000 plantas por hectárea. De acuerdo con estudios realizados en el Campo Experimental La Laguna, estas se consideran densidades de población adecuada y “suficiente” para obtener un buen rendimiento y calidad

de maíz forrajero (Cueto *et al.*, 2006). Se ha observado que las densidades de población de alrededor de 80,000 plantas por hectárea, tienden a desarrollar un mayor diámetro de planta, mayor tamaño de mazorca, rendimiento de grano por planta y por unidad de superficie.

4.1 RENDIMIENTO DE FORRAJE VERDE

El análisis estadístico mostró diferencia altamente significativa entre los tratamientos ($p=0.0021$). Los rendimientos fluctuaron entre 33.5 y 60.75 t/ha (Cuadro 6). El mejor tratamiento en forraje verde resultó el tratamiento seis, el cual está basado en análisis de suelo (55.19%), siendo estadísticamente similar al tratamiento dos (Novatec + Fertilización tradicional) y al tratamiento uno (testigo regional). Sin embargo, el tratamiento seis suelo superó con 2.8 y 10.6 kg de N·ha⁻¹ a los tratamiento cinco y dos, respectivamente.

Todos los tratamientos que recibieron algún tipo y cantidad de fertilizante superaron al testigo absoluto (T1). Sin embargo, la máxima diferencia la obtuvo el tratamiento basado en análisis de suelo, superando al testigo sin fertilizante con 27.3 t·ha⁻¹ de forraje verde.

Todos los tratamientos con fertilizantes con inhibidor de la nitrificación DMPP (3,4 Dimetil Pirazol Fosfato) superaron también al testigo regional fertilizado con las dosis convencionales de nitrógeno y fósforo. El tratamiento basado en análisis de suelo superó con 12.8 t·ha⁻¹ de forraje verde al testigo tradicional.

Cuadro 13: Rendimiento de forraje verde del maíz en respuesta a diferentes programas de fertilización que contienen inhibidor de la nitrificación DMPP.

Tratamiento	Rendimiento promedio t·ha⁻¹
Basado en análisis de suelos (55.19%)	60.8 a
Novatec + Fertilización Tradicional	58.0 ab
Testigo Regional	50.2 ab
Novatec Max (58%)	48.7 b
Novatec Max (65.7%)	48.0 b
Blanco (Sin Fertilizar)	33.5 c

Medias con letras distintas son estadísticamente diferentes (LSD $P \leq 0.0021$)

4.2 RENDIMIENTO DE FORRAJE SECO

El rendimiento de forraje seco se obtuvo multiplicando el rendimiento de forraje verde por el porcentaje de humedad ajustado al 35%, por lo que guarda una estrecha relación con el rendimiento de forraje verde. En el Cuadro 14 se presentan los rendimientos promedio, en los cuales se reportó diferencias altamente significativas entre tratamientos ($p=0.0021$).

Cuadro 14: Rendimiento de forraje seco del maíz en respuesta a diferentes programas de fertilización que contienen inhibidor de la nitrificación DMPP.

Tratamiento	Rendimiento promedio t·ha⁻¹
Basado en análisis de suelos (55.19%)	20.1 a
Novatec + Fertilización Tradicional	19.1 ab
Testigo Regional	16.6 ab
Novatec Max (58%)	16.1 b
Novatec Max (65.7%)	15.8 b
Blanco (Sin Fertilizar)	11.1 c

Medias con letras distintas son estadísticamente diferentes (LSD $P \leq 0.0021$)

Puede observarse nuevamente que el tratamiento basado en análisis de suelo y el tratamiento Novatec mas fertilización tradicional fueron los más sobresalientes al igual que en el caso del rendimiento de forraje verde, el testigo absoluto (sin fertilizar) fue superado con 8 y 9 t·ha⁻¹ de forraje seco por los tratamientos cinco y seis, respectivamente. Sin embargo, en este caso el rendimiento obtenido en el tratamiento dos (fertilización convencional-tradicional) resultó estadísticamente igual a los obtenidos por los tratamientos cinco y seis. No obstante lo anterior, los tratamientos cinco y seis superaron al tratamiento dos, con 2.5 y 3.5 t·ha⁻¹ de forraje seco, respectivamente.

