



“Por un Desarrollo Agrario
Integral y Sostenible”

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

Trabajo de Graduación

**Evaluación de las deficiencias tempranas de nitrógeno
en maíz (*Zea mays* L.), y su relación con los
contenidos de clorofila por influencia de dosis de
fertilización nitrogenada, Yalagüina, Nicaragua, 2017**

AUTORA

Br. Césil Karelia Martínez Juárez

ASESORES

**Ing. MSc. Leonardo José García Centeno
Ing. MSc. Reynaldo Bismarck Mendoza**

Managua, Nicaragua

Noviembre, 2018



“Por un Desarrollo Agrario
Integral y Sostenible”

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

Trabajo de Graduación

Evaluación de las deficiencias tempranas de nitrógeno en maíz (*Zea mays* L.), y su relación con los contenidos de clorofila por influencia de dosis de fertilización nitrogenada, Yalagüina, Nicaragua, 2017

AUTORA

Br. Césil Karelia Martínez Juárez

Presentado a la consideración del honorable tribunal examinador como requisito final para optar al título de Ingeniero Agrónomo.

Managua, Nicaragua

Noviembre, 2018

DEDICATORIA

Primero que todo a **Dios**, por haberme dado la vida y la voluntad para continuar día a día durante estos años de mi carrera profesional.

A mis padres **Bernardo Martínez Salgado** y **Josefina del Carmen Juárez Ruiz** porque gracias a sus esfuerzos, dedicación y sacrificio he alcanzado uno de mis más grandes sueños en mi vida, la cual contribuye la herencia más valiosa que pudiera recibir y con la promesa de seguir siempre adelante.

A mis hermanos **Bernardo Alexander**, **María Alejandra** y **Diego Alejandro Martínez Juárez** por ayudarme de una u otra manera durante mi formación profesional.

A mis abuelos **Leoncio Juárez**, **Agustina Ruiz** y a mi bisabuela **María Ruíz** (q.e.p.d.) por darme siempre cariño, palabras de aliento y depositar toda su confianza en mí.

A mi novio **Ángel de Jesús Martínez Fornos** por brindarme su apoyo, toda su comprensión, confianza y amistad, mismas que fue de gran importancia para mí.

A todos ellos por estar en este trayecto de mi vida y compartir conmigo el sueño de obtener el título de Ingeniero Agrónomo.

Br. Césil Karelia Martínez Juárez

AGRADECIMIENTO

Primeramente, a **Dios** por darme fuerza, sabiduría y motivación para culminar mi carrera.

Al programa **CRS (Catholic Relief Services)**, por financiar mí trabajo de investigación.

Al **Ing. MSc. Leonardo García Centeno** e **Ing. MSc. Bismarck Mendoza** por brindarme su apoyo, confianza y asesoramiento durante el proceso de investigación.

A la **UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA** y en particular a la **FACULTAD DE AGRONOMÍA** por haberme proporcionado los medios necesarios para llevar a cabo mi trabajo de investigación.

A mis **profesores(as)** que me regalaron una buena formación a través de sus conocimientos y me brindaron su apoyo durante esta etapa académica de mi vida.

Cariñosamente a mis compañeros **Joan Karol Aguirre Valdivia** y **Cristhel Sugey Vargas Gutiérrez** por haberme apoyado durante todo el transcurso de mi trabajo de investigación.

Cariñosamente a mis compañeras **Tatiana Eunice Rivas** y **Alexa Espinoza Urbina** que de una u otra manera en todo el transcurso de mi carrera contribuyeron a este gran logro.

A mi compañero **Kevin Jamil Mayorga López** por haberme brindado su amistad y a la vez haberme apoyado en la redacción de mi tesis.

Cariñosamente al **Ing. MSc. Marvin Fornos Reyes** por brindarme su apoyo en todo momento.

Al **Ing. Víctor Monzón** por haberme brindado su ayuda y conocimiento durante la etapa de redacción de mi tesis.

Br. Césil Karelia Martínez Juárez

CONTENIDO

| Sección | Página |
|---|--------|
| ÍNDICE DE CUADROS | i |
| ÍNDICE DE FIGURAS | ii |
| ÍNDICE DE ANEXOS | iii |
| RESUMEN | iv |
| ABSTRACT | v |
| I. INTRODUCCIÓN | 1 |
| II. OBJETIVOS | 3 |
| 2.1 Objetivo general | 3 |
| 2.2 Objetivos específicos | 3 |
| III. MATERIALES Y MÉTODOS | 4 |
| 3.1 Descripción del sitio del experimento | 4 |
| 3.1.1 Ubicación del estudio | 4 |
| 3.1.2 Clima | 4 |
| 3.1.3 Características del suelo | 5 |
| 3.1.4 Socio-economía de la zona | 6 |
| 3.2 Descripción del clorofilometro Minolta SPAD-502plus | 6 |
| 3.3 Descripción del diseño experimental | 7 |
| 3.4 Manejo agronómico del ensayo | 8 |
| 3.4.1 Siembra | 8 |
| 3.4.2 Fertilización | 8 |
| 3.5 Variables de crecimiento | 8 |
| 3.5.1 Altura de planta (cm) | 9 |
| 3.5.2 Diámetro del tallo (mm) | 9 |
| 3.5.3 Número de hojas por planta | 9 |
| 3.5.4 Contenido relativo de clorofila | 9 |

| | |
|--|----|
| 3.6. Variables de rendimiento a la cosecha | 9 |
| 3.6.1 Rendimiento de la biomasa seca (kg ha ⁻¹) | 10 |
| 3.6.2 Porcentaje de nitrógeno en la biomasa | 10 |
| 3.6.3 Rendimiento del grano (kg ha ⁻¹) | 10 |
| 3.6.4 Porcentaje de nitrógeno en el grano | 10 |
| 3.6.5 Análisis de relación entre biomasa y clorofila | 11 |
| 3.7 Análisis Estadístico | 11 |
| 3.8 Características de la variedad | 11 |
| IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 12 |
| 4.1 Altura de la planta (cm) | 12 |
| 4.2 Diámetro del tallo (mm) | 13 |
| 4.3 Número de hojas por planta | 14 |
| 4.4 Contenido relativo de clorofila | 14 |
| 4.4.1 Nitrógeno foliar | 16 |
| 4.4.2 Contenido de clorofila y nitrógeno en las hojas | 17 |
| 4.5 Rendimiento de la biomasa seca (kg ha ⁻¹) | 19 |
| 4.6 Nitrógeno en la biomasa al momento de la cosecha (%) y kg ha ⁻¹ | 21 |
| 4.7 Rendimiento del grano (kg ha ⁻¹) | 23 |
| 4.8 Nitrógeno en el grano (%) y kg ha ⁻¹ | 24 |
| V. CONCLUSIONES | 26 |
| VI. RECOMENDACIONES | 27 |
| VII. LITERATURA CITADA | 28 |
| VIII. ANEXOS | 34 |

ÍNDICE DE CUADROS

| Cuadro | Página |
|---|---------------|
| 1. Análisis químico del suelo de la parcela experimental El Aguacate, Yalagüina-Madriz 2017. | 5 |
| 2. Especificaciones del clorofilometro Minolta SPAD-502plus | 7 |
| 3. Descripción de los tratamientos en el área experimental, Yalagüina-Madriz 2017. | 7 |
| 4. Dosis y cantidades de fertilizantes nitrogenados en el área experimental, Yalagüina- Madriz 2017. | 8 |
| 5. Descripción de la variedad utilizada en el ensayo ubicado en Yalagüina-Madriz 2017. | 11 |
| 6. Altura de planta (cm) en función de la fertilización nitrogenada, Yalagüina- Madriz 2017. | 12 |
| 7. Diámetro del tallo (mm) por efecto de los tratamientos según fechas de muestreo, Yalagüina- Madriz 2017. | 13 |
| 8. Número de hojas por planta por efecto de los tratamientos según fechas de muestreo, Yalagüina-Madriz 2017. | 14 |
| 9. Resultados sobre los contenidos relativos de clorofila en las hojas en función de tiempo para cada tratamiento. | 15 |
| 10. Contenido de nitrógeno en las hojas con diferentes niveles de aplicación de fertilizante sintético, Yalagüina-Madriz 2017. | 17 |
| 11. Correlación entre los valores relativos de clorofila y nitrógeno total (Nt), dosis nitrogenada (dn), rendimiento de grano(RG) y Rendimiento de biomasa (RB) en función del tiempo de muestreo. | 18 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| Figura | Página |
|--|---------------|
| 1. Ubicación del área experimental, Finca El Aguacate, Yalagüina, Madrid 2017. | 4 |
| 2. Comportamiento de la precipitación mensual (mm) y la temperatura °C durante el estudio, Fuente:(INETER 2017). | 5 |
| 3. Contenidos relativos de clorofila en las hojas en función de tiempo de muestreo, Yalagüina- Madrid 2017. | 16 |
| 4. Estimación de nitrógeno (%) en la planta a partir de las lecturas (SPAD-502plus). | 19 |
| 5. Rendimiento de biomasa seca (kg ha ⁻¹) según tratamiento, Yalagüina-Madrid 2017. | 20 |
| 6. Contenido de nitrógeno en biomasa (%) y kg ha ⁻¹ por efecto a las dosis de aplicación, Yalagüina- Madrid 2017. | 22 |
| 7. Rendimiento de grano de maíz (kg ha ⁻¹) según los tratamientos, Yalagüina- Madrid 2017. | 23 |
| 8. Contenido de nitrógeno en grano (%) y kg ha ⁻¹ según los tratamientos, Yalagüina- Madrid 2017. | 25 |

