

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE



“Rendimiento de forraje verde, seco, distribución y concentración de Zn en maíz forrajero bajo diferentes fuentes y métodos de aplicación”

Por:

**LUIS ENRIQUE BARRIENTOS RAMÍREZ**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN**

Torreón, Coahuila, México  
Diciembre de 2018

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS  
DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE

"Rendimiento de forraje verde, seco, distribución y concentración de Zn en maíz forrajero bajo diferentes fuentes y métodos de aplicación"

Por:

**LUIS ENRIQUE BARRIENTOS RAMIREZ**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN**

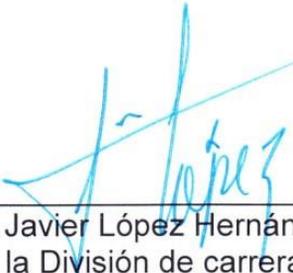
Aprobada por el Jurado Examinador:

  
PhD. Vicente De Paul Álvarez Reyna  
Asesor Principal Interno

  
PhD. José Antonio Cueto Wong  
Asesor Principal Externo

  
Dr. Federico Vega Sotelo  
Coasesor

  
Ing. Eliseo Raygoza Sánchez  
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

“Rendimiento de forraje verde, seco, distribución y concentración de Zn en maíz forrajero bajo diferentes fuentes y métodos de aplicación”

Por:

**LUIS ENRIQUE BARRIENTOS RAMIREZ**

TESIS

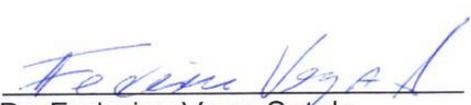
Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN**

Aprobada por el Comité de Asesoría:

  
PhD. Vicente De Paul Álvarez Reyna  
Asesor Principal

  
PhD. José Antonio Cueto Wong  
Asesor Principal Externo

  
Dr. Federico Vega Sotelo  
Coasesor

  
Ing. Eliseo Raygoza Sánchez  
Coasesor

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

Torreón, Coahuila, México  
Diciembre de 2018



## **Agradecimientos**

Quiero agradecer a mi institución, la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, (UAAAN), Unidad Laguna, por el tiempo que me cobijo rodeándome de personas que pusieron un granito de arena en mi carrera, mis maestros, asesores y compañeros.

También al, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas Y Pecuarias (INIFAP CENID) por permitirme desarrollar mi tesis profesional.

Gracias Ph.D Jose Antonio Cueto Wong, por haberme brindado la oportunidad de desarrollar mi tesis profesional en INIFAP CENID, por el tiempo y apoyo otorgado de inicio a fin de mi tesis.

Gracias M.C Jorge Luis García Sepúlveda por brindarme tu amistad y el apoyo recibido para la realización de esta tesis, por creer en mí y por tus consejos y apoyo en los momentos más difíciles.

Gracias Ph.D Vicente de Paul Álvarez Reyna por brindarme su tiempo y apoyo en mi tesis profesional y por su conocimiento que me transmitió en el transcurso de mi carrera.

A mis maestros el Dr .Federico Vega Sotelo y el Ing. Eliseo Raygoza Sánchez les agradezco por todo el apoyo brindado a lo largo de mi carrera.

## **Dedicatorias**

A mi esposa Karla Denisse Sifuentes Ortiz por haberme acompañado a lo largo de mi carrera y nunca dejarme solo, por ser mi fortaleza en los momentos difíciles, y regalarme un maravilloso hijo y la familia tan bonita que tenemos los amo.

A mis padres Magdalena Ramírez Agüero y Enrique Barrientos Hernández que me apoyaron en todo momento, darme la oportunidad de tener una carrera, los valores que me han inculcado y sobre todo por ser mi ejemplo a seguir.

A mi abuelo Rodrigo Barrientos que es como un padre para mí, su apoyo incondicional a lo largo de mi carrera, por levantarme cuando sentía que no podía más, esos grandes consejos que siempre me brindo, le agradezco su amor y cariño hacia mi familia.

A mis hermanos por formar parte de mi vida y demostrar el amor puro y sincero, sobre todo el apoyarme siempre en el transcurso de mi carrera.

A mis amigos por creer y confiar en mí en el transcurso de mi etapa universitaria, el gran apoyo que me brindaron y motivarme a seguir adelante en los momentos de desesperación.

A todas esas personas que pusieron su granito de arena para que yo pudiera lograr esto, familia, maestros, amigos este logro no es solo mío.

¡Muchas Gracias!

## RESUMEN

El zinc es un nutriente esencial en las plantas, involucrado en la síntesis de proteínas, regulación genética e integridad de las membranas. Es común que cultivos establecidos en suelo alcalino presente deficiencia de zinc.

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el rendimiento, absorción y distribución del Zn en la planta, en respuesta a métodos de aplicación de fertilizantes con zinc.

El experimento se estableció en las instalaciones del Campo Agrícola Experimental de la Laguna, donde se evaluaron siete tratamientos (sulfato de zinc y EDTA-Zn en una y dos aplicaciones al suelo, y sulfato de zinc en dos y tres aplicaciones foliares); el diseño experimental utilizado fue bloques al azar con cuatro repeticiones, el híbrido utilizado fue Berentsen SB 302 con una densidad de siembra de 105,000 plantas por hectárea.

La evaluación rendimiento se llevó a cabo a los 112 días después de siembra cuando la planta contaba con un 33% de materia seca. En rendimiento de forraje, los tratamientos con fertilización de Zn al suelo tuvieron un rendimiento superior a los tratamientos de aplicación foliar, con valores de 17.7 y 12.2 ton/ha, respectivamente.

La altura final de la planta fue superior en los tratamientos al suelo. Sin embargo, la concentración foliar de Zn en el follaje, en la etapa de floración, fue superior en los tratamientos de aplicación foliar.

**PALABRAS CLAVE: Forraje, Zinc, Maíz, Aplicación**

## Contenido

<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>I</b>
<b>DEDICATORIAS</b> .....	<b>II</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>III</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>OBJETIVO GENERAL</b> .....	<b>4</b>
OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	4
HIPÓTESIS.....	5
<b>2. REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	<b>6</b>
2.1. GENERALIDADES DEL CULTIVO.....	6
2.1.1. SUELO.....	6
2.1.2. CLIMA.....	6
2.1.3. RIEGOS.....	7
2.2. PRODUCCIÓN NACIONAL.....	7
<b>2.3. MAÍZ PARA ENSILAR</b> .....	<b>8</b>
<b>2. ALMIDÓN:</b> ES LA PRINCIPAL FUENTE DE ENERGÍA DEL MAÍZ Y PROCEDE CASI EXCLUSIVAMENTE DEL GRANO, LOS NIVELES AL MOMENTO DE LA COSECHA EN VERDE (ENSILADO) SON DE ENTRE 27-35%. EXISTEN DOS TIPOS DE ALMIDÓN: ALMIDÓN DEL ENDOSPERMO VÍTREO (MENOS DIGESTIBLE EN EL RUMEN) Y ALMIDÓN DEL ENDOSPERMO HARINOSO.....	9
<b>2.4. FERTILIZACIÓN DE MAÍZ FORRAJERO</b> .....	<b>10</b>
<b>2.5. COSECHA</b> .....	<b>11</b>
<b>2.6. ZINC EN LA AGRICULTURA</b> .....	<b>13</b>
<b>2.7. RESPUESTA DEL CULTIVO DEL MAÍZ AL <math>Zn^{2+}</math>, FUENTES Y MÉTODOS DE APLICACIÓN</b> .....	<b>14</b>
<b>3. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	<b>17</b>
3.1. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DE LA COMARCA LAGUNERA.....	17
<b>3.2. HIDROLOGÍA Y CLIMATOLOGÍA</b> .....	<b>18</b>
3.3. USO DEL AGUA.....	20
<b>3.5. LOCALIZACIÓN DEL SITIO EXPERIMENTAL</b> .....	<b>21</b>
<b>3.6. SUELO DEL SITIO EXPERIMENTAL</b> .....	<b>23</b>
.....	26
3.7. TRATAMIENTOS.....	27
3.9. DESCRIPCIÓN DE LOS PRODUCTOS UTILIZADOS EN LOS PROGRAMAS DE FERTILIZACIÓN.....	28