4.3 RENDIMIENTO DE GRANO

El análisis estadístico indicó diferencias significativas para la variable rendimiento de grano en plantas de maíz cosechadas para forraje. El

rendimiento de grano fluctuó de 3.4 t·ha⁻¹ para el tratamiento uno hasta 7.1 t·ha⁻¹ para el tratamiento 6, el cual resultó ser el mejor, si bien fue estadísticamente igual al tratamiento 5 (Cuadro 8). Los tratamientos 4 y 2 con 5.5 y 5.32 t/ha de grano, resultaron estadísticamente iguales entre sí y a los tratamientos 6 y 5. Sin embargo, los tratamientos 5 y 6 superaron en promedio con 1.6 ton/ha de grano al promedio de los tratamientos 4 y 2. Al igual que lo ocurrido con el rendimiento de forraje verde y seco, el testigo absoluto resultó con el más bajo rendimiento de grano (3.4 t/ha)

Cuadro 15. Rendimiento de grano de maíz forrajero a madurez fisiológica en t ·ha⁻¹.

Tratamiento	Rendimiento promedio
	t·ha ⁻¹
Basado en análisis de suelos (55.19%)	7.1 a
Novatec + Fertilización Tradicional	6.9 a
Testigo Regional	5.5 ab
Novatec Max (58%)	5.3 ab
Novatec Max (65.7%)	4.6 b
Blanco (Sin Fertilizar)	3.4 b

Medias con letras distintas son estadísticamente diferentes (LSD P ≤ 0.0021)

Estos resultados concuerdan con los encontrados por Cueto *et al.*(1998), quienes encontraron en los mayores rendimientos de materia seca se obtuvieron en las dosis de 250 y 375 kg N ha⁻¹, y la mayor dosis de nitrógeno superó significativamente a 125 kg N ha⁻¹. En 1999, la dosis de nitrógeno de 375 kg ha⁻¹ superó en rendimiento de materia seca a las dosis de 125 y 250 kg N ha⁻¹, y entre éstas no hubo diferencia significativa.

Sin embargo el tratamiento que resulto con los mejores rendimientos en forraje seco y grano en este experimento fue el tratamiento seis (136 Kg de N·ha⁻¹) lo cual se traduce en más de 100 kg de N·ha⁻¹ que se dejaron de aplicar, evitando de esta manera la contaminación de agua, suelo y un aumento significativo en la utilidad de los productores que pudiesen utilizar fertilizantes con inhibidores de la nitrificación IN-DMPP incluidos en su formulación.

4.5. ANÁLISIS FOLIAR

En general, todos los tratamientos que recibieron fertilización tuvieron concentraciones de nutrimentos superiores a los del testigo sin fertilizante; además, no se observaron diferencias entre los tratamientos con DMPP y el tratamiento 2 con urea y MAP (Cuadro 10). En el caso de los tratamientos con DMPP, todos recibieron el “Compo Pack Foliar”, lo que explica la mayor concentración de K, Mg y elementos menores. En el caso del tratamiento 2, las mayores concentraciones de elementos menores pueden deberse que los fertilizantes fosforados contienen cantidades significativas de éstos y otros elementos traza (Molina et al., 2009)

Cuadro 16. Concentración de nutrimentos en muestras foliares de maíz forrajero tomadas en la etapa de floración femenina.

Tratamiento	N	P	K	Mg	Fe	Cu	Mn	Zn
	----- (%) -----			(Mg·kg / ppm)				
2	2.33 a	0.26 ab	2.17 ns	0.233 a	229 ns	6.71 ab	43.6 ns	37.2 a
3	2.24 a	0.27 ab	2.33 ns	0.228 ab	219 ns	5.82 ab	38.5 ns	39.9 a
4	2.11 a	0.28 a	2.18 ns	0.220 ab	213 ns	5.27 b	42.4 ns	38.3 a
5	2.25 a	0.26 ab	2.25 ns	0.240 a	212 ns	6.99 a	39.9 ns	38.3 a
6	2.17 a	0.26 ab	2.15 ns	0.230 a	212 ns	6.27 ab	37.2 ns	37.7 a
1	1.55 b	0.22 b	2.02 ns	0.183 b	204 ns	3.55 c	29.2 ns	26.6 b

Medias con letras distintas son estadísticamente diferentes (LSD $P \leq 0.0021$)

4.6. CONCENTRACIÓN DE NITRÓGENO INORGÁNICO EN EL SUELO

En el Cuadro 17 se presenta un resumen con los resultados de los análisis de nitrógeno inorgánico nítrico (N-NO₃), amoniacal (N-NH₄) y total inorgánico (suma del nítrico más el amoniacal).