ÍNDICE DE ANEXOS

| Anexo | PÁGINA |
|--|--------|
| 1. Equipo investigador en plantación de maíz a los 35 dds | 34 |
| 2. Plano de campo | 34 |
| 3. Contenido de nitrógeno en las hojas con diferentes niveles de aplicación de fertilizante sintético. | 35 |
| 4. Clorofilometro Minolta SPAD-502plus | 35 |
| 5. Levantamiento de datos a los 84 días después de la siembra | 35 |
| 6. ANDEVA de rendimiento de biomasa seca en kg ha^{-1} | 36 |
| 7. ANDEVA de rendimiento del grano en kg ha^{-1} | 36 |
| 8. ANDEVA de porcentaje de nitrógeno en la biomasa a los 84 dds | 37 |
| 9. ANDEVA de porcentaje de nitrógeno en el grano a los 84 dds | 37 |
| 10. ANDEVA de nitrógeno total en el grano en kg ha^{-1} | 38 |
| 11. ANDEVA de nitrógeno total en la biomasa en kg ha^{-1} | 38 |

RESUMEN

El maíz es un cultivo importante para la seguridad alimentaria y su fertilización nitrogenada puede afectar los rendimientos o causar daños ambientales. Con el propósito de evaluar las deficiencias tempranas de nitrógeno en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) y relacionarlas con las lecturas de clorofila por influencia de dosis de fertilización nitrogenada, fue establecido un ensayo experimental en Yalagüina-Madriz, Nicaragua. Donde se aplicaron cuatro niveles de fertilización nitrogenada (0, 75, 100 y 125 kg N ha⁻¹) para identificar su efecto sobre; rendimiento de grano, biomasa, contenidos de nitrógeno en la biomasa seca y grano, y su relación con las lecturas de clorofilómetro SPAD 502 plus. Como resultados, la relación entre las lecturas SPAD y las variables; dosis nitrogenada, nitrógeno total, rendimiento de grano y biomasa seca, indican que a mayor dosis de nitrógeno, mayores valores en lecturas SPAD, y a mayor contenido de nitrógeno total, mayores rendimientos y biomasa. También, el rendimiento incrementó significativamente a mayores dosis de aplicación de nitrógeno, resultados que corresponden al incremento de las lecturas de clorofila en las hojas. Y los tiempos de medición más apropiadas, fueron a partir de los 48 hasta los 79 días después de siembra, indicando que este periodo se encontró deficiencias de nitrógeno en la planta.

Palabras clave: clorofilómetro, rendimiento, tratamiento, bloques

ABSTRACT

Corn is an important crop for food security and its nitrogen fertilization can affect yields or cause environmental damage. In order to evaluate the early nitrogen deficiencies in the corn crop (*Zea mays* L.) and relate them to the chlorophyll readings due to the influence of nitrogenous fertilization doses, an experimental trial was established in Yalagüina-Madriz, Nicaragua. Where were applied four levels of nitrogen fertilization (0, 75, 100 and 125 kg N ha⁻¹) to identify its effect on; grain yield, biomass, nitrogen content in dry biomass and grain, and its relationship with SPAD 502 chlorophyll meter readings. As a results, the relationship between the SPAD readings and the variables; nitrogen dose, total nitrogen, grain yield and dry biomass, indicate that at higher nitrogen dose, higher values in SPAD readings, and at higher total nitrogen content, higher yields and biomass. Also, the yield increased significantly at higher doses of nitrogen application, results that correspond to the increase in the readings of chlorophyll in the leaves. And the most appropriate measurement times were from 48 to 79 days after sowing, indicating that this period was found nitrogen deficiencies in the plant.

Keywords: chlorophyll meter, performance, treatment, blocks

I. INTRODUCCIÓN

En Nicaragua la producción de maíz se encuentra en manos de pequeños y medianos productores. El destino de esta producción es principalmente para consumo humano, animales y formulación de derivados. La producción de este rubro se da prácticamente en todo el territorio nacional (INTA, 2010).

Los requerimientos de nitrógeno del cultivo de maíz son fundamentales ya que es el macronutriente encargado del crecimiento vegetativo lo que hace necesario un adecuado diagnóstico de su disponibilidad en el suelo una forma de disminuir las pérdidas de nitrógeno, es aumentar la eficiencia de uso de nitrógeno, es decir, la proporción de nitrógeno aplicado recuperado por el cultivo con lo que se contribuye a incrementar el beneficio económico (Rodríguez *et al*; 2014).

Una de las herramientas disponibles para conocer el nivel de nitrógeno de las plantas es el análisis de tejido (análisis foliar) el que determina el contenido de nitrógeno total. Si bien esta técnica provee resultados certeros, su mayor dificultad radica en la demora en la obtención de los resultados de análisis de laboratorio, lo que muchas veces lo hace poco eficiente para cultivos anuales.

Existen métodos alternativos al análisis foliar para diagnosticar el contenido de nitrógeno en el cultivo de maíz, que se basan en mediciones sobre el tejido vegetal. Entre estos el medidor de clorofila Minolta (SPAD-502 plus) diseñado por Minolta Co., Ltd. Es un equipo portátil, que determina el verdor de las hojas (Clorofila) y cuyas lecturas tienen una alta correlación con la concentración de nitrógeno en la planta (Rozas y Echeverría, 1998; Zebarth *et al*; 2002). Al igual que permite el monitoreo del status de nitrógeno durante el ciclo del cultivo a través de la cuantificación no destructiva del verdor de la hoja o índice de verdor (IV); siendo este una herramienta sencilla y portátil de diagnóstico de nitrógeno.

Este dispositivo realiza lecturas instantáneas y no destructivas en la planta basadas en la cuantificación de la intensidad de luz (longitud de onda máxima: aproximadamente 650 nanómetros: LED rojo) absorbida por la muestra de tejido. Un segundo pico (longitud de onda máxima: aproximadamente 940 nanómetro: LED infrarrojo) se emite simultáneamente

con LED rojo para compensar el espesor de la hoja (Minolta Camera Co. Ltd., 1989). El clorofilometro Minolta SPAD-502 plus es entonces una herramienta que permite medir la cantidad de luz absorbida por este pigmento en las hojas y, por ende, entrega una aproximación cercana de la concentración de nitrógeno en la planta. La medición indica un valor que corresponde a un índice dado por el verdor de las hojas y la luz que absorben (Díaz, 2002).

El propósito de esta investigación es evaluar el comportamiento de la variedad SEMSA “TEPEYAC” por efecto de dosis de nitrógeno y diagnosticar potenciales deficiencias utilizando el clorofilometro Minolta SPAD-502plus a través de la estimación del contenido de clorofila.

II. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Evaluar la presencia de deficiencias tempranas de nitrógeno en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) y relacionarlas con las lecturas de clorofila por influencia de dosis de fertilización nitrogenada.

2.2 Objetivos específicos

Identificar la relación entre los contenidos de clorofila en las hojas y las variables de rendimiento en función de la fertilización nitrogenada

Evaluar el comportamiento de las variables de crecimiento y rendimiento en función de la fertilización nitrogenada

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Descripción del sitio del experimento

3.1.1 Ubicación del estudio

El trabajo se realizó en la época de primavera del año 2017, en la finca El Aguacate, propiedad del productor José Tomás Cruz, está ubicada en la comunidad de San Antonio, municipio de Yalagüina, Madriz. La cabecera departamental se ubica a una altura de 694 msnm en las coordenadas 13°28'36.8" Latitud Norte y 86°31'39.1" Longitud Oeste.



Figura 1. Ubicación del área experimental, Finca El Aguacate, Yalagüina, Madriz 2017.

3.1.2 Clima

En la zona donde se realizó el ensayo se caracteriza por tener un clima de sabana tropical de altura (seco), la precipitación pluvial oscila entre 1 000 mm y 1 200 mm, caracterizado por una buena distribución durante todo el año, la temperatura anual oscila entre los 23° C y 24° C.

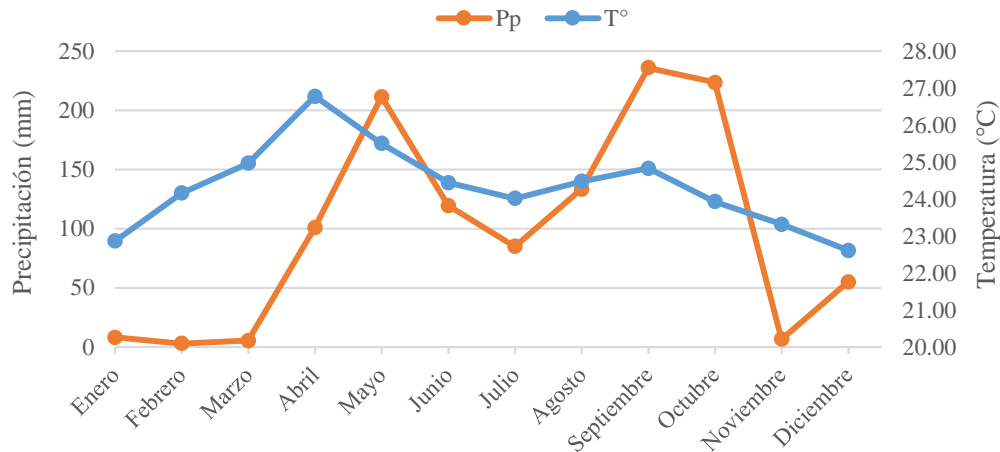


Figura 2. Comportamiento de la precipitación mensual (mm) y la temperatura °C durante el estudio, Fuente:(INETER 2017).

3.1.3 Características del suelo

Según el INTA (2006) los suelos de Yalagüina se clasifican dentro del orden Entisol, son suelos minerales de desarrollo reciente, sus horizontes no presentan aún características bien definidas de suelos (horizontes alterados, en proceso de meteorización), aunque hay casos en que se encuentra un horizonte de poco espesor que indica un grado de evolución muy incipiente; natural, moderadamente profundos a muy superficiales. La textura presente es arcillosa. Las propiedades químicas del suelo se describen en el siguiente cuadro:

Cuadro 1. Análisis químico del suelo de la parcela experimental El Aguacate. Yalagüina, Matriz 2017.

| | | | | | Bases | | | | | | Relaciones Catiónicas | | | |
|------------------|------|------|---------|-------|------------------|------|-----|-----|------|------|-----------------------|------|------|-----------|
| pH | MO | N | P-disp. | CE | K | Ca | Mg | Na | CIC | SB | Ca/Mg | Mg/K | Ca/K | (Ca+Mg)/K |
| H ₂ O | % | | ppm | µS/cm | meq / 100 g de s | | | | | % | | | | |
| 7.22 | 2.51 | 0.12 | 28.64 | 62.87 | 1.6 | 21.1 | 5.5 | 0.5 | 39.1 | 73.3 | 3.9 | 3.4 | 13.0 | 16.4 |

Fuente: CRS (2016)

3.1.4 Socio-economía de la zona

El 51% de las familias dependen de la producción agropecuaria para el auto consumo familiar, en la que destaca la producción de granos básicos (maíz, frijol, sorgo) un mínimo porcentaje de productores se dedican al cultivo de hortalizas (tomate, repollo), los que comercializan en Estelí, Somoto y Ocotal. El resto son asalariados, que emigran a otros municipios en busca de trabajo para su manutención. (INIFOM, 2017).