.....	30
FIGURA 12. CROQUIS DE CAMPO DEL SITIO EXPERIMENTAL. (LOTE 13, INIFAP-CELALA).....	30
3.10. HÍBRIDO UTILIZADO.....	30
3.11. TRATAMIENTO A LA SEMILLA.....	31
<b>3.12. BARBECHO Y RASTREO</b> .....	32
3.12.1. TRAZADO, PREPARACIÓN Y ESTABLECIMIENTO DEL EXPERIMENTO.....	33
<b>3.12.2. SURCADO Y BORDEO</b> .....	33
.....	34
3.12.3. RIEGO DE ANIEGO .....	34
3.12.4. SIEMBRA Y FERTILIZACIÓN.....	35
.....	
3.12.5. RIEGOS DE AUXILIO.....	38
<b>3.12.6. CONTROL DE MALEZA</b> .....	39
3.12.7. CONTROL DE PLAGAS .....	39
3.12.8 MUESTREO FOLIAR .....	40
3.13. COSECHA.....	41
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	<b>44</b>
4.1. DENSIDAD DE POBLACIÓN.....	44
4.2 RENDIMIENTO DE FORRAJE VERDE Y SECO .....	44
NO. TRAT .....	45
TRATAMIENTO .....	45
DENSIDAD DE PLANTAS.....	45
RENDIMIENTO FORRAJE VERDE (T HA <sup>-1</sup> ).....	45
RENDIMIENTO MATERIA SECA (T HA <sup>-1</sup> ) .....	45
ALTURA FINAL DE PLANTA.....	45
1.....	45
TESTIGO .....	45
93 133 NS.....	45
33.5 B .....	45
11.0 B .....	45
1.91 C .....	45
2.....	45
DOS APLICACIONES ZNSO <sub>4</sub> (F).....	45
84 293 NS.....	45

37.2 B .....	45
12.3 B .....	45
2.24 C .....	45
3.....	45
TRES APLICACIONES ZNSO <sub>4</sub> (F).....	45
81 003 NS.....	45
36.4 B .....	45
12.0 B .....	45
2.35 BC .....	45
4.....	45
UNA APLICACIÓN ZNSO <sub>4</sub> (S).....	45
85 938 NS.....	45
56.5 A .....	45
18.6 A .....	45
2.58 AB .....	45
5.....	45
DOS APLICACIONES ZNSO <sub>4</sub> (S).....	45
89 844 NS.....	45
53.0 A .....	45
17.5 A .....	45
2.70 A .....	45
6.....	45
UNA APLICACIÓN ZN-EDTA (S).....	45
86 965 NS.....	45
50.8 A .....	45
16.8 A .....	45
2.53 AB .....	45
7.....	45
DOS APLICACIONES ZN-EDTA (S).....	45
85 938 NS.....	45
53.9 A .....	45
17.8 A .....	45
2.69 A .....	45
.....	46
FIGURA 25. GRAFICA DE RENDIMIENTO EN FORRAJE VERDE. ....	46

4.3. ALTURA DE MAZORCA Y RENDIMIENTO DE GRANO .....	47
TESTIGO .....	48
DOS APLICACIONES $ZnSO_4$ (F).....	48
TRES APLICACIONES $ZnSO_4$ (F).....	48
UNA APLICACIÓN $ZnSO_4$ (S).....	48
DOS APLICACIONES $ZnSO_4$ (S).....	48
UNA APLICACIÓN Zn-EDTA (S).....	48
DOS APLICACIONES Zn-EDTA (S).....	48
4.4. ANÁLISIS FOLIAR .....	48
<b>5. CONCLUSIONES .....</b>	<b>50</b>
<b>6. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>50</b>
<b>LITERATURA CITADA .....</b>	<b>51</b>

## 1. INTRODUCCIÓN

En 2016, La Comarca Lagunera fue la principal región productora de leche a nivel Nacional, el concentrado Nacional de producción pecuaria del SIAP (Servicio de Información Agro y Pesquera), reportó 456 420 cabezas de ganado bovino lechero (GBL) que produjeron más de 2 400 millones de litros de leche (SIAP, 2018).

El sistema de producción en La Comarca Lagunera es intensivo, moderno y especializado, caracterizado por unidades de producción grandes con más de 1 000 vacas en lactancia y área agrícola para la producción de forraje de riego (Figueroa *et al.*, 2015).

Uno de los principales insumos en la dieta del GBL es el silo de maíz debido principalmente a su alta productividad, elevado potencial de rendimiento y elevado valor energético, debido a esto y a la enorme demanda, en 2016 se establecieron 39 000 ha (16 000 ha de riego por gravedad y 23 600 ha por bombeo) de maíz forrajero.

Sin embargo, el maíz forrajero es un cultivo altamente demandante de nutrientes, de una nutrición balanceada y sensible al  $Zn^{2+}$ , (Ehsanullah *et al.*, 2015).

En La Comarca Lagunera, se han incorporado nuevas tecnologías como: híbridos, maquinaria, fertilizantes (liberación controlada, inhibidores de la nitrificación) que han ayudado a incrementar el rendimiento y disminuir el costo de producción sin disminuir la calidad y/o el rendimiento del maíz forrajero (Cueto *et al.*, 2006).

Sin embargo, la deficiencia nutrimental es el factor que limita el potencial de rendimiento y calidad del maíz forrajero (Drissi *et al.*, 2017). Uno de estos nutrimentos es el  $Zn^{2+}$ , esta condición (deficiencia) se hace más grave en suelo típico de zonas áridas donde existe suelo calcáreo, alcalino, con bajo contenido de materia orgánica, salino, arenoso y altamente interperizado (Drissi *et al.*, 2017).

Se cree que más de 1 200 proteínas vegetales contienen, transportan o están enlazadas al  $Zn^{2+}$ . El  $Zn^{2+}$  es importante en la agricultura debido a que es componente de enzimas que participan en la síntesis de proteínas y la producción de energía para el mantenimiento e integridad de las membranas vegetales. Además, lleva a cabo un rol importante en el desarrollo de la semilla y una deficiencia de este mineral es causante de una madurez tardía (Hansch, 2009).

Comúnmente el  $Zn^{2+}$  se aplica al cultivo de maíz en mezclas físicas con fosforo (P) o potasio ( $K^+$ ), siendo el sulfato de zinc ( $ZnSO_4$ ) la fuente más utilizada por los productores. El ( $ZnSO_4$ ) generalmente es aplicando en mezcla con fosfato monoamónico (MAP) y sulfato de amonio ( $NH_4SO_4$ ). Sin embargo estos productos granulados, al mezclarse con el suelo solo “tratan” o abarcan pequeñas áreas de la masa del suelo, siendo generalmente insuficiente para proveer los requerimientos necesarios del cultivo (Ruffo *et al.*, 2016).

Existen alternativas como la aplicación de fertilizantes complejos (FC) y la aplicación foliar. Los FC tienen una serie de ventajas como: mejor distribución de nutrientes minimizando la segregación, la cual es crítica para los micronutrientes que son aplicados en baja dosis (Ruffo *et al.*, 2016).

Con las aplicaciones foliares se busca complementar los requerimientos de nutrientes que no son abastecidos en las fertilizaciones edáficas o de ferti-riego,

debido a una baja absorción en el suelo o para fines de incrementar la concentración de algún mineral en el grano o fruto (Ferraris *et al.*, 2014).

El maíz es una de las plantas que presenta los signos visuales de deficiencia más claramente (20-30 días después de siembra) y uno de los cultivos con mayor respuesta al  $Zn^{2+}$ . Una deficiencia severa de  $Zn^{2+}$  en el cultivo puede reducir en 1 a 1.4 t grano  $ha^{-1}$  (Smith, 2018).



**Figura 1.** Síntomas típicos de deficiencia de Zn (clorosis intervenal o franjas blancas en la primera mitad de la hoja). FUENTE: ©Darrel Smith. <https://www.agweb.com/article/dont-let-zinc-sink-yield-naa-darrell-smith/>

## **OBJETIVO GENERAL**

Evaluar la respuesta del maíz forrajero a diferentes métodos de aplicación y fuentes de fertilización con Zn, en el desarrollo agronómico del maíz forrajero en La Comarca Lagunera

## **OBJETIVOS ESPECIFICOS**

Evaluar y comparar el rendimiento de forraje verde, seco y concentración y distribución de  $Zn^{2+}$  en grano y planta en respuesta a fuentes de fertilización y métodos de aplicación.

## HIPÓTESIS

El maíz forrajero presentará diferente respuesta en cuanto rendimiento en forraje verde, materia seca, distribución y concentración de  $Zn^{2+}$  en grano y en resto de la planta bajo diferentes fuentes y métodos de aplicación en el suministro de  $Zn^{2+}$ .