Cuadro 17. Concentración de nitrógeno inorgánico en el perfil del suelo (0-90 cm).

Concentración (mg·kg / ppm)	Muestreo Inicial			Concentración Total (N-NO ₃ ⁻ + N-NH ₄ ⁺)	Muestreo Final			Concentración Total (N-NO ₃ ⁻ + N-NH ₄ ⁺)
	P1	P2	P3		P1	P2	P3	
N- Amoniacal (N- NH ₄ ⁺)	13	10	16	39	20	10	17	47
N- Nítrico N- NO ₃ ⁻)	11	14	15	40	24	13	*	*
N- Total (N-NO ₃ ⁻ + N-NH ₄ ⁺)	24	24	31	79	44	23	32	99

P1= Profundidad uno (0-30 cm), **P2=** Profundidad dos (30-60 cm) y **P3=** Profundidad tres (60-90 cm). Medias con letras distintas son estadísticamente diferentes (LSD $P \leq 0.0021$). * Sin Datos.

A excepción de la concentración de nitrato a la profundidad de 60-90 cm, todos los demás promedios resultaron estadísticamente iguales entre tratamientos. Es decir, las concentraciones iniciales de amonio, nitrato y total inorgánico a la profundidad de 0-30 cm, resultaron estadísticamente iguales entre sí para todos los tratamientos, con promedios de 13, 11 y 24 mg·kg de nitrógeno nítrico, amoniacal y total inorgánico, respectivamente. Esto mismo ocurrió para las concentraciones de nitrógeno nítrico, amoniacal y total inorgánico para 30-60

cm y 60-90 cm de profundidad. En cierta manera esto era lo esperado, dado que el terreno fue “blanqueado” el ciclo anterior.

Si asumimos que la mayor parte del nitrógeno que el maíz absorbe lo hace principalmente de la profundidad de 0-60 cm concluimos que a la siembra había una disponibilidad de 48 mg/kg (nitrato + amonio hasta 0-60 cm). Lo anterior se traduce en una disponibilidad estimada de aproximadamente 187 kg/ha de N hasta 60 cm de profundidad (considerando una densidad aparente de 1.3 g/cm³). Esto explica en parte el rendimiento que puede alcanzar un testigo que no recibe fertilizante nitrogenado, pero también el alto rendimiento que algunos tratamientos pueden alcanzar aun recibiendo menos fertilizante que la extracción estimada para ese rendimiento calculado al inicio del ciclo del cultivo.

En el mismo Cuadro 11 puede observarse que las concentraciones de N-NH₄, N-NO₃ y total inorgánico a 0-30 cm, al final del ciclo del cultivo fueron mayores a las iniciales con 13, 11 y 24 contra 20, 24 y 44 mg/kg, respectivamente. Esto es esperado también, es decir que quede algo de N residual después de la cosecha. Puede observarse que las concentraciones finales de N a las profundidades 30-60 y 60-90 cm fueron muy similares a las iniciales.

5. CONCLUSIONES

El mayor rendimiento de forraje verde y seco se obtuvo con el tratamiento seis (Tratamiento basado en análisis de suelo), el cual recibió solo 136 y 12.4 de $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de N y P, respectivamente, pero también fue el que recibió diferentes suplementos nutrimentales como: de Basfoliar Kelp®, Basfoliar Zn 75 FLO® a la semilla, Blaukorn Classic®, Hydrospeed CaB-Max®, Novatec Premium® y sulfato de magnesio durante el desarrollo del cultivo, Además de dos aplicaciones foliares (30 y 40 DDS) de Compo Pack® foliar.

Los tratamientos (Novatec + fertilización tradicional) y dos (testigo regional) resultaron estadísticamente iguales en forraje seco al tratamiento seis, pero recibieron en promedio 109 $\text{kg}\cdot\text{ha}$ de N más que el tratamiento seis.