3.2 Descripción del clorofilometro Minolta SPAD-502plus

Es un medidor compacto, diseñado para mejorar la calidad y producción de los cultivos mediante la indicación de la cantidad de clorofila presente en las hojas de la planta. Al medir la clorofila o verdor en las hojas podemos determinar el fertilizante adicional necesario sin destruir el tejido.

La presencia de clorofila en las hojas de las plantas está estrechamente relacionado con las condiciones nutricionales de la planta. El contenido de clorofila se incrementa proporcionalmente a la cantidad de nitrógeno (un importante nutriente) presente en la hoja.

Ortega (2002), indica que las mediciones pueden ser alteradas por los factores genéticos, las variedades o híbridos que pueden tener por definición genética, distintos tonos de verdes. Factores ambientales como: temperatura, humedad, luminosidad y tipo de suelo influyen en el verdor de las hojas. Los factores de estrés como: estrés hídrico, presencia de enfermedades y deficiencias nutricionales pueden afectar también los valores SPAD.

El clorofilometro Minolta SPAD-502plus determina la cantidad relativa de clorofila (unidades SPAD de Minolta) presente mediante la medición de la absorción de la hoja en dos regiones de longitud de onda; en las regiones roja y cercanas a infrarroja por medio de la luz transmitida a través de la hoja en un rango de 650 a 940 nm. Utilizando estas dos transmisiones el medidor calcula el valor numérico SPAD que es proporcional a la cantidad de clorofila presente en la hoja y en consecuencia de nitrógeno.

Cuadro 2. Especificaciones del clorofilometro Minolta SPAD-502plus

| | |
|--------------------------|---|
| Objeto de medición | Hojas de los cultivos |
| Método de medida | Diferencia de densidad óptica de 2 longitudes de onda |
| Medición de áreas | 2 mm x 3 mm |
| Profundidad de inserción | 12 mm (con la posición del tapón de 0 a 6 mm) |
| Fuente de luz | 2 elementos LED |
| Pantalla | Panel LCD, muestra los valores de 4 dígitos,(los valores muestran el primer lugar decimal de medida y 2 números de dígitos de medidas. Gráfico de tendencia de los valores en la memoria también puede ser mostrado |
| Rango de pantalla | -9,9 A 199,9 unidades SPAD |
| Función memoria | La capacidad de memoria para un máximo de 30 valores: / Cálculo de la media de visualización de datos en la memoria también posible |
| Fuente de alimentación | 2 pilas alcalinas AA |

3.3 Descripción del diseño experimental

El experimento se realizó en la época de primera usando un arreglo unifactorial, con tres repeticiones en bloques completos al azar (BCA). Los tratamientos se distribuyeron en surcos espaciados a 0.7 m entre surco y 0.20 m entre planta; la distancia de los surcos fue de 4 m en cada parcela. El área de los bloques fue de 19 m de largo por 4 m de ancho que será igual a 76 m², siendo el área total del experimento de 266 m².

La variedad de maíz usada fue la SEMSA “TEPEYAC” los tratamientos se describen en el siguiente cuadro

Cuadro 3. Descripción de los tratamientos en el área experimental Yalaguina, Madriz 2017.

| Tratamientos | Dosis kg N ha ⁻¹ |
|--------------|-----------------------------|
| T0 | 0 |
| T1 | 75 |
| T2 | 100 |
| T3 | 125 |

3.4 Manejo agronómico del ensayo

3.4.1 Siembra

Se realizó el 26 de mayo de forma manual después del pase de arado, se utilizaron dos semillas por golpe cada 20 cm. La distancia entre surco fue de 70 cm para una densidad de aproximadamente 71 425 plantas ha⁻¹ para asegurar esta densidad de plantas a cosechar fue necesario poner entre seis y ocho semillas por metro lineal para después ralearlo.

3.4.2 Fertilización

Al momento de la siembra se realizó una fertilización básica donde se aplicó 50 kg ha⁻¹ de fósforo y potasio. La aplicación de nitrógeno se hizo de manera fraccionada, a la siembra se aplicó el 30% y a los 35 dds el 70%, donde se detalla en el cuadro 4 las cantidades y el tipo de fertilizante aplicado.

Cuadro 4. Dosis y cantidades de fertilizantes nitrogenados en el área experimental Yalaguina, Madriz 2017.

| Tratamientos | Dosis (kg ha ⁻¹) | | Fuente |
|--|------------------------------|-----------------|------------------------------|
| | Siembra (N+P+K) 30% N | 35 dds 70% N | |
| T ₀ = 0 kg N ha ⁻¹ | 0+50+50 | 0 | 18-46-0 + KCl 60% |
| T ₁ = 75 kg N ha ⁻¹ | 22.5+50+50 | 52.5 | 18-46-0 + Urea 46% + KCl 60% |
| T ₂ = 100 kg N ha ⁻¹ | 30+50+50 | 70 | 18-46-0 + Urea 46% + KCl 60% |
| T ₃ = 125 kg N ha ⁻¹ | 37.5+50+50 | 87.5 | 18-46-0 + Urea 46% + KCl 60% |

3.5 Variables de crecimiento

Durante el crecimiento del cultivo, a los 35 y a los 84 dds se muestrearon seis plantas al azar en cada replica. En ellas se evaluaron las siguientes variables:

3.5.1 Altura de planta (cm)

Se registró en dos momentos, a los 35 dds y luego a los 84 dds midiendo desde la base de la raíz hasta la base de la panoja.

3.5.2 Diámetro del tallo (mm)

Esta variable se registró mediante el uso de un vernier entre el primer y segundo entrenudo.

3.5.3 Número de hojas por planta

Se contabilizaron todas las hojas funcionales de la planta.

3.5.4 Contenido relativo de clorofila

La medición de esta variable se realizó a los 35, 48, 63 y 79 días después de la siembra haciendo uso del clorofilometro Minolta SPAD- 502plus que mide la concentración relativa de clorofila por medio de la luz transmitida a través de la hoja a 650 nm (longitud de onda fotosintéticamente activa) y 940 nm captando la luz transmitida y convirtiendo estos valores en lecturas SPAD.

El resultado de cada lectura es expresado en valores SPAD. El aparato contiene una lámina que se utiliza para la calibración antes de realizar las mediciones en el campo. La medición se realizó en la parte media de la hoja de maíz con solo insertarla en la cabeza de medición del aparato y presionarla, seguidamente estas hojas fueron extraídas del área experimental y se empacaron en bolsas kraft debidamente identificadas (bloque, réplica y tratamiento al que pertenecen) para ser llevadas al laboratorio de suelos y aguas de la UNA para la determinación del nitrógeno total.

3.6. Variables de rendimiento a la cosecha

A la cosecha (84 dds) se midieron las siguientes variables de rendimiento, tomando cuatro metros lineales por tratamiento.

3.6.1 Rendimiento de la biomasa seca (kg ha⁻¹)

De los cuatro metros lineales por cada tratamiento, cortaron las plantas para ser empacadas en sacos debidamente identificadas (bloque / replica que pertenecen) se le determinó el peso fresco a través de una balanza, posteriormente se le realizaron pequeños cortes (trocitos).

Se introdujo al horno una muestra de 500 g a una temperatura de 65°C por 72 horas, se registró el peso seco y por último el resultado se expresó en kg ha⁻¹ de biomasa seca producida.

3.6.2 Porcentaje de nitrógeno en la biomasa

Durante las mediciones de clorofila, se seleccionaron seis plantas al azar y se tomó una muestra de hojas por cada tratamiento las cuales fueron molidas (triturada) y empacadas en pequeñas bolsitas de plástico debidamente identificadas (bloque / replica y tratamiento que pertenecen).

Se llevaron al laboratorio de suelo y agua de la Universidad Nacional Agraria para realizar el análisis de nitrógeno total correspondiente del método semi-micro Kjeldhal y de esta manera, obtener el porcentaje de nitrógeno contenido en la biomasa. El resultado obtenido es expresado en porcentaje (%).

3.6.3 Rendimiento del grano (kg ha⁻¹)

Esta variable se calculó a nivel de tratamiento. Luego de cosechar las mazorcas, se procedió al secado natural (sol) hasta 14 % de humedad (Dole 400) para posteriormente desgranarla manualmente y el resultado expresarlo en kg ha⁻¹.

3.6.4 Porcentaje de nitrógeno en el grano

Del grano cosechado se tomó una muestra de 200 g para determinar la concentración de nitrógeno mediante el método semi-micro Kjeldhal.

3.6.5 Análisis de relación entre biomasa y clorofila

La relación entre el contenido de nitrógeno y clorofila, fue realizado a través de un análisis de regresión lineal, que utilizó los datos del contenido de nitrógeno encontrado en la biomasa con la lectura de clorofila generada por el aparato clorofilometro Minolta SPAP-502plus. También, estos datos se correlacionaron con las variables de rendimiento.

3.7 Análisis Estadístico

Los análisis de varianza (ANDEVA) y separaciones de medias Tukey (95%), para datos unifactoriales y correlaciones de Pearson entre clorofila y variables de rendimiento se utilizó el software InfoStat versión libre.

3.8 Características de la variedad

La variedad de maíz evaluada fue SEMSA TEPEYAC, fue desarrollada por el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) y Semillas Mejoradas S.A (SEMSA-Nicaragua).