## 2. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. GENERALIDADES DEL CULTIVO

El maíz forrajero (MF) provee a los productores de ganado una fuente de forraje de alto rendimiento, a los animales una fuente de alimento altamente digestible y palatable y a la unidad de producción una fuente muy eficiente de reciclaje de N y K (Heinrichs *et al.* 2001). El potencial productivo lo determinan factores climáticos, genotipo e interacción con el medio ambiente (Núñez *et al.*, 2013).

#### 2.1.1. Suelo

El suelo donde se establece el maíz forrajero (MF) deberá cumplir con ciertas cualidades para que el cultivo pueda expresar su máximo potencial. Se desarrolla mejor en suelo ligeramente ácido, con buen contenido de materia orgánica (MO), buen drenaje (Jurado *et al.*, 2014).

#### 2.1.2. Clima

El cultivo expresa su máximo potencial en temperaturas entre los 25 y 30 °C, además de alta irradiación solar. Para la germinación de la semilla la temperatura deberá ubicarse entre 15 a 20 °C, soporta temperaturas mínimas de hasta 6 °C.

### 2.1.3. Riegos

En la región la lámina de riego recomendada por el INIFAP es de 0.70 m de lámina total (Faz, 2007). El tipo y frecuencia de riego se deberá programar en función del tipo, características físicas y químicas del suelo e infraestructura del productor.

## 2.2. Producción Nacional

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<sup>-1</sup> de forraje verde (SIAP, 2018).

El estado de Jalisco es el principal productor de maíz forrajero con una superficie de 207 299 ha y un rendimiento promedio (RP) de 22.5 t·ha<sup>-1</sup>, el estado de Zacatecas ocupó el segundo lugar con 112 886 ha y un RP de 20.22 t·ha<sup>-1</sup>, el tercero, cuarto y quinto lugar fueron los estados de Durango con 64 920 ha y RP de 37.1 t·ha<sup>-1</sup>, Aguascalientes 61 902 ha y RP de 23.1 t·ha<sup>-1</sup> y Chihuahua con 44 446 ha y RP de 16.71 t·ha<sup>-1</sup>, 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 a maíz forrajero se establecieron 39 mil 678 hectáreas de maíz forrajero (16 mil ha de riego por

gravedad y 23,661 ha por bombeo) con un rendimiento promedio de 45.71 t · ha<sup>-1</sup> de forraje verde.

### 2.3. Maíz para ensilar

Un silo de maíz de alta calidad contribuye en gran manera suplementando la energía, almidón, y cantidades de fibra detergente neutra (FDN) necesarias para vacas de alta producción.

Se ha demostrado que el valor nutritivo del silo de maíz es altamente variable y que mucha de esta variación es debido a diferencias en la maduración al momento de la cosecha. Cuando el maíz se ensila en estados inmaduros (MS > 25%) el contenido de almidón es muy bajo lo que resulta en poca ingestión de MS, rendimiento de leche y contenido de proteína. La ingestión de MS y contenido de proteína en la leche aumenta conforme aumenta el grado de madurez llegando a un nivel óptimo en un 30 – 35 %MS (Cone, 2015).

Existen tres factores nutricionales básicos por lo que se seleccionan híbridos de maíz en La Comarca Lagunera:

**1. Energía:** La principal característica por la que se cultiva el maíz forrajero (MF) es por su contenido de energía. Se han hecho esfuerzos por maximizar el contenido de otros compuestos (contenido de aminoácidos y aceites) al desarrollar híbridos, sin embargo, la principal cualidad del MF es su aporte de energía. Existen dos fuentes por las cuales el maíz aporta esta energía: **1) Rastrojo/paja:** (fibra) contiene de 40-80 % de FDN y **2) Mazorca:** Está compuesta principalmente por almidón, contenido de energía digestible es de casi el 100%.

**2. Almidón:** Es la principal fuente de energía del maíz y procede casi exclusivamente del grano, los niveles al momento de la cosecha en verde (ensilado) son de entre 27-35%. Existen dos tipos de almidón: Almidón del endospermo vítreo (menos digestible en el rumen) y almidón del endospermo harinoso.



**Figura 2.** Imagen de correcto momento de corte (>30% MS) y de tamaño de partículas. FUENTE: <https://www.dekalb.es/biblioteca-de-agronomia/caracteristicas-nutricionales-principales-del-maiz-para-silo>

**3. Fibra:** Una de las características de los rumiantes es la capacidad que tienen de obtener energía de la fibra que ingieren en sus raciones. El rumen actúa como un biodigestor en donde las bacterias se encargan de la degradación de los componentes fibrosos para convertirlos en tipos de azúcar más digestibles.

La fibra es la pared es la membrana de las células de la planta formada por lignina, celulosa y hemicelulosa, estas tres forman la fibra detergente neutra (FDN) contenida principalmente en rastrojo.

Existen tres componentes de la fibra:

1. Fibra Detergente Neutra (FDN): Es el total de la fibra. Valor recomendado: 38-43% de MS.

2. Fibra Detergente ácida (FDA): Parte de la fibra que se degradará de manera lenta. Valor recomendado: 19-22% de MS.

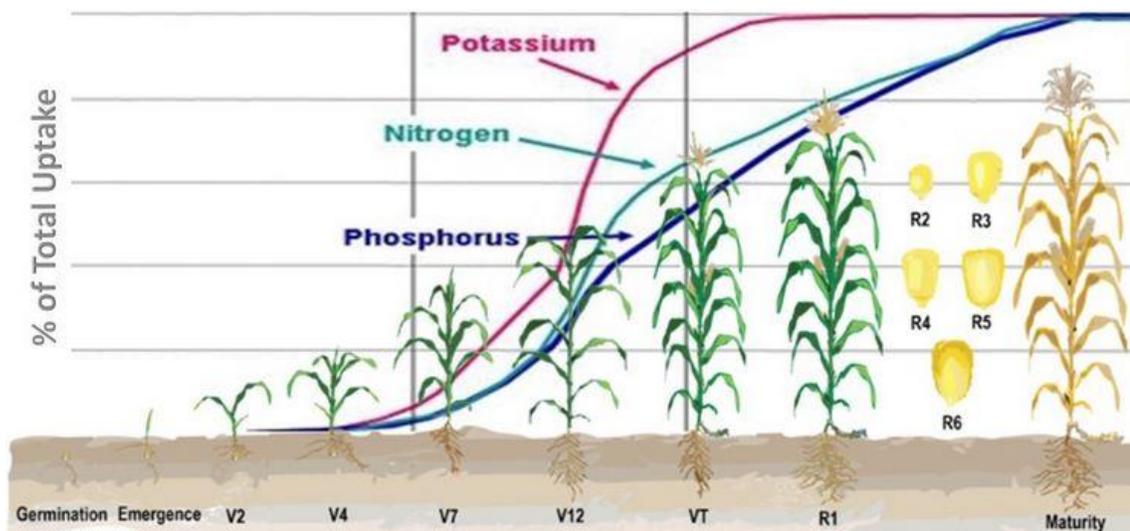
3. Lignina Ácido Detergente (LAD): Parte de la fibra no digerible. Valor: 1.5-3% MS (DEKALB, 2017).

Existen factores que pueden afectar severamente la calidad del maíz forrajero, entre los que se encuentran: Selección del híbrido, grado de madurez a cosecha, contenido de humedad, proceso de cosecha y ensilado, prácticas de producción y utilización del silo de maíz (González, 2013).

#### **2.4. Fertilización de Maíz Forrajero.**

El Nitrógeno (N) a aplicar para obtener una cosecha de 8 t ha<sup>-1</sup> de grano, 45 t ha<sup>-1</sup> de forraje verde y/o 15 t ha<sup>-1</sup> de materia seca es de más de 200 kg N ha<sup>-1</sup>.

El maíz para ensilar remueve 14 kg N por tonelada de MS, si se espera una cosecha de forraje verde de 60 t (19.8 t MS) x 14 kg = 277 kg N ha<sup>-1</sup>. (Figuroa *et al.*, 2000). La dosis y fuente de fertilización de P, K y otros elementos esenciales deben calcularse en base a un análisis de suelo.