Los resultados indican que se hizo un uso más eficiente del N (UEN)

RECOMENDACIÓN

Se sugiere es repetir el experimento por lo menos un año más en las mismas parcelas experimentales para validar la consistencia de los resultados obtenidos este primer año de evaluación.

LITERATURACITADA

Almeida M. P.A. (2014). Forrajes de Calidad. Octubre 3, 2018., de Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. INTA Sitio web: <http://www.forrateg.com.ar/desargas.php?obj=manual&ac=view&id>

Becerra J. (2004). *Guía para la asistencia Técnica en la producción de forrajes de riego en el Estado de Querétaro*. Octubre 18, 2018. Del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias Sitio web: http://www.inifap.gob.mx/guia/forrajes/_968-5580-32-4

Cabrera L. M. (2007). *Mineralización y Nitrificación: Procesos Claves en el Ciclo del Nitrógeno*. Octubre 27, 2018. De Instituto Internacional de Nutrición de las Plantas (IPNI). Programa Latinoamérica, Cono - Sur Sitio web: www.ipni.net/Programa

Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, Programa de Intensificación sustentable (2013). *La importancia del zinc en el cultivo del maíz*. Septiembre 18, 2018. <http://conservacion.cimmyt.org/en/boletin-ac/2013/789-la-importancia-del-zinc-en-el-cultivo-de-maiz>

Cervantes R. M. C., Franco G. A. M. (2002). *Diagnóstico Ambiental de La Comarca Lagunera*. Septiembre 22, 2018. De Colegio de Geografía, Facultad de Filosofía y letras. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) Sitio web: <http://www.observatoriageograficoamericalatina.org.mx>

Chávez L., Gómez X., Vázquez O. (2018). *Bustling Comarca Lagunera: Well-serviced Market with Ample Niche Opportunities*. Octubre 31, 2018, de USDA Foreign Agricultural Service. Global Agricultural Information Network Sitio web: www.fas.usda.gov/.../global-agricultural-information-network

Cone. J.W. (2015). *Nutritive value of maize silage in relation to dairy cow*. Octubre 20, 2018. De Wageningen University and Research Sitio web: <https://www.wur.nl/en/newsarticle/Nutritive-value-of-maize-silage-in-relation-to-dairy-cow-performance-and-milk-quality.htm>

Cueto, J.A., Reta J.G., Barrientos J.L., González G., Salazar E.. (2006). Rendimiento de Maíz Forrajero en Respuesta a Fertilización Nitrogenada y Densidad de Población. Revista Fitotecnia Mexicana, 29, número especial 2, 97-101.

Cueto W.J.A., Figueroa V. U., García S. J.L., Ochoa M. E. (2018). *Evaluación de Fertilizantes con Inhibidor de la nitrificación (DMPP) en el Cultivo de Maíz Forrajero en la Comarca Lagunera*. Informe Técnico Interno. Campo Experimental de la Laguna. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Matamoros, Coah.

Díez J.A., Arauzo M., Martínez-Bastida J.J. (2009). *Uso de inhibidores de la nitrificación para reducir la contaminación por nitrato en el cultivo de maíz (DCD y DMPP)*. Dossier Maíz 2009. No.157 – pag. 52. Octubre 21, 2018. <http://digital.csic.es/bitstream/paper/J.A.Díez>.

Dirección de Investigación y Evaluación Económica y Sectorial. DIEES. (2016). *Panorama Agroalimentario, Maíz 2016*. Octubre 21, 2018. De Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura FIRA Sitio web: <http://FIRA.gob.mx>

FigueroaV. U., CuetoW. J.A. Informe técnico interno. *Métodos y épocas de aplicación de zinc y su efecto en la absorción y distribución en la planta*. Campo Experimental de la Laguna. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Matamoros, Coah.