Cuadro 5. Descripción de la variedad utilizada en el ensayo ubicado en Yalaguina, Madriz 2017.

| Variedad SEMSA TEPEYAC | Características |
|-------------------------------|---------------------------------|
| Días a flor femenina | 54 a 56 |
| Altura planta (cm) | 228 a 255 |
| Altura mazorca (cm) | 114 a 118 |
| Color de grano | Blanco |
| Tipo de grano | Semi dentado |
| Textura del grano | Semicristalino |
| Días a cosecha | 110 a 115 |
| Madurez relativa | Intermedia |
| Rendimiento comercial | 65 a 75 qq/mz |
| Cobertura de mazorca | Buena |
| Densidad poblacional | 37 a 43 mil ptas./mz |
| Ventaja sobresaliente | Alta calidad de proteína y zinc |
| Época de siembra | Primera, postrera y apante |

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Altura de la planta (cm)

La altura de planta es una característica fisiológica determinada por la elongación del tallo al acumular en su interior los nutrientes producidos durante la fotosíntesis y puede verse afectada por la acción conjunta de los cuatro factores fundamentales: luz, calor, humedad y nutrientes (Somarriba, 1998).

También es una característica varietal resultado del número de nudos y longitud de los entrenudos por el tipo de suelo y el manejo agronómico del cultivo (Reyes, 1990).

El (ANDEVA), indica que no hay diferencias significativas por efecto de las dosis de nitrógeno (Cuadro 6). Se puede observar que a los 35 y 84 dds las mayores alturas se obtuvieron con la dosis 125 kg N ha⁻¹ y las menores alturas con 0 kg N ha⁻¹. Estos resultados coinciden con los encontrados por Baca (1989), quienes evaluaron la variedad NB-6 y no encontraron diferencias significativas para la altura de planta.

Resultados similares con la variedad NB-12 reporta, Fuentes (1998), indicando que para la altura de planta no se encontraron diferencias significativas.

Blandón y Smith (2001), también indican que en su estudio con la variedad NB-6 con niveles de nitrógeno no se registró diferencias significativas.

Cuadro 6. Altura de planta (cm) en función de la fertilización nitrogenada. Yalagüina, Madriz 2017.

| Tratamiento kg N ha ⁻¹ | 35 dds | 84 dds |
|-----------------------------------|--------|--------|
| T0: 0 | 53.06 | 169.57 |
| T1: 75 | 55.28 | 178.83 |
| T2: 100 | 53.67 | 176.17 |
| T3: 125 | 58.44 | 184.87 |
| CV% | 14.27 | 8.13 |

dds: días después de la siembra; CV: coeficiente de variación

4.2 Diámetro del tallo (mm)

El diámetro del tallo es un parámetro de gran importancia en las plantaciones de maíz, ya que influye sobre el acame de los tallos cuando son afectados por fuertes vientos. Según Vázquez y Ruiz (1993), el grosor del tallo depende de la variedad, las condiciones ambientales y nutricionales del suelo. La resistencia que presenta la planta de maíz al acame depende en gran medida del diámetro del tallo, lo que es afirmado por Torres (1993), considerando que el diámetro del tallo tiende a disminuir cuando se aumenta la densidad de siembra, debido a la competencia entre las plantas, INTA (2001) afirma que la aplicación de nitrógeno es uno de los factores que influye en el diámetro del tallo.

Las altas densidades de siembra y la competencia por luz con las malezas se consideran factores que provocan una elongación de los tallos, entrenudos más largos y plantas más altas, reduciendo el grosor de los tallos y aumentando las posibilidades de acame de las plantas. Tallos delgados también es un síntoma de raquitismo por deficiencia nutricional del vegetal.

El (ANDEVA) indica que a los 35 dds hubo efecto significativo por efecto de la fertilización nitrogenada obteniéndose el mayor diámetro del tallo con la dosis de 125 kg de N ha⁻¹.

Estos resultados no concuerdan con los obtenidos por Blandón y Smith (2001), quienes registraron mayor diámetro con el nivel más bajo de aplicación nitrogenada.

Cuadro 7. Diámetro del tallo (mm) por efecto de los tratamientos según fechas de muestreo. Yalagüina, Madriz 2017.

| Tratamiento kg N ha⁻¹ | 35 dds | 84 dds |
|---|---------------|---------------|
| T0: 0 | 2.28 b | 1.61 |
| T1: 75 | 2.52 a b | 1.70 |
| T2: 100 | 2.53 a b | 1.72 |
| T3: 125 | 2.77 a | 1.88 |
| CV% | 5.74 | 6.40 |

dds: días después de la siembra, CV: Coeficiente de variación

4.3 Número de hojas por planta

Las hojas de la planta de maíz se forman durante los primeros 30 a 37 dds y se desarrollan antes que otros órganos superficiales como el tallo, las hojas se diferencian por tamaño, color y pilosidad, su número está influenciado por la densidad poblacional. Además, esta variación se encuentra relacionada con la variedad, la edad y las condiciones ambientales como luz y humedad (Somarriba, 1998).

A medida que la planta crece se pueden perder de tres a cinco hojas debido a la falta de nutrientes, engrosamiento del tallo, alargamiento de entrenudos y enfermedades foliares; a la vez que más hojas se exponen a la luz solar, la tasa de materia seca aumenta gradualmente (Somarriba, 1998). El número de hojas por planta puede ser desde 8 a 21, siendo lo más frecuente de 12 a 18, con un promedio de 14. El número de hojas depende del número de nudos del tallo, ya que de cada nudo emerge una hoja (Reyes, 1990).

El (ANDEVA) indica que no hay diferencias significativas entre cada tratamiento (Cuadro 8), a los 35 dds el número de hojas registradas fue de cinco a seis hojas y a los 84 dds fue de nueve hojas.

Cuadro 8. Número de hojas por planta por efecto de los tratamientos según fechas de muestreo. Yalagüina, Madriz 2017.

| Tratamiento kg N ha ⁻¹ | 35 dds | 84 dds |
|-----------------------------------|--------|--------|
| T0: 0 | 5 | 9 |
| T1: 75 | 6 | 9 |
| T2: 100 | 6 | 9 |
| T3: 125 | 6 | 9 |
| CV% | 6.85 | 6.04 |

dds: días después de la siembra; CV: Coeficiente de variación

4.4 Contenido relativo de clorofila

Según Somarriba (1998), el nitrógeno es necesario para la síntesis de clorofila, y juega un papel importante en el proceso de la fotosíntesis.

Salas *et al.*, (1998), de las diversas metodologías existentes para diagnosticar las necesidades o requerimientos de fertilización, la medición de la clorofila en las hojas, surge como una alternativa factible para la determinación de nitrógeno en la planta.

El ANDEVA (Cuadro 9), indicó que las diferencias en las dosis de fertilización nitrogenada, se evidenciaron a partir de los 48 dds, siendo altamente significativos para las mediciones realizadas a los 63 y 79 dds, observándose una tendencia a aumentar el valor SPAD con el incremento de la dosis (125 N kg ha⁻¹). Este comportamiento demuestra que el uso del clorofilometro como herramienta de diagnóstico es muy útil para realizar diagnósticos tempranos de nitrógeno, lo que coincide con trabajos realizados por Bwyer *et al.*; (1995); Rosas y Echeverría, (1998), quienes encontraron una buena correspondencia entre el verdor de las hojas, disponibilidad y concentración de nitrógeno en la planta con distintas dosis de nitrógeno (0, 35, 70, 140 y 210 kg N ha⁻¹).

A los 79 dds, en cuanto a las dosis de aplicación la planta presenta las mayores concentraciones de clorofila en las hojas, esto es debido a que en ese momento el cultivo se encuentra en una mayor actividad fisiológica, ya que durante la fotosíntesis se acumulan nutrientes que son transferidos a los granos durante el llenado de grano.

Estos resultados no concuerdan con los obtenidos por Blandón y Smith (2001), ya que ellos en su estudio no encontraron diferencias significativas.

Cuadro 9. Resultados sobre los contenidos relativos de clorofila en las hojas en función de tiempo para cada tratamiento.

| Tratamiento kg N ha⁻¹ | 35 dds | 48 dds | 63 dds | 79 dds |
|---|---------------|---------------|---------------|---------------|
| T ₀ : 0 | 36.43 | 34.60 b | 34.40 c | 38.80 c |
| T ₁ : 75 | 35.83 | 37.10 b | 41.07 ab | 43.70 b |
| T ₂ : 100 | 35.60 | 36.27 b | 38.50 b | 41.83 b c |
| T ₃ :125 | 37.93 | 40.60 a | 44.80 a | 51.70 a |
| CV % | 3.87 | 3.03 | 3.59 | 3.56 |

dds: días después de la siembra; CV: Coeficiente de variación

Los resultados en la figura 3 muestran la tendencia que existe de incrementar el valor relativo de clorofila en función de las dosis de nitrógeno aplicadas.