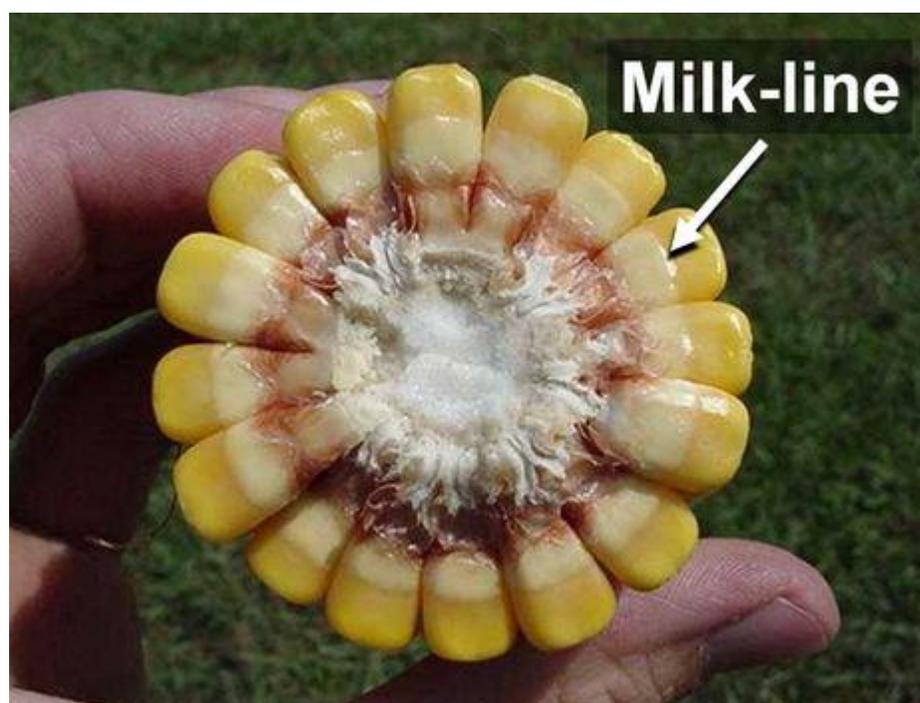
**Figura 3.** Esquema donde se muestran los diferentes requerimientos de nutrientes en los diferentes estados vegetativos del cultivo. FUENTE: [https://www.smart-fertilizer.com/articles/corn\\_fertilizer](https://www.smart-fertilizer.com/articles/corn_fertilizer)

## 2.5. Cosecha

La calidad del silo de maíz se condiciona principalmente por las características propias del forraje en el momento de la cosecha y la calidad de la fermentación en el proceso de ensilaje. La elección del momento de la cosecha es el factor que más influye en la calidad del cultivo para ensilar. Rendimiento, contenido de MS, porcentaje de grano y digestibilidad son factores que pueden modificarse por el estado de madurez al momento de cosecha (Pereira *et al.*, 2015).

Un criterio fiable de determinar el grado de madurez de la planta, es la posición en el grano de la línea de leche. Esta línea marca la interface entre las porciones de endospermo sólido y lechoso, marca la deposición del almidón en el llenado de grano.

De acuerdo a diversas investigaciones el estado idóneo o punto de cosecha para maíz destinado a GBL es entre  $\frac{1}{4}$  y  $\frac{2}{3}$  de la línea de leche, punto en el cual el ensilado de maíz proporciona mayor ingestión de materia seca digestible y mayor producción de leche en comparación con cualquier otro estado de madurez (Pereira *et al.*, 2015).



**Figura 4.** Corte transversal de una mazorca donde se puede observar la “línea de leche” o avance de solidificación. FUENTE: <http://www.mississippi-crops.com/2016/07/19/how-to-determine-when-you-can-terminate-corn-irrigation/>

## 2.6. Zinc en la agricultura.

Desde el descubrimiento de la esencialidad del  $Zn^{2+}$  para las plantas (1934) se han detectado áreas en el mundo deficientes en  $Zn^{2+}$  para el crecimiento y desarrollo de plantas de importancia agronómica. Esta deficiencia se encuentra ampliamente distribuida en todas las plantas que se desarrollan en suelo calcáreo y pH alcalino debido a que el  $Zn^{2+}$  se encuentra adherido a los carbonatos de calcio.

Alta concentración de P en el suelo puede disminuir la solubilidad del  $Zn^{2+}$ , lo que posteriormente pudiese convertirse en una deficiencia, estos problemas se presentan en aquellos suelos donde se aplican cantidades excesivas de P y existe poca disponibilidad de  $Zn^{2+}$  (Nielsen, 2012).

Existen cultivos sensibles al Zn (maíz, algodón y manzano) muy sensibles (Frutales, nogal pacanero y cebolla) y medianamente sensible (papa, tomate, sorgo y remolacha).

En cultivos como los frutales la concentración de  $Zn^{2+}$  en las partes comestibles se ve afectada al estar deficiente en este mineral y en cultivos de grano (maíz, sorgo) el rendimiento es completamente afectado (Nielsen, 2012).



**Figura 5.** Mapa mundial donde se pueden observar zonas con deficiencias medias de Zn (gris) y zonas con deficiencias severa (negro).  
FUENTE: <https://www.zinc.org/crops/>

## **2.7. Respuesta del cultivo del maíz al $Zn^{2+}$ , fuentes y métodos de aplicación**

La deficiencia de micro elementos más común en el cultivo del maíz es el  $Zn^{2+}$  y es el elemento al que brinda mayor respuesta (cuando es deficiente).

Para corregir la deficiencia puede utilizarse diversas fuentes como: sulfato de Zn ( $ZnSO_4$ ) y quelatos (EDTA). Fertilizantes que son aplicados en banda con la fertilización inicial, distribuidos con conos fertilizadores (voleo) y en pocas ocasiones en fertilizaciones foliares. La fuente a utilizar deberá seleccionarse en base a: costo, eficiencia relativa del producto, método de aplicación, pH del suelo y estrategia de remediación (Butzen, 2018).

El  $Zn^{2+}$  es usado en pequeñas cantidades por el cultivo (300-500 g ha<sup>-1</sup>) sin embargo, es un elemento esencial para el desarrollo del cultivo debido a sus múltiples funciones y el rendimiento total es severamente afectado.

De todos los micronutrientes, el  $Zn^{2+}$  es elemento comúnmente más deficiente en la producción de maíz (forrajero y grano). La disponibilidad del  $Zn^{2+}$  para las plantas depende ampliamente de la textura del suelo, materia orgánica, pH del suelo, concentración de P y condiciones climáticas en general.

En Minnesota y Wisconsin (EUA) la forma más común y “efectiva” de aplicación es colocando el fertilizante en banda a 5 cm de lado de la semilla y 5 cm por debajo en el momento de la siembra, de esta manera se coloca el  $Zn^{2+}$  cerca al sistema radical del cultivo para su inmediata absorción por la planta desde la germinación.

Existen muchas fuentes de Zn en el mercado, útiles para corregir deficiencia en los cultivos. Estas diversas fuentes se pueden agrupar en cuatro grandes grupos:

- 1) Productos inorgánicos solubles (sulfato de  $Zn^{2+}$ ).
- 2) Productos con  $Zn^{2+}$  inorgánico e insoluble (óxido de  $Zn^{2+}$ , carbonato de  $Zn^{2+}$ ).
- 3) Quelatos orgánicos (ZnEDTA, ZnHEDTA).
- 4)  $Zn^{2+}$  orgánico no quelatado (complejos orgánicos naturales).

El método de aplicación depende del producto aplicar. Por ejemplo. Para aplicaciones en banda con la fertilización inicial, es recomendable el sulfato de zinc ( $ZnSO_4$ ), si se aplica en fertirriego también con la fertilización inicial son recomendables los quelatos o complejos solubles.

En el caso de la aplicación foliar los productos más utilizados son: sulfato de  $Zn^{2+}$  o quelatos (Butzen, 2018).

### **Cuadro 1.** Principales fuentes comerciales de Zn

<b>Fertilizante con Zn (Zn%)</b>	<b>Característica</b>
Sulfato de Zn ( $ZnSO_4$ ) $\pm$ 35%	Fuente más común en mezclas físicas, muy soluble, puede ser aplicado en banda, voleo y/o foliar.
Complejo Zn-amonio	Puede ser incluido con en programas de fertirrigación con iniciadores como 10-34-00
Oxido de Zn ( $ZnO$ ) 70-80%	Baja solubilidad, tienen que ser muy molido para ser efectivo
Quelatos sintéticos de Zn (ZnEDTA) 9-14%	Más efectivo que las fuentes inorgánicas solubles en cuanto al contenido de Zn
Residuos Orgánicos	El estiércol es una muy buena fuente Zn

**FUENTE:** <https://www.pioneer.com/home/site/us/agronomy/zinc-deficiencies-fertilization-corn/>

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Localización geográfica de La Comarca Lagunera

La región conocida como Comarca Lagunera se localiza en la parte centro-norte de México, comprende diez municipios del estado de Durango y cinco de Coahuila.