FigueroaV. U., CuetoW. J.A., Delgado A. J., NúñezH. G., RetaS, David G.; Quiroga-Garza, Héctor M.; Faz-Contreras, Rodolfo; Márquez-Rojas, José L. (2010). *Estiércol de bovino lechero sobre el rendimiento y recuperación aparente de nitrógeno en maíz forrajero*. Octubre 16, de 2018.De Revista Terra Latinoamericana Sitio web: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57318502008>

Gasque G.R., Posadas M. E. (2013). *Manual de normas y datos técnicos en el ganado lechero*. Octubre 22,2018.DeAsociación Mexicana de Médicos Veterinarios Especialistas en Bovinos, A.C. (AMMVEB) Sitio web: www.ammveb.net/ebooks/manual_normas_técnicas_bovino..pdf

González C. F., Peña R. A., Núñez H. G. (2006). *Etapas de corte, producción y calidad de maíz forrajera de híbridos de maíz de diferente ciclo biológico*. Octubre 12,2018.De Revista Fitotecnia Mexicana Sitio web: <http://www.redalyc.org/html/610/61009818/d>

Good G. A., Beatty H. P. (2011). *Fertilizing Nature: A Tragedy of Excess in the Commons*. Octubre 22, 2018. PLOS. Biology, A peer-Reviewed, Open Access Journal. Sitio web: www.plos/10.1371/journal.pbio.10001124

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. INTA (2016). *Procesos de Suelo: Desnitrificación*. Octubre 30, 2018. De INTA-Pergamino Sitio web: <http://www.fertilizando.com/articulos/Procesos%20de%20Suelo%20-%20Desnitrificacion.asp>

INTAGRI. (2017). Lixiviación de nitratos en agricultura. 22 de Noviembre de 2018, de Instituto para la Innovación Tecnológica en la Agricultura Sitio web: <https://www.intagri.com/articulos/suelos/lixiviacion-de-nitratos-en-agricultura>

Núñez H. G., Payán G. J.A, Peña R. A., Gonzáles C. F., Ruíz B. O., Arzola A. C. (Abril-Junio, 2010.). *Caracterización agronómica y nutricional del forraje de variedades de especies anuales en la región norte de México*. Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias, 2, on line.

Rodríguez, H. S.A. (2010). *El maíz en la dieta de vacas lecheras*. Simposio de Innovación Ganadera. Septiembre 20, 2018. <http://sigan.org/2010/pdf/maiz.pdf>

Secretaría de Economía (2012). Dirección General de Industrias Básicas. *Análisis del Sector Lechero en México*. Septiembre 20, 2018. http://www.economia.gob.mx/files/comunidad_negocios/industria_comercio/informacionSectorial/analisis_sector_lacteo.pdf

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2018). *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola, 2016*. Octubre 21, 2018. De Secretaría de Agricultura Ganadería Recursos Hidráulicos y Pesca (SAGARPA) Sitio web: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>

Sharma, M. K., Kumar P. (2017). *Guía para la identificación y el manejo de la deficiencia de nutrientes en cereales*. Octubre 31, 2018., de CIMMYT. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. IPNI. International Plant Nutrition Institute Sitio web: <http://www.conservacion.cimmyt.org/.../2185-guia-para-la-identificacion-y-manejo-de-las-deficiencias-de-nitrogeno-en-maiz>

Sitio argentino de Producción Animal (SAPA). (2010). *Maíz para ensilaje*. Octubre 16, 2018. De Producción Animal Argentina Sitio web: <http://www.produccion-animal.com.ar/>

Stewart V.M. (2007). Consideraciones en el Uso Eficiente de Nutrientes. *Informaciones Agronómicas-International Plant Institute IPNI*, 67, 1.

Uhart A. S., Echeverría E. H. (1998). *El rol del nitrógeno y del fósforo en la producción de maíz*. Diagnóstico de la fertilización nitrogenada y fosforada. Octubre 21, 2018. De Boletín Técnico Morgan-Mycogen. 48 págs., Afiliación: Morgan-Mycogen (Ed.) Buenos Aires, Argentina Sitio web: https://www.researchgate.net/publication/311715308_El_rol_del_nitrogeno_y_d_el_fosforo_en_la_produccion_de_maiz

Verhulst N., François I., Grahmann K., Cox R., Govaerts B. (2015). *Eficiencia del uso de nitrógeno y optimización de la fertilización nitrogenada en la agricultura de conservación*. Octubre 27, 2018. De Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) - Modernización Sustentable de la Agricultura Tradicional MasAgro Sitio web: www.conservacion.cimmyt.org/en/component/.../1502-eficiencia-del-uso-del-nitrogeno