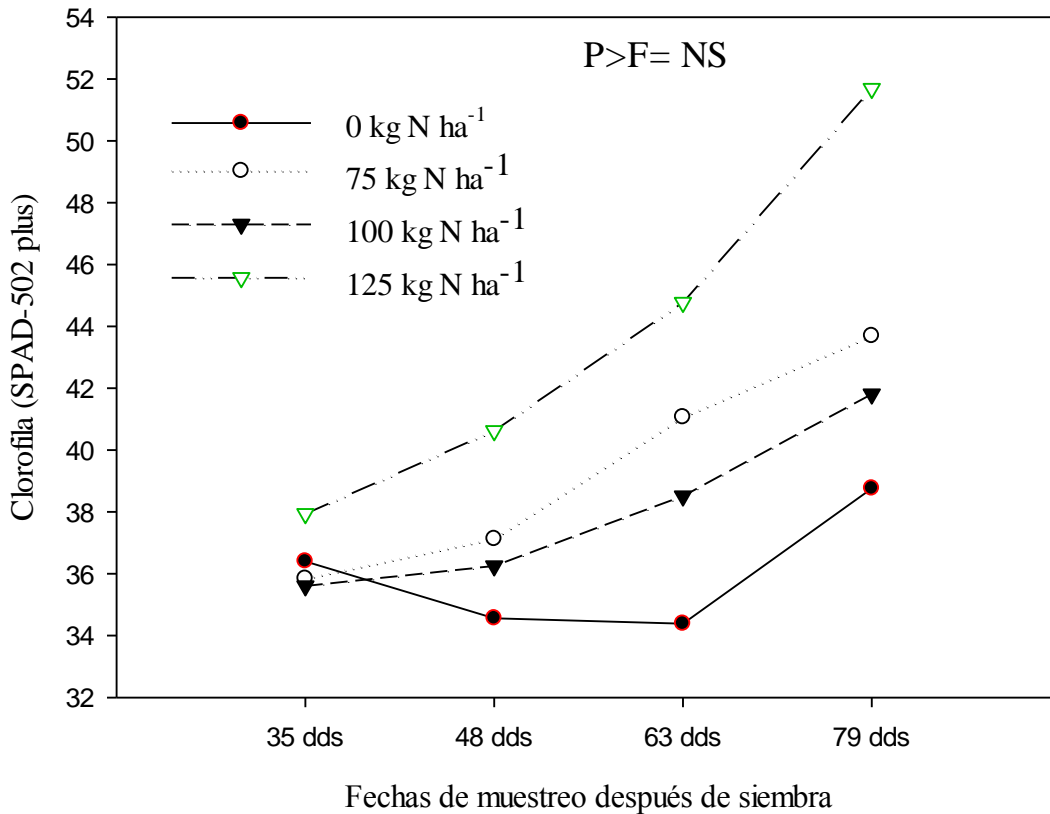


Figura 3. Contenidos relativos de clorofila en las hojas en función de tiempo de muestreo, Yalagüina- Madriz 2017.

4.4.1 Nitrógeno foliar

Según Kass (1998) el nitrógeno además de su papel con la formación de proteínas, es una parte integral de la clorofila, principal elemento que absorbe la energía lumínica, imprescindible en la fotosíntesis. Un suplemento adecuado de nitrógeno se asocia con una actividad fotosintética alta, crecimiento vegetativo vigoroso y un color verde oscuro de las plantas.

Los principales órganos para la realización de la fotosíntesis en la planta son las hojas, y la concentración de nutrientes en las mismas influyen en el crecimiento y rendimiento del cultivo (Barahona y Gago, 1996).

Los resultados (Cuadro 10) indican que no existen diferencias significativas entre tratamiento por fecha de muestreo. El mayor contenido de nitrógeno en las hojas se da en los primeros 60 dds y a partir de los 79 dds en cada uno de los tratamientos evaluados se observa una disminución de nitrógeno en las hojas, esto debido probablemente al efecto de dilución y al final a la translocación del nitrógeno acumulado en las hojas hacia la formación del grano.

Los resultados también mostraron que el nivel de nitrógeno con la dosis (0 kg N ha^{-1}) siempre estuvo por debajo del nivel de suficiencia.

Cuadro 10. Contenido de nitrógeno en las hojas con diferentes niveles de aplicación de fertilizante sintético. Yalagüina, Matriz 2017.

| Tratamiento kg N ha^{-1} | 35 dds | 48 dds | 63 dds | 79 dds |
|-----------------------------------|--------|--------|--------|--------|
| T0: 0 | 1.85 | 1.47 | 1.68 | 1.32 |
| T1: 75 | 2.14 | 1.83 | 1.91 | 1.72 |
| T2: 100 | 2.00 | 2.03 | 1.81 | 1.92 |
| T3: 125 | 2.02 | 1.88 | 2.04 | 1.62 |
| CV % | 8.67 | 17.14 | 8.48 | 21.19 |

dds: días después de la siembra, CV: coeficiente de variación

4.4.2 Contenido de clorofila y nitrógeno en las hojas

Salas *et al*; (1998), Novoa y Villagrán (2002), plantean que la intensidad del color verde de las hojas está directamente relacionada con el contenido de clorofila y con la cantidad de nitrógeno, y que estos a su vez se relacionan directamente con el rendimiento obtenido.

La correlación de Pearsson (Cuadro 11) indica que en el segundo muestreo (48 dds) existe una correlación positiva entre nitrógeno total y los valores relativos de clorofila.

Los valores relativos de clorofila se correlacionaron positivamente a partir del segundo muestreo (48 dds), con las variables rendimiento de grano y rendimiento de biomasa, siendo las dos últimas variables las más correlacionadas por las lecturas SPAD con valores $R= 0.91$ ($<.0001$) y 0.90 ($<.0001$) respectivamente. Esto es importante porque de alguna manera pone de manifiesto esa relación que existe entre el contenido de clorofila y el rendimiento final del

cultivo. También se pone en evidencia que la realización de un diagnóstico temprano con la técnica utilizada, se puede garantizar rendimientos de cultivo de manera satisfactoria.

Cuadro 11. Correlación entre los valores relativos de clorofila y nitrógeno total (Nt), dosis nitrogenada (dn), rendimiento de grano(RG) y Rendimiento de biomasa (RB) en función del tiempo de muestreo.

| Variables | Valores relativos de clorofila - Muestreos dds | | | |
|-----------|--|----------------------|---------------------|----------------------|
| | 35 dds | 48 dds | 63 dds | 79 dds |
| Nt | -0.18558 0.5636 NS | 0.22970 0.4727 NS | 0.73020 0.0070 * | 0.0268 0.9340 NS |
| dn | 0.27684 0.3837 NS | 0.82082 0.0011 * | 0.80839 0.0015 * | 0.83925 0.0006 * |
| RG | 0.30502 0.3350 NS | 0.91849 <.0001 ** | 0.86458 0.0003 * | 0.88140 0.0002 ** |
| RB | 0.28198 0.3746 NS | 0.90345 <.0001 ** | 0.75281 0.0047 * | 0.83056 0.0008* |

Nivel de significancia p=0.05

Según los resultados obtenidos (figura 4), las correlaciones con todos los datos de N total y valores relativos de clorofila, mostraron coeficientes muy bajos por la demasiada dispersión de los datos. Cuando se realizaron las correlaciones por muestreos separados, a partir del segundo y tercer muestreo se empezaron a ver tendencias más claras de la relación entre ambas variables, obteniéndose una función $Y = ax + b$; con un $R^2 = 0.5327$, a pesar que el R es relativamente bajo con una mayor cantidad de réplicas se hubiese obtenido un coeficiente más alto.

Con esta función ajustada a partir de las lecturas SPAD se puede predecir el porcentaje de nitrógeno que tiene la planta y poder compararlo con los valores estándares y a partir de ahí se puede decidir si hay o no necesidad de aplicar fertilizante.

Ejemplo: $Y = ax + b$

$$Y = 0.0307 (48) + 0.6679 = 2.14\% \text{ N}$$

$$Y = 0.0307 (41) + 0.6679 = 1.9266 \% \text{ N}$$

Aplicando esta ecuación al valor SPAD obtenido corresponde a un valor obtenido 1.9266 % N y Según Garner et al; (1985) citado por Paúl, (1990) el contenido de nitrógeno en las plantas se encuentra en promedios de 2 a 4%. Por dicha razón la estimación de nitrógeno a partir de la ecuación determinada se puede hacer una buena predicción.

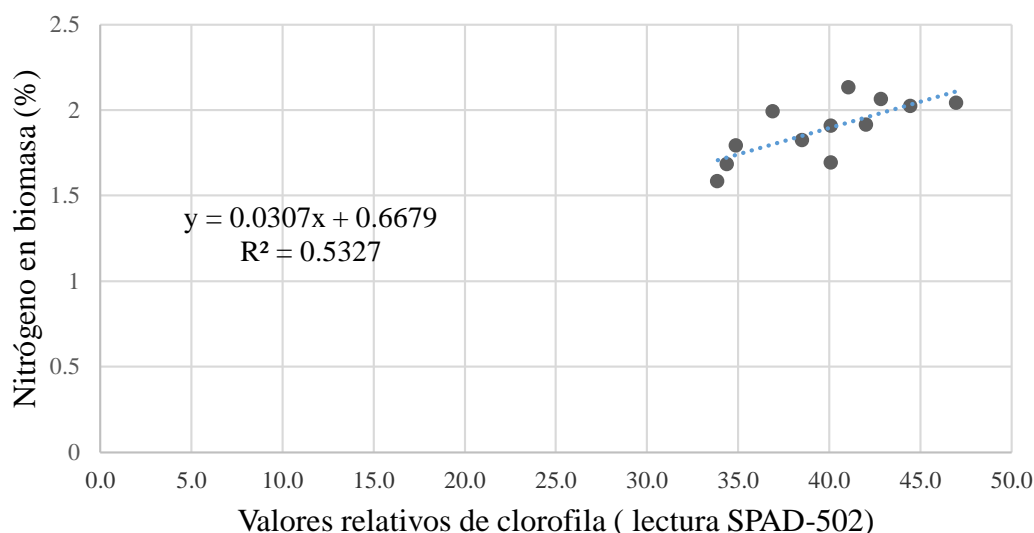


Figura 4. Estimación de nitrógeno (%) en la planta a partir de las lecturas (SPAD-502plus).

4.5 Rendimiento de la biomasa seca (kg ha⁻¹)

La producción de biomasa aérea del cultivo del maíz, dependen de la cantidad de la radiación fotosintéticamente activa, así como de la humedad y la disponibilidad de nitrógeno en el suelo (Wojcik, 2001).

Escalante (1999) menciona que las plantas al sufrir déficit hídrico durante su etapa reproductiva, limitan la absorción de nutrientes y la producción de fotosintatos para la formación y llenado de la semilla, afectando el rendimiento. Por lo que, la eficiencia de conversión se ve afectada por el agua y la disponibilidad de nutrientes, es por ello que el rendimiento de maíz depende de la cantidad de biomasa (Lafitte, 2001).

La materia seca acumulada está relacionada con el índice foliar (el cual se alcanza unos días antes de la antesis), condiciones climáticas, población, así como también lo está la absorción total de nitrógeno por el cultivo (Paúl, 1990). La planta necesita nitrógeno para su desarrollo y formación de área foliar y por ende para su rendimiento.