Su nombre se debe a la antigua existencia de trece lagunas, entre ellas La Laguna de Mayran que se alimentaba de los Ríos Nazas y Aguanaval (Cervantes *et al.*, 2006).



Figura 6. La Comarca Lagunera. FUENTE:

<http://archivo.eluniversal.com.mx/notas/895114.html>

### 3.2. Hidrología y Climatología

Clima árido-semiárido con variación entre estaciones y escasa precipitación pluvial (julio, agosto y septiembre) variando entre 200 mm en la parte baja de la cuenca y más de 600 mm en la parte alta de la misma (Sierra Madre Occidental).que es donde se capta el agua que se utiliza para la agricultura en la Comarca.

Las cuencas de los ríos Nazas y Aguanaval captan el agua en forma de escurrimientos y que son casi  $225 \text{ hm}^3 \text{ año}^{-1}$ , estos grandes volúmenes dieron lugar a la construcción de importantes obras hídricas como los son la presa Francisco Zarco y Lázaro Cárdenas (Cuadro 1).

**Cuadro 2.** Presas de almacenamiento

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

**Cuadro 3.** Precipitación, temperatura máxima, mínima y temperatura media anual de 2007 a 2017.

Año	Precipitación (mm)	Temperatura Media Máxima ( $^{\circ}\text{C}$ )	Temperatura Media Mínima ( $^{\circ}\text{C}$ )	Temp. Media Anual ( $^{\circ}\text{C}$ )
-----	--------------------	-------------------------------------------------	-------------------------------------------------	------------------------------------------

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>

La fuente de agua subterránea lo constituyen diez acuíferos (ocho en la parte central de La Comarca Lagunera y dos en Parras). Los acuíferos de mayor importancia el Principal y Oriente Aguanaval de donde se abastece la mancha urbana (Torreón, Gómez Palacio y Lerdo). La mitad de los acuíferos se encuentran sobreexplotados como lo indica el Diagnostico Ambiental llevado a cabo por el departamento de geografía de la Universidad Autónoma Nacional (Cuadro 3).

**Cuadro 3.** Acuíferos en La Comarca Lagunera. Grado de explotación y condición Geohidrológica.

<b>Acuífero</b>	<b>Recarga (Hm<sup>3</sup> año<sup>-1</sup>)</b>	<b>Extracción (Hm<sup>3</sup> año<sup>-1</sup>)</b>	<b>Grado de explotación</b>	<b>Condición Geohidrológica</b>
Principal	5 189	1 010	95%	Sobre explotado
Ceballos	510	989	94 %	Sobre explotado
Aguanaval- Oriente	469	669	43%	Sobre explotado
Villa Suárez	100	369	268%	Sobre explotado
General Cepeda	57	48	-15%	Sub explotado
Paila	84	130	53%	Sobre explotado
Villa Juárez	264	57	-78	Sub explotado
Nazas	2 940	475	-94%	Sub explotado
Acatita	200	97	-52%	Sub explotado
Delicias	300	157	-48%	Sub explotado

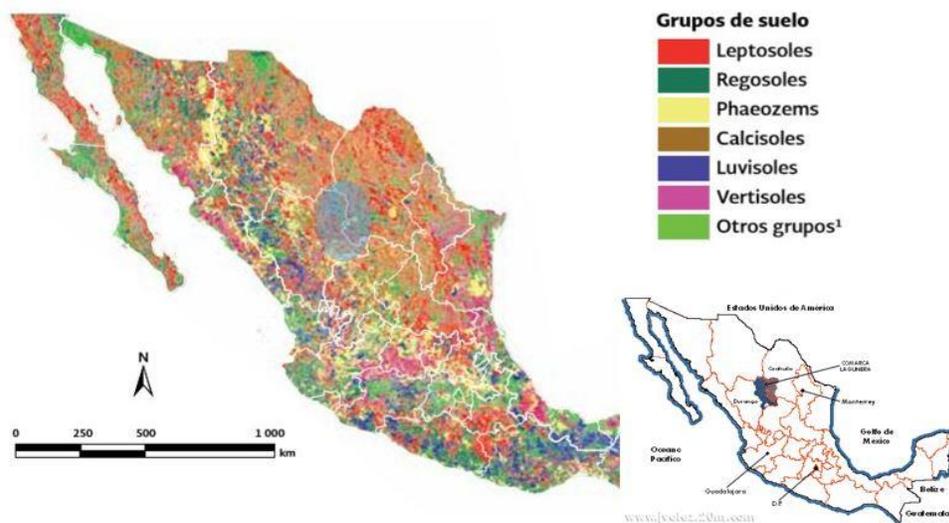
**FUENTE:** Base Regional del Programa Hidráulico de las cuencas centrales del norte.

### 3.3. Uso del agua

El 91% del agua que extrae la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) en La Comarca Lagunera es para uso agrícola (45% agua del subsuelo y 55% agua de la presa).

### 3.4. Suelo

En la región se encuentra suelo aridosol (típico de climas áridos). Cervantes et al (2006) identificaron en La Comarca Lagunera los siguientes órdenes: *xerosoles*, *litosoles* y *vertisoles*. En general son suelos calcáreos de origen sedimentario endurecidos en la capa superficial por la eluvacion de las sales.



**Figura 5.** Mapa de suelos de México. FUENTE: <http://www.semarnat.gob.mx>

### . 3.5. Localización del sitio experimental

La 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 6.** Ubicación del sitio experimental (lote 13) dentro del Campo Experimental de La Laguna) INIFAP-CELALA. FUENTE: <http://www.googleearth.com>



**Figura 7.** Ubicación del sitio experimental (lote 13) dentro del Campo Experimental de La Laguna) INIFAP-CELALA. FUENTE: <http://www.googleearth.com>

### 3.6. Suelo del sitio experimental

Previo al establecimiento del cultivo (8 de mayo de 2016) en el sitio experimental, se realizó un muestreo de caracterización (muestreo inicial) 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 la concentración final de nutrientes.



**Figura 8.** 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 4) 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, ( $0.52 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ), bajo contenido de materia orgánica (1.2%) y bajo en nitrógeno y fósforo disponibles, 22 y 13  $\text{mg kg}^{-1}$ , respectivamente. La concentración de Zn en el suelo fue de  $0.72 \text{ mg kg}^{-1}$  (moderadamente bajo).

**Cuadro 4.** 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		8.40
Conductividad eléctrica	$\text{dS m}^{-1}$	0.52
Materia orgánica	%	1.1
Nitrógeno nítrico	$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de suelo de $\text{N-NO}_3$	9.4
Nitrógeno amoniacal	$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de suelo de $\text{N-NH}_4$	12.7
Fósforo disponible	$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de suelo de P	12.9

Zinc ( $Zn^{2+}$ ) $mg \cdot kg^{-1}$ 

0.72

Antes del establecimiento del experimento, el terreno del sitio experimental fue sembrado con avena forrajera en el ciclo otoño-invierno 2015-2016; la avena se cultivó sin fertilizar, con la intención de bajar la concentración de nutrimentos y “blanquear” el suelo (Figuroa *et al.*, 2016).



**Figura 9.** Muestreo de suelo, previo al experimento.



**Figura 11.** Cultivo de avena en el Lote 13, previo a la siembra del experimento con el fin de blanquear el terreno.

### 3.7. Tratamientos

Los tratamientos consistieron en un testigo absoluto (T1, sin fertilizar). Los tratamientos dos al siete recibieron una fertilización de 250-80-00 kg ha<sup>-1</sup> de N y P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. El N se fraccionó en tres partes (15, 45 y 40%) en siembra, primer y segundo auxilio respectivamente. La fuente de la fertilización nitrogenada fue sulfato de amonio (NH<sub>4</sub>2SO<sub>4</sub> - 21%N, 24%S). El P se aplicó en su totalidad en el primer riego de auxilio con ácido fosfórico como fuente (52% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>).