Según el ANDEVA realizado para esta variable se encontró efecto altamente significativo entre cada tratamiento evaluado y la producción de biomasa seca. La diferencia mínima significativa (DMS) indica la presencia de 3 categorías estadísticas (figura 5). La dosis 125 kg ha⁻¹ obtuvo el mayor rendimiento de biomasa con 7131 kg ha⁻¹ seguido de 100 kg ha⁻¹ y 75 kg ha⁻¹. Esto indica que las variaciones en la producción de biomasa están influenciadas directamente por la cantidad de nitrógeno disponible para las plantas. Se ha reportado que, al existir mayor disponibilidad de nitrógeno en el suelo, se estimula el crecimiento radical y consecuentemente un mayor desarrollo de la parte aérea y por lo tanto mayor biomasa (De-Menezes *et al*; 2013). Así mismo lo confirman (González *et al*; 2016), en donde obtuvieron un mayor rendimiento de biomasa total con altas dosis de nitrógeno.

Estos resultados no coinciden con los obtenidos por Flores y Duran (1997), quienes no encontraron diferencias significativas en los niveles de nitrógeno evaluados.

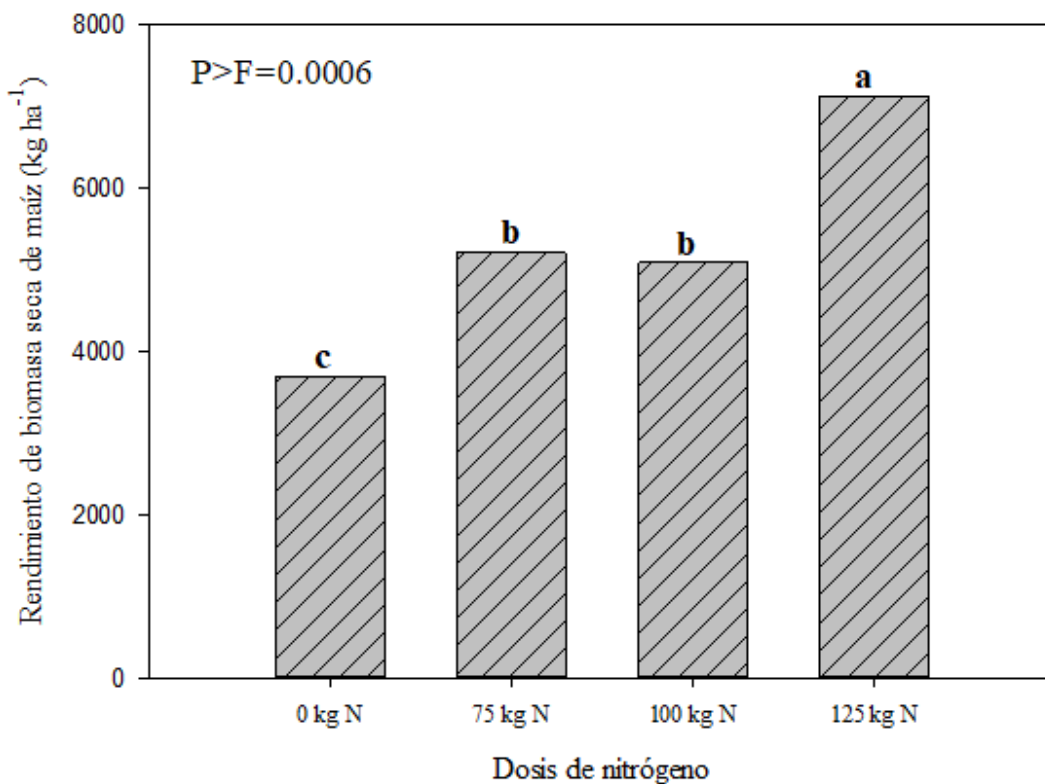


Figura 5. Rendimiento de biomasa seca (kg ha⁻¹) según tratamiento, Yalagüina- Madriz 2017.

4.6 Nitrógeno en la biomasa al momento de la cosecha (%) y kg ha⁻¹

El nitrógeno permite el crecimiento vegetativo y reproductivo de las plantas, no solo por estar involucrado en la captación de la energía solar, sino también en la distribución y síntesis de moléculas que participan en el crecimiento celular (Villalobos, 2001). Según Fuentes (1994), el nitrógeno en menor proporción con relación al contenido total, también se encuentra en las plantas en formas inorgánicas (compuestos amónicos, nitratos y nitritos) aumentando esta proporción cuando se presentan anomalías en el metabolismo que dificultan la síntesis de proteínas.

Compton (1990), plantea que es necesaria la aplicación de nitrógeno, ya que la deficiencia limita la división y multiplicación de las células, pues a medida que aumentan los contenidos de nitrógeno la producción de biomasa seca será mayor.

El análisis estadístico realizado para el porcentaje de nitrógeno determina que existe efecto significativo (figura 6). Se observa que hubo un mayor valor de nitrógeno con las aplicaciones 100 kg N ha⁻¹ y 125 kg N ha⁻¹ (0.47 y 0.48%) respectivamente, esto cumple con lo mencionado por Demolón (1975) que el nitrógeno es un elemento necesario para la multiplicación celular y desarrollo de órganos verdes, el aumento de nitrógeno en la biomasa aumenta a medida que aumentan las aplicaciones de nitrógeno.

Al evaluar la variable nitrógeno total en biomasa (kg ha⁻¹), se determinó que existe un efecto altamente significativo entre los distintos tratamientos en estudio. La diferencia mínima significativa (DMS) indica la presencia de 4 categorías estadísticas en donde se observa una mayor acumulación de nitrógeno total de 106.14 kg ha⁻¹ con la aplicación de (125 kg N ha⁻¹).

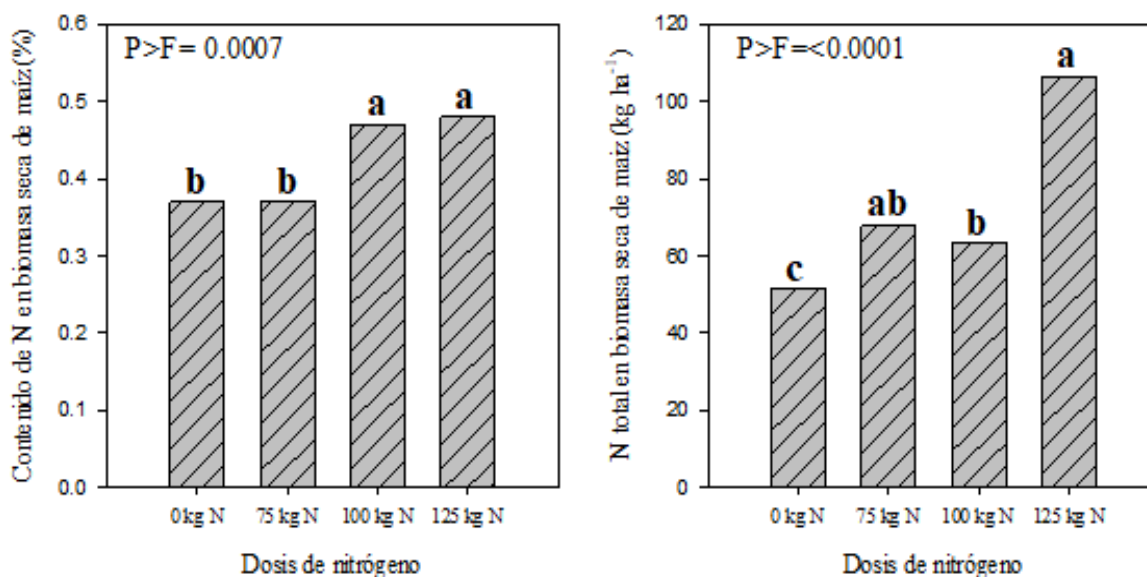


Figura 6. Contenido de nitrógeno en biomasa (%) y kg ha⁻¹ por efecto a las dosis de aplicación de nitrógeno, Yalagüina- Matriz 2017.

4.7 Rendimiento del grano (kg ha^{-1})

El incremento de los rendimientos depende del uso de fertilizantes, de híbridos o variedades mejoradas, que dan a la planta mayor resistencia a plagas y enfermedades. Ponce (1991); citado por Martínez y Pérez (2004), afirma que el rendimiento en el grano en el maíz está relacionado con la aplicación de fertilizantes, aporte de humedad, densidad poblacional, y el potencial de rendimiento de la variedad.

El potencial del rendimiento puede definirse como el rendimiento de una variedad en ambientes a los que se ha adaptado, donde no hay limitaciones en cuanto a agua y nutrientes, y donde las plagas, malezas y enfermedades y otros factores negativos se controlan con eficacia (CIMMYT, 1998).

Según el INTA (2010) la reducción del rendimiento de granos en los primeros 30 días depende de diferentes variables, germinación y humedad superficial del suelo. Las etapas críticas del cultivo del maíz van de la floración masculina a la etapa del grano lechoso. En esta etapa, el grano se puede perder por marchitamiento de la planta y falta de agua hasta en 50 % del potencial de rendimiento.

El (ANDEVA), mostró un efecto altamente significativo sobre el rendimiento del grano (Figura 6) lo cual indica que a mayor dosis de fertilizante nitrogenado mayor rendimiento del grano. La diferencia mínima significativa (DMS), indica la presencia de 3 categorías. La dosis 125 kg N ha^{-1} se comportó estadísticamente superior a las demás dosis con 6119 kg ha^{-1} . Estos resultados se deben a la alta disponibilidad de nitrógeno en el suelo por las diferentes dosis de aplicación y que el cultivo responde bien a estas aplicaciones. Estos resultados concuerdan con los presentados por Camacho y Bonilla (1999), y Blessing y Hernández (2009), que indican que al evaluar la variedad NB-6 para esta misma variable se encontraron diferencias significativas, presentando el mayor rendimiento el nivel de nitrógeno más alto. Blandón y Smith (2001); Galo y Flores (1998), reportan resultados similares a los de este estudio indicando que el rendimiento aumenta al incrementar las dosis de nitrógeno.