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

Tratamiento	Productos Utilizados	Método de aplicación	Descripción
1	Testigo Absoluto		Sin Fertilizar
2	Nutrizinc – P (ZnSO <sub>4</sub> ) 34.5% Zn	2 Aplicaciones Foliares	Aplicación del producto al 0.5%, antes del 1er y 2do riego de auxilio
3	.Nutrizinc – P (ZnSO <sub>4</sub> ) 34.5% Zn	3 Aplicaciones Foliares	Aplicación del producto al 0.5%, antes del 1er y 2do riego de auxilio en etapa de floración
4	Nutrizinc – G P (ZnSO <sub>4</sub> ) 29% Zn	1 Aplicación al suelo ( <b>50 kg ha<sup>-1</sup></b> )	Aplicación al momento de la siembra
5	Nutrizinc – G P (ZnSO <sub>4</sub> ) 29% Zn	2 Aplicaciones al suelo ( <b>50 kg ha<sup>-1</sup></b> )	Aplicación al momento de la siembra y en etapa de floración
6	Zn – EDTA (4% Zn)	1 aplicación ( <b>1kg ha<sup>-1</sup></b> )	Aplicación al momento de la siembra

7	Zn – EDTA (4% Zn)	2 aplicaciones (1kg ha <sup>-1</sup> )	Aplicación al momento de la siembra y en etapa de floración
---	-------------------	-------------------------------------------	-------------------------------------------------------------

---

### 3.8. Diseño Experimental y análisis estadístico de datos

Los tratamientos fueron ubicados 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, generando un total de 24 parcelas experimentales.

Los datos se analizaron con el software estadístico InfoStat V® - Estudiantil. 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 ( $p < 0.05$ ).

### 3.9. Descripción de los productos utilizados en los programas de fertilización

#### 3.9.1. Nutrizinc – P® y Nutrizinc - G®

Suplementos nutricionales que aportan zinc (Zn) y azufre (S). Nutrizinc - P® esta formulado para aplicación en soluciones nutritivas y aspersiones foliares, Nutrizinc G®, esta formulado para aplicaciones foliares y en mezclas físicas solubles. Ambos productos son comercializados por GREENHOW®

**Cuadro 5.** Aporte nutrimental de Nutrizinc-P® y Nutrizinc-G®

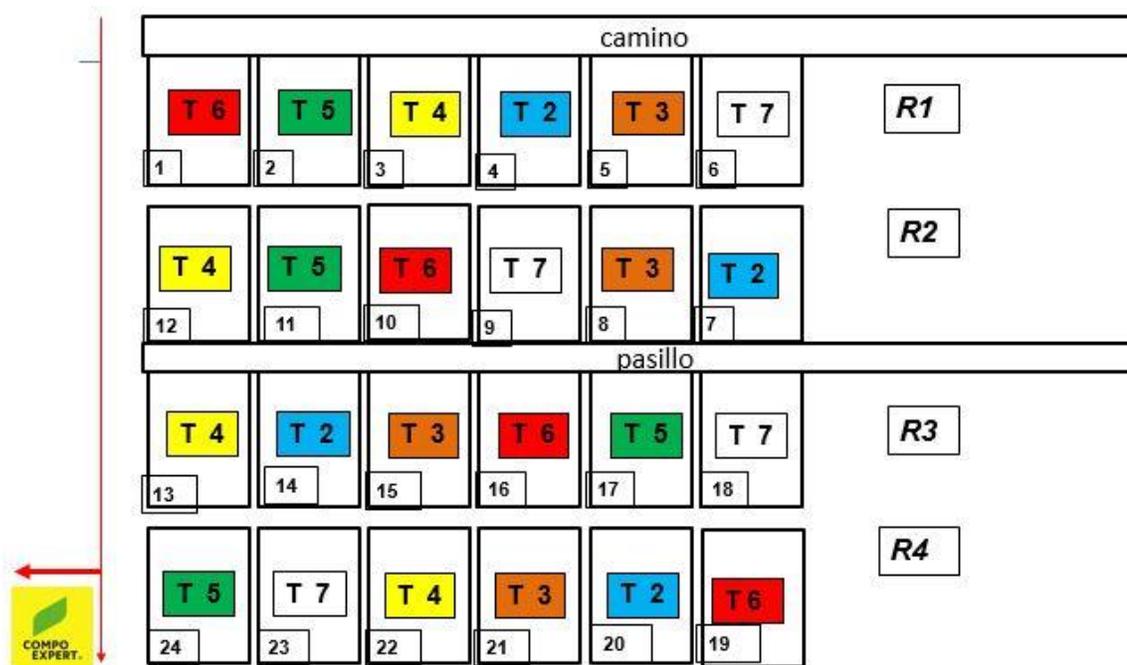
<b>Producto</b>	<b>Zn (%) Min.</b>	<b>S (%) Máx.</b>	<b>Fe (%) Máx.</b>	<b>pH</b>	<b>Solubilidad (20°C g)</b>
Nutrizinc-P®	34.2	17.0	0.3	6	45
Nutrizinc-G®	29.10	14.30	0.27	6	45

**FUENTE:** <http://www.greenhow.com.mx>

### 3.9.2. Zinc EDTA (4% Zn)

Los quelatos son compuestos muy estables, utilizados en agricultura como fuentes de elementos menores principalmente,  $Zn^{2+}$ , Fe y Cu. Los quelatos más utilizados comercialmente son EDTA, DTPA y EDDHA.

El producto utilizado en este experimento fue: Zn quelatado por EDTA (ácido etilen diamino tetraacético). El pH aproximado es 7 y se aplica en formula liquida compleja. Se utiliza para prevenir y corregir por vía foliar deficiencias en la asimilación del Zn.



**Figura 12.** Croquis de campo del sitio experimental. (Lote 13, INIFAP-CELALA).

### 3.10. Híbrido 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 semidentado, 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.

### 3.11. Tratamiento a la semilla

La semilla utilizada en todos los tratamientos fue tratada con el CRUSIER ®350 FS adherido a la semilla (350 g L<sup>-1</sup> de Tiametoxam 600) a una dosis de 500 cm<sup>3</sup> por cada 100 kg de semilla.



**Figura 13.** Preparación de la semilla con insecticida para el control de plagas del suelo un día antes de la siembra.

**Cuadro 6.** Descripción del producto para tratamiento a la semilla.

Producto	Composición	Formulación
Crusier® 350 FS	35% p/v Tiametoxam	Suspensión concentrada para tratamiento de semilla

FUENTE: <https://www.syngenta.es/productos/proteccion-cultivos/tratamiento-de-semillas/cruiser-350fs>

Previo a la aplicación, el producto se mezcló hasta tener una mezcla homogénea con la que se impregno 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.

### 3.12. Barbecho y Rastreo

El terreno se barbechó con arado vertical el 7 de abril y se dio una rastra cruzada y empareje el 8 de abril de 2016.



**Figura 14.** Primer paso de rastra después de incorporar los restos del cultivo (avena forrajera) utilizado para blanquear el sitio del experimento.

### 3.12.1. Trazado, preparación y establecimiento del experimento



**Figura 15.** Trazado de bordos horizontales y bordo para el tubo principal del riego por multicompuertas.

### 3.12.2. Surcado y Bordeo

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.



**Figura 16.** Trazado de borde perimetral y bordos entre parcelas previo al riego de aniego o de pre siembra.

### **3.12.3. Riego de aniego**

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.** Riego de aniego o pre siembra, 27 de abril de 2016.

#### **3.12.4. Siembra y Fertilización**

La siembra se llevó a cabo el 9 de mayo con una sembradora hidroneumática 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 plantas·ha<sup>-1</sup>.

La primera aplicación de los tratamientos de fertilización granular se aplicó al momento de la siembra (9 de mayo de 2016).

Los tratamientos dos al siete recibieron fertilización química convencional (250-80-00) recibieron el nitrógeno correspondiente en forma de sulfato de amonio ( $21 - 00 - 00 - 24\%S$ ) y  $90 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $P_2O_5$  utilizando ácido fosfórico (52% de  $P_2O_5$ ) como fuente de fósforo. La segunda y tercera aplicación de fertilizantes se aplicaron, el 10 y el 23 de junio, respectivamente.



**Figura 18.** Aplicación de tratamientos foliares (tratamiento dos y tres).



**Figura 19.** Siembra. En la imagen, Investigador y tesista verificando la distancia entre semilla y profundidad de la misma.

### 3.12.5. Riegos de auxilio

Se aplicó un riego de pre siembra (aniego) más seis riegos de auxilio con láminas promedio de 15 cm, el primer riego de auxilio se llevó a cabo a los días después de siembra 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 7.** Calendario de riegos (27 de abril al 8 de agosto de 2016).

<b>Riego</b>	<b>Fecha</b>	<b>Días entre riegos</b>
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

### 3.12.6. CONTROL DE MALEZA

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

### 3.12.7. CONTROL DE PLAGAS

Con la finalidad de mantener sano el cultivo con respecto a las plagas, se realizó un constante monitoreo 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, diabrótica (*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 Diabrótica (*Diabrotica undecimpunctata*).

Se realizó un estricto combate de plagas (Cuadro 8) con la finalidad de inducir la máxima expresión de los diferentes tratamientos de fertilización.

**Cuadro 8:** Manejo y control químico de plagas en el ciclo del experimento.

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

### 3.12.8 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.



**Figura 22.** Muestreo foliar en etapa de floración (emisión de estigmas).

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 concentración de nutrientes (análisis foliar).

Adicional a lo anterior, se tomaron altura de planta 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.

### **3.13. Cosecha**

El ciclo del cultivo comprendió de siembra (9 de mayo) hasta la cosecha para grano a madurez fisiológica. La cosecha de forraje verde 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%.



**Figura 23.** Cosecha de forraje verde, 29 de agosto de 2016.

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 m<sup>2</sup>.



**Figura 24.** Cosecha de grano en madurez fisiológica.

Se contaron las plantas cosechadas totales, contabilizando por separado las normales y 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.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Densidad de población

Al final del experimento la densidad final de plantas por hectárea (ha) fue estadísticamente igual en todos los tratamientos, con una variación de 81 a 93 mil plantas ha<sup>-1</sup> (Cuadro 9).

### 4.2 Rendimiento de forraje verde y seco

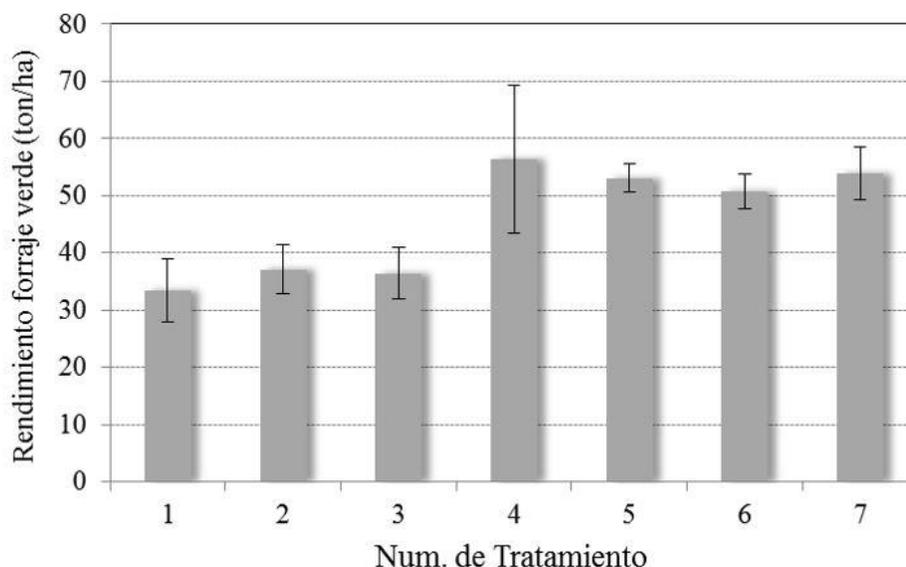
En rendimiento de forraje verde, seco, los tratamientos con fertilización de Zn<sup>2+</sup> al suelo tuvieron mayor rendimiento (de 16.8 a 18.6 ton ha<sup>-1</sup> de materia seca), en comparación a la aplicación foliar, que tuvo un rendimiento entre 12.0 y 12.3 ton ha<sup>-1</sup>, o la aplicación al suelo con un rendimiento de 11.0 ton ha<sup>-1</sup>.

El rendimiento de forraje seco se obtuvo multiplicando el rendimiento de forraje verde por el porcentaje de humedad ajustado al 35%, que guarda una estrecha relación con el rendimiento de forraje verde.

**Cuadro 9.** Densidad de plantas, rendimiento de forraje verde y seco.

No. Trat	Tratamiento	Densidad de plantas	Rendimiento forraje verde (t ha <sup>-1</sup> )	Rendimiento materia seca (t ha <sup>-1</sup> )	Altura final de planta
1	Testigo	93 133 ns	33.5 b	11.0 b	1.91 c
2	Dos aplicaciones ZnSO <sub>4</sub> (F)	84 293 ns	37.2 b	12.3 b	2.24 c
	Tres aplicaciones ZnSO <sub>4</sub> (F)	81 003 ns	36.4 b	12.0 b	2.35 bc
3	Una aplicación ZnSO <sub>4</sub> (S)	85 938 ns	56.5 a	18.6 a	2.58 ab
4	Dos aplicaciones ZnSO <sub>4</sub> (S)	89 844 ns	53.0 a	17.5 a	2.70 a
5	Una aplicación Zn-EDTA (S)	86 965 ns	50.8 a	16.8 a	2.53 ab
6	Dos aplicaciones Zn-EDTA (S)	85 938 ns	53.9 a	17.8 a	2.69 a
7					

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



**Figura 25.** Grafica de Rendimiento en forraje verde.

Las fuentes de Zn obtuvieron resultados similares al obtener los mejores rendimientos al aplicar fuentes de Zn al suelo. Ruffo *et al.*, (2015)

Los rendimientos en dicho experimento aumentaron de 10 540 kg ha<sup>-1</sup> sin aplicaciones de Zn a 11 530 kg ha<sup>-1</sup> con 11.21 kg Zn ha<sup>-1</sup> aplicados en mezcla física.

La razón para una eficiencia agronómica de los fertilizantes complejos comparados con las mezclas físicas y quelatos ya que la disponibilidad del Zn es mayor con los fertilizantes complejos debido a la mayor cantidad de gránulos con Zn en contacto con el suelo (Ruffo *et al.*, 2015),

Rendimientos de 13.2 ton ha<sup>-1</sup> de forraje de maíz (MS) de aplicación de 24 kg ha<sup>-1</sup> de sulfato de Zn (22.5% de Zn), lo que representó un 20.5% de incremento sobre las parcelas sin fertilización con Zn. Harris *et al.* (2007)

En evaluación de dosis de 0 a 50 mg kg<sup>-1</sup> de Zn al suelo (con ZnSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O, 22% Zn); el rendimiento más alto se obtuvo con 5 mg kg<sup>-1</sup> (cerca de 60 ton ha<sup>-1</sup> de forraje verde), lo que representó un aumento del 32% sobre el testigo sin Zn. Drissi et al. (2015)

La aplicación foliar de Zn, dosis de 0 a 1.5 kg ha<sup>-1</sup> de Zn (de 0 a 0.375% de Zn, fuente: oxy-sulfato de Zn, 45% ZnO + 5% ZnSO<sub>4</sub>); resultó incrementos hasta de 27% de rendimiento de maíz grano con la dosis de 1.0 kg ha<sup>-1</sup>, con respecto al tratamiento sin Zn. Potarzycki y Grzebisz (2009)

#### **4.3. Altura de mazorca y rendimiento de grano**

La altura de la mazorca varió de 1.14 a 1.36 m en los tratamientos con Zn, con el valor más alto en las parcelas con dos aplicaciones de ZnSO<sub>4</sub> al suelo. No hubo diferencia significativa en el porcentaje de plantas con mazorca ni en el factor de desgrane (peso del grano / peso de la mazorca) fue estadísticamente igual en todos los tratamientos con Zn (Cuadro 10).

El rendimiento de grano varió de 4.9 a 6.1 ton ha<sup>-1</sup> en las parcelas con aplicación de Zn al suelo; este valor fue similar al tratamiento 2, con dos aplicaciones foliares de Zn y superior al testigo y al tratamiento con tres aplicaciones foliares (Cuadro 10).

**Cuadro 10.** Rendimiento de grano en madurez fisiológica y altura de mazorca

Tratamiento	Rendimiento de grano	Altura de Mazorca
Testigo	2 583 b	0.94 c
Dos aplicaciones ZnSO <sub>4</sub> (F)	4 682 ab	1.14 bc
Tres aplicaciones ZnSO <sub>4</sub> (F)	2 783 b	1.22 ab
Una aplicación ZnSO <sub>4</sub> (S)	6 134 a	1.27 ab
Dos aplicaciones ZnSO <sub>4</sub> (S)	5 900 a	1.36 a
Una aplicación Zn-EDTA (S)	4 916 a	1.27 ab
Dos aplicaciones Zn- EDTA (S)	5 736 a	1.30 ab

#### 4.4. Análisis Foliar

Los resultados del análisis foliar de las muestras tomadas en la etapa de floración se muestran en el Cuadro 11. Puede observarse que no hubo diferencia significativa en P, K, Mg y Fe. El contenido de N fue similar en todos los tratamientos que recibieron Zn (1.98 a 2.12%), los cuales fueron superiores al testigo.