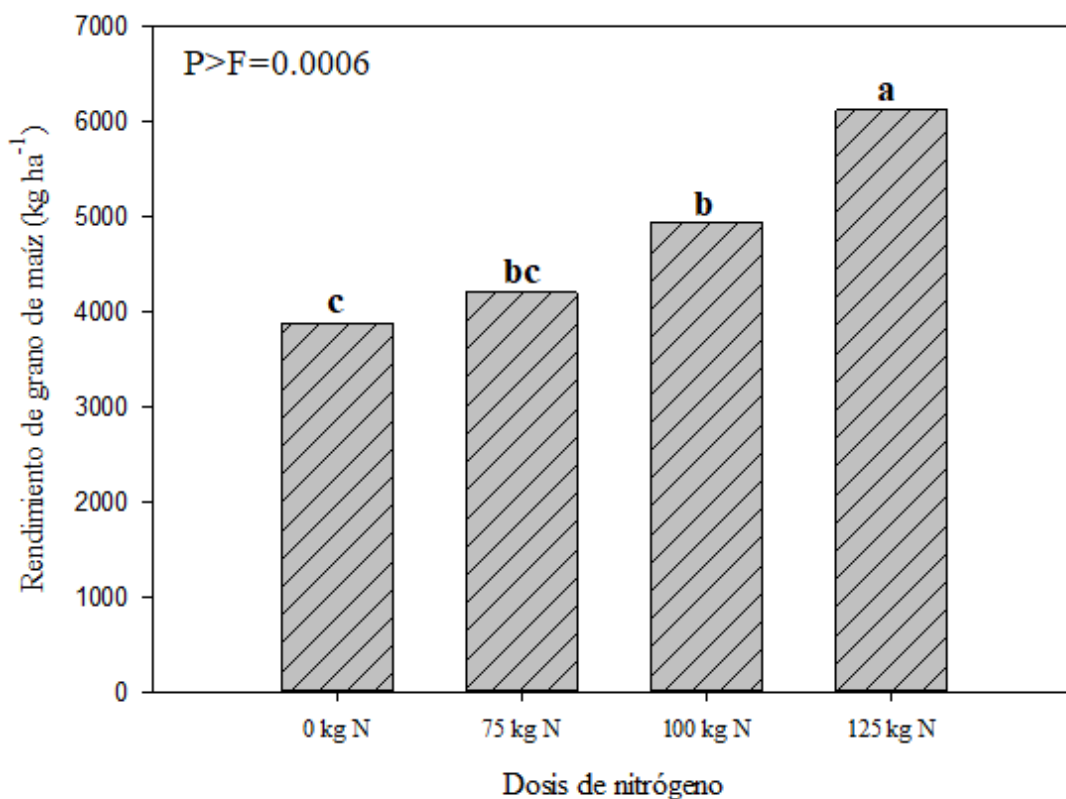


Figura 7. Rendimiento de grano de maíz (kg ha⁻¹) según los tratamientos, Yalagüina- Madriz 2017.

4.8 Nitrógeno en el grano (%) y kg ha⁻¹

El nitrógeno permite el crecimiento vegetativo de las plantas, no solo por estar involucrado en las captación de energía solar, sino también en las distribución y síntesis de moléculas que participan en el crecimiento celular, Villalobos (2001) y además el nitrógeno es un elemento importante en la nutrición vegetal, es absorbido por las planta principalmente como nitrato (NO₃⁻¹) y amonio (NH₄⁺¹).

Salmerón y García (1994) plantean que el nitrógeno juega un papel muy importante en las plantas, en los cereales su influencia la ejerce aumentando el número de grano por espiga, el elevado peso y tamaño de los granos.

Miflin (1976) citado por Carlson (1990), el contenido de nitrógeno en el grano depende de varios factores entre ellos la capacidad de la planta para traslocar el nitrógeno de su parte vegetativa a la semilla durante el desarrollo de la misma.

El (ANDEVA), mostró un efecto altamente significativo entre tratamiento, revelando un incremento del porcentaje de nitrógeno a medida que se aumenta la aplicación de nitrógeno como fertilizante sintético (figura 8). Los mayores porcentaje de nitrógeno son de 1.74 y 1.62 % con la dosis de aplicación 125 kg N ha⁻¹ y 75 kg N ha⁻¹ respectivamente.

Para la variable nitrógeno total en grano (kg ha⁻¹) el análisis estadístico mostró que existe un efecto altamente significativo entre los tratamientos, de igual manera se puede observar que los mayores valores de nitrógeno total son de 33.85 kg ha⁻¹ y 23.93 kg ha⁻¹ con las dosis 125 y 100 kg N ha⁻¹ respectivamente, (figura 8).

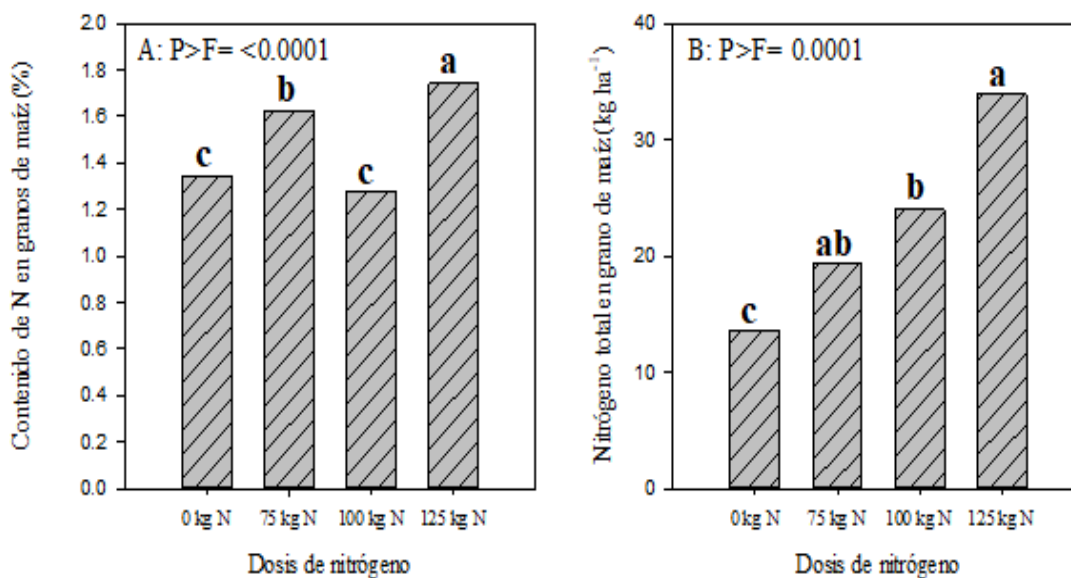


Figura 8. Contenido de nitrógeno en grano (%) y kg ha⁻¹ según tratamientos, Yalagüina- Matriz 2017.

V. CONCLUSIONES

Los tiempos de medición más apropiados para los contenidos de clorofila en las hojas se evidencian a partir de los 48 dds, demostrando que las lecturas de clorofila con valores por debajo de 48 indican una deficiencia de nitrógeno en las plantas.

La relación entre los contenidos de clorofila en las hojas y las variables de rendimiento se correlacionaron positivamente, indicando que a mayor dosis de nitrógeno mayor contenidos de clorofila y mayor rendimiento final del cultivo.

Las variables de crecimiento evaluadas en maíz, fueron similares entre tratamiento, sin embargo, el rendimiento incrementó significativamente a mayores dosis de aplicación de nitrógeno, resultados que corresponden al incremento de los contenidos de clorofila en las hojas. El mayor rendimiento de grano ($6\ 119\ \text{kg ha}^{-1}$) y la mayor producción de biomasa ($7\ 131\ \text{kg ha}^{-1}$) se obtuvo al aplicar $125\ \text{kg N ha}^{-1}$.

VI. RECOMENDACIONES

Según los resultados obtenidos se recomienda la dosis de 125 kg N ha⁻¹ para un mayor rendimiento económico.

Para futuros trabajos se recomienda evaluar variables como número de plantas a la cosecha, número de mazorca por planta, número de granos por hilera, número de hileras por mazorca, peso de 1000 semillas; para confirmar los resultados obtenidos.

VII. LITERATURA CITADA

- Arzola, P. N., Fundora, H. O., y Machado, A. J. (1981). *Suelo, planta y abonado*. La Habana, Cuba: Pueblo Educación. 461 p.
- Baca, P.B. (1989). *Influencia de cuatro niveles y cuatro formas de fraccionamiento del nitrógeno, sobre el crecimiento, desarrollo y rendimiento del cultivo del maíz (Zea mays L.) variedad NB-6*. (Tesis de pregrado). Managua, Nicaragua. Recuperado de <http://repositorio.una.edu.ni/1787/1/tnf04b642.pdf>
- Barahona, O.W., y Gago, H. F. (1996). *Evaluación de diferentes prácticas culturales en Soya (Glicine máx. L. Merr) y Ajonjolí (Sesamun indicum L.) y su efecto sobre la cenosis de las malezas*. (Tesis de grado). Universidad Nacional Agraria, Managua, Nicaragua. 69 p.
- Biblioteca Virtual en Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental. (15 de abril de 2017). *Caracterización Municipal de Yalaguina*. Obtenido de http://www.bvsde.org.ni/Web_textos/INIFOM/CDdeCaracterizaciones/Caracterizaciones/Madriz/Yalaguina.html
- Blackmer, T. M., y Schepers, J. S. (1995). *Use of Chlorophyll Meter to Monitor Nitrogen Status and Schedule Fertigation for Corn*. Journal of Production Agriculture.
- Blandon Garmendia, E. J., y Smith Marriaga, A. Z. (2001). *Efectos de diferentes niveles de nitrógeno y densidades de siembra sobre el crecimiento, desarrollo y rendimiento del cultivo de maíz (Zea mays L.) var. NB-6*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria: Managua, Nicaragua. Recuperado de <http://repositorio.una.edu.ni/1787/1/tnf04b642.pdf>
- Blessing Ruiz, D. M., y Hernández Morrison, G. T. (2009). *Comportamiento de variables de crecimiento y rendimiento en maíz (Zea mays L.) Var. NB-6 bajo prácticas de fertilización orgánica y convencional en la finca El Plantel. 2007-2008*. (Tesis de Pregrado). Managua, Nicaragua: Universidad Nacional Agraria. Recuperado de <http://repositorio.una.edu.ni/2090/1/tnf01b647.pdf>