La mayor concentración de Cu y Mn en todos los tratamientos de Zn puede deberse a que los fertilizantes fosforados contienen cantidad significativa de éstos y otros elementos traza (Molina et al. 2009). En esta etapa, la concentración de Zn en los tratamientos de Zn al suelo (promedio de 34.8 mg

kg<sup>-1</sup>) fue 30% mayor que el testigo, aunque la diferencia no fue estadísticamente significativa.

La aplicación foliar de Zn tuvo una mayor concentración en las hojas en esta etapa de floración, llegando a 167.7 mg kg<sup>-1</sup> con dos aplicaciones. El rango de suficiencia de Zn en maíz es de 20 – 70 mg kg<sup>-1</sup> (Campbell, 2000), por lo que todos los tratamientos, incluyendo el testigo, estuvieron dentro de este rango.

Tratamiento	N	P	K	Mg	Fe	Cu	Mn	Zn
	----- % -----			----- mg kg <sup>-1</sup> -----				
	-			-				
Testigo	1.55 b	0.21 ns	2.02 ns	0.18 ns	205 ns	3.55 b	29.2 b	26.6 c
2 aplicaciones, ZnSO <sub>4</sub> (f)	2.12 a	0.21	2.42	0.21	163	7.26 a	88.4 a	57.1b
3 aplicaciones, ZnSO <sub>4</sub> (f)	2.01 a	0.21	2.75	0.22	158	6.65 a	104.0 a	167.7 a
1 aplicación, ZnSO <sub>4</sub> (s)	1.98 a	0.21	2.54	0.24	168	7.54 a	86.5 a	32.7 bc
2 aplicaciones, ZnSO <sub>4</sub> (s)	2.09 a	0.20	2.29	0.22	181	7.76 a	79.0 a	31.6 bc
1 aplicación, Zn-EDTA (s)	2.05 a	0.24	2.41	0.22	203	6.82 a	93.6 a	36.6 bc
2 aplicaciones, Zn-EDTA (s)	2.02 a	0.21	2.45	0.22	175	7.15 a	103.0 a	38.3 bc

## 5. Conclusiones

En función de los resultados obtenidos Se concluye que;

El maíz responde a la fertilización con  $Zn^{2+}$  ya sea aplicado al suelo o al follaje.

La fertilización con  $Zn^{2+}$  puede incrementar el rendimiento de forraje, materia seca y grano en maíz forrajero.

La aplicación de Zn, independientemente de la fuente ( $ZnSO_4$  o quelato de Zn), o forma de aplicación (foliar o al suelo), tuvieron rendimiento de forraje verde y materia seca mayores.

## 6. Recomendaciones

Es importante realizar análisis de suelo y considerar la fertilización con  $Zn^{2+}$  cuando la concentración sea menor de 0.8 a 1.3  $mg\ kg^{-1}$  (en extracto de DTPA). (Figuerola *et al.*, 2016).

Se sugiere la aplicación de sulfato de ( $ZnSO_4$ ) en al menos dos aplicaciones, durante la etapa vegetativa del cultivo a una dosis de 0.5% Zn o 50  $kg\ ha^{-1}$  del mismo aplicado al momento de la siembra.

## LITERATURA CITADA

Butzen S. (2018). Zinc Deficiencies and Fertilization in Corn Production. Noviembre 3, 2018, de PIONEER Seeds. CORTEVCA Agrociencias. Sitio web: <https://www.pioneer.com/home/site/us/agronomy/zinc-deficiencies-fertilization-corn/>

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 D. G., Barrientos J. L., González G & Salazar E. (2006). Rendimiento del Maíz Forrajero en Respuesta a Fertilización Nitrogenada y Densidad de Población. Revista Fitotecnia Mexicana, Vol 29, 97-101.

Drissi S., Ait Houssa A., Bamouh A & Benbella M. (2017). Response of Corn Silage (*Zea Mays* L.) to Zinc Fertilization on a Sandy Soil under field and Outdoor Container Conditions. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, Vol 16, 145-153.

Ehsanullah, Tariq A., Randhawa M., Anjum S A. & Nadeem M. (2015). Exploring the Role of Zinc in Maize (*Zea Mays*) Through Soil and Foliar Application. Universal Journal of Agricultural Research, Vol 3 (3), 69-75.

Faz R. (2003). Producción de Forraje con Maíces de Ciclo Corto con tres Riegos de Auxilio para Ahorrar Agua. Tecnología Transferida. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Matamoros, Coahuila.

Ferraris G. N., Ponsa J. C. & Couretot L. A. (2014). Efecto de la Fertilización Foliar sobre la Recuperación de un Maíz afectado por Heladas. Julio 22, 2018, de [www.fertilizando.com](http://www.fertilizando.com) Fertilizando Sitio web: <http://www.fertilizando.com/articulos/Efecto%20Fertilizacion%20Foliar%20Maiz%20Afectado%20Heladas.asp>

Figuroa U., Faz R. & Cueto J.A. (2000). Maíz Forrajero 8 Uso eficiente de estiércol como fertilizante orgánico en maíz forrajero. Noviembre 26, 2018, de Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias Sitio web: [https://www.researchgate.net/publication/265893199\\_Maiz\\_Forrajero\\_8\\_Uso\\_eficiente\\_de\\_estiercol\\_como\\_fertilizante\\_organico\\_en\\_maiz\\_forrajero](https://www.researchgate.net/publication/265893199_Maiz_Forrajero_8_Uso_eficiente_de_estiercol_como_fertilizante_organico_en_maiz_forrajero)

Figuroa U., Núñez G., Reta J. G. & Flores H. (2015). Balance regional de nitrógeno en el sistema de producción leche-forraje de la Comarca Lagunera, México. Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias, Vol 4, 377-392.

González Fernando. (2013). Contenido Nutricional del Forraje de Maíz. INIFAP-CIMMYT. Noviembre 28, 2018, de 1er Taller Nacional de Maíz Forrajero. Guanajuato, México Sitio web: <https://es.slideshare.net/CIMMYT/taller-forraje2013-fernandogonzalez-inifap>

Hansch R & Mendel R R. (2009). Physiological Functions of Mineral Micronutrients (Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Mo, B, Cl). *Current Opinion in Plant Biology*, Vol 12, 259-266.

Heinrichs J. & Roth G. W. (2001). Corn Silage Production and Management. Noviembre 25, 2018. De the Pennsylvania State University Extension Service  
Sitio web: <https://extension.psu.edu/corn-silage-production-and-management>

Jurado P., Lara C. R. & Saucedo R. (2014). Paquete Tecnológico para la Producción de Maíz Forrajero en Chihuahua. En Paquetes Tecnológicos 2014. INIFAP (3-5). Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional Norte-Centro. Sitio Experimental La Campana-Madera. Aldama Chihuahua México: ISBN: 9+78-607-37-0276-8.

Pereira S., Fernández B., Lorenzana R., Barreal M. & Flores G. (2015). Consejos para un buen ensilado del maíz: el momento de corte. Noviembre 27, 2018, de Campo Galego Sitio web: <http://www.campogalego.com/es/leche/consejos-para-un-buen-ensilado-del-maiz-el-momento-de-corte/>

Nielsen F. (2012). History of Zinc in Agriculture. Noviembre 27, 2018, de American Society for Nutrition. Adv. Nutr. Sitio web: <https://nutrition.org/publications/advandces-in-nutrition/>

Núñez G., Figueroa U., Faz R., Reta G., Nava U. & Castro M. (2013). Producción de Maíz Forrajero. Noviembre 25, 2018., de Instituto para la Innovación Tecnológica en Agricultura. S. C. (INTAGRI) Sitio web: <https://www.intagri.com/cursos/INIFAP>

Smith Darrel. (2018). (Ed). Don't Let Zinc Sink Yield. Octubre 3, 2018, de Farm Journal, Inc. Sitio web: <https://www.agweb.com/article/dont-let-zinc-sink-yield-naa-darrell-smith/>

SIAP. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2018). Concentrado Nacional de Producción Pecuaria. Agosto 23, 2018, de Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural y Pesca (SAGARPA) Sitio web: <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-pecuaria>

Ruffo M., Olson R. & Daverede I. (2016). Maize Yield Response to Zn Sources and Effectiveness of Diagnostic Indicators. Communications in Soil Science and Plant Analysis, Vol 2, 137-141.