- Camacho, J., & Bonilla, R. (1999). *Efecto de tres niveles de nitrógeno y tres densidades poblacionales sobre el crecimiento, desarrollo y rendimiento en el cultivo de maíz (Zea mays L.) var. NB-6*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria: Managua, Nicaragua. Recuperado de <http://repositorio.una.edu.ni/1787/1/tnf04b642.pdf>
- Carlson, P. S. (1990). *Biología de la productividad de los cultivos*. AGT Editor. México. 239p.
- Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. (1998). *La formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos*. Recuperado de <http://repository.cimmyt.org/xmlui/bitstream/handle/10883/1063/9031.pdf>
- Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal. (2014). *El cultivo del Maíz*. Recuperado de <http://www.centa.gob.sv/docs/guias/granos%20basicos/GuiaTecnica%20Maiz%202014.pdf>
- Compton L, P. (1985). *La investigación en sistemas de producción con sorgo en Honduras, aspectos agronómicos*. INTSORMIL/CIMIT. México (D.F) 37 p.
- De-Menezes, L., Ronsani, R., Pavinato, P., Biesek, R., Da-Silva, C., Martinello, C. y Da-Silveira, M. (2013). Produção, valor nutricional e eficiências de recuperação e utilização do nitrogênio de silagens de milho sob diferentes doses de adubação nitrogenada. *Semina: Ciências Agrárias*. 34:1353-1362 p.
- Demolón; A. (1975). *Principios de agronomía: Crecimiento de los vegetales cultivados*. La Habana, Cuba. 200 p.
- Dwyer, L. M., Anderson, A. M., MA, B. L., Stewart, D. W., Tollenaar, M. & Gregorich E. (1995). *Quantifying the Nonlinearity in Chlorophyll Meter Response to Corn Leaf Nitrogen Concentration*. *Canadian Journal of Plant Science* 179-182p.
- Escalante Estrada, J. (1999). Área foliar, senescencia y rendimiento del girasol de humedad residual en función del nitrógeno. *Terra Latinoamericana*. Recuperado de <https://chapingo.mx/terra/contenido/17/2/art149-157.pdf>

- Flores Miranda, J., & Duran Lugo, R. (1997). *Efecto de dos niveles de nitrógeno y tres densidades de siembra sobre el crecimiento, desarrollo y rendimiento de tres variedades de maíz (Zea mays L.)*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria: Managua, Nicaragua. Recuperado de <http://repositorio.una.edu.ni/1901/1/tnf04f634e.pdf>
- Fuentes Escoto, X. M. (1998). *Evaluación de niveles de rastrojo y niveles de nitrógeno en el crecimiento, desarrollo y rendimiento en el cultivo de maíz (Zea mays L.), variedad NB-12*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria: Managua, Nicaragua. Recuperado de <http://repositorio.una.edu.ni/1691/6/tnf04f954.pdf>
- Galo Mayorga, J.A., y Flores Valdivia, C.M. (1998). *Evaluación del efecto de diferentes tipos y niveles de rastrojo (mantillo) y diferentes dosis de nitrógeno en el rendimiento del maíz (Zea mays L.) var. NB-12*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria: Managua, Nicaragua. Recuperado de <http://repositorio.una.edu.ni/1688/1/tnf04g178.pdf>
- González, A., Figueroa, U., Preciado, P., Núñez, G., Luna, J., y Antuna, O. (2016). Uso eficiente y recuperación aparente de nitrógeno en maíz forrajero en suelos diferentes. *Ciencias Agrícolas*, 7(2), 301-309. Recuperado de <http://cienciasagricolas.inifap.gob.mx/editorial/index.php/agricolas/article/download/345/264>
- Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria (INTA). (2001). *Programa Nacional de Maíz (Zea mays L.)* proyecto de investigación y desarrollo. 11p.
- Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales. (2006). *Estudio del suelo del departamento de Madriz*. Obtenido de http://www.ineter.gob.ni/Ordenamiento/files/suelos_madriz.pdf
- Instituto Nicaragüense De Tecnología Agropecuaria. (2010). *Guía Tecnológica Cultivo de Maíz*. Recuperado de <http://www.inta.gob.ni/biblioteca/images/pdf/guias/GUIA%20MAIZ%202010%202DA%20EDICION.pdf>
- Kass, D. (1998). *Fertilidad de Suelos*. San José, CR: EUNED. Recuperado de [https://books.google.com.ni/books?id=sRua411JhvgC&pg=PP8&lpg=PP8&dq=Donald,+Kass+\(1998\)&source=bl&ots=2bB81GzTZz&sig=3DYzqvO4u_c6qsY_FuTi7-bHvjU&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiBpaH-](https://books.google.com.ni/books?id=sRua411JhvgC&pg=PP8&lpg=PP8&dq=Donald,+Kass+(1998)&source=bl&ots=2bB81GzTZz&sig=3DYzqvO4u_c6qsY_FuTi7-bHvjU&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiBpaH-)

jLHcAhXIq1kKHVbFAXwQ6AEIRDAK#v=onepage&q=Donald%2C%20Kass%20(1998)&f=false

Lafitte, H. R. (2001). Fisiología del maíz tropical. En Paliwal, R. L., Granados, G., Lafitte, H. R. y Violic, A. D. *El maíz en los trópicos: Mejoramiento y producción*. Roma: FAO. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/003/X7650S/x7650s00.htm#toc>

Martínez García, L. O. (2008). *Utilización del clorofilometro SPAD-502 para diagnosticar la deficiencia del nitrógeno en sorgo (Sorghum bicolor L. Moench) bajo distintas dosis de nitrógeno San Ramon Matagalpa*. Recuperado de <http://repositorio.cnu.edu.ni/Record/RepoUNA2062>

Martínez Mayorga, M., y Pérez Medina, M. (2004). *Efecto de tres densidades de siembra y cuatro niveles de fertilización nitrogenada sobre el crecimiento, desarrollo y rendimiento del maíz (Zea mays L.) híbrido H-Inta-991, Masatepe, Masaya* (Doctoral dissertation, Universidad Nacional Agraria, UNA). Recuperado de <http://repositorio.una.edu.ni/1919/1/tnf01m385e.pdf>

MINOLTA CAMERA CO. LTD. 1989. Chlorophyll meter SPAD-502. Instruction Manual. Radiometric Instruments Divisions, Osaka, Minolta. 22 p

Novoa R., y Villagrán, N. (2002). *Evaluación de un instrumento medidor de clorofila en la determinación de niveles de nitrógeno foliar en maíz*. *Agricultura Técnica*, 62(1), 166-171. <https://dx.doi.org/10.4067/S0365-28072002000100017>

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2001). *El maíz en los trópicos: Mejoramiento y Producción*. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/003/x7650s/x7650s02.htm>

Ortega, B. (2002). *Bases Teóricas y su Aplicación para la Fertilización Nitrogenada en Cultivos*. Zamorano, Honduras: Centro de Agricultura de Precisión. 56p.

Padilla, Cerda, L.I., y Pereira, Aguilar, J.A. (2000). *Evaluación de arreglos de siembra sobre el crecimiento y rendimiento del cultivo del sorgo (Sorghum bicolor L. Moench) variedad pinolero*. Managua, Nicaragua.

Paul, C. L. (1990). *Agronomía del sorgo*. CENTA. El Salvador.

- Programa de Diversificación Hortícola. (Marzo de 2009). *Cultivo del Chilote*. Recuperado de <http://cenida.una.edu.ni/relectronicos/RENF01CH517.pdf>
- Reyes Castañeda, P. (1990). *El maíz y su Cultivo* (3rd ed., pp. 320-350). México D.F: AGT.
- Rodríguez Bragado, L., Sombrero Sacristan, A., y Cedrún del Agua, M. (2014). *Efectos de la Fertilización nitrogenada en el cultivo de maíz*. Recuperado de <http://www.redagrotec.eu/sites/default/files/FERTILIZACION%20NITROGENADA%20EN%20MAIZ.pdf>
- Rozas, S. H., y Echeverría, H. E. (1998). *Relación entre las lecturas del medidor de clorofila (Minolta SPAD-502) en distintos estadios del ciclo del cultivo del maíz y el rendimiento en grano*. Balcarce. Argentina
- Salas H .P.; E. Martellotto; E. Lovera; A Salinas; P. Mazzini; L. Lingua y M. Bragachini. (1998). *Riego y agricultura de precisión. Jornada de actualización*. INTA.
- Salmerón, F., y García, L. (1994). *Fertilidad y fertilización de suelo*. Universidad Nacional Agraria. Managua, Nicaragua. 142p. Recuperado de <http://repositorio.una.edu.ni/id/eprint/2804>
- Sistema de Información y Comunicación del Sector Agropecuario Costarricense. (2017). *Clorofila. Medidor Minolta Spad 502 plus*. Recuperado de http://www.infoagro.com/instrumentos_medida/medidor.asp?id=8501
- Somarriba R., C. (1998). *Texto granos básicos*. UNA-Managua, Nicaragua 57p.
- Torres, M. C. (1993). *Evaluación de diferentes niveles de nitrógeno y densidades sobre el crecimiento, desarrollo y rendimiento del Maíz (Zea mays L.)*. (Tesis de grado). Universidad Nacional Agraria, Managua, Nicaragua.
- Vásquez G., J. y Ruíz G. (1993). *Influencia de cultivos antecesores y métodos de control de malezas sobre la cenosis de las malezas, crecimiento, desarrollo y rendimiento de los cultivos de maíz (Zea mays L.), Sorgo (Sorghum bicolor L.), Moench) y Pepino (Cucumis sativus L.)*. (Tesis de grado). Universidad Nacional Agraria, Managua-Nicaragua.

Villalobos, E. (2001). *Fisiología de los cultivos tropicales*. San José, Costa Rica. 203 p.

Wojcik, P. (2001). *Ecological impact of nitrogen fertilization*. Poland. Journal of Fruit and Ornamental plant. Research. 9(1):117-127 p.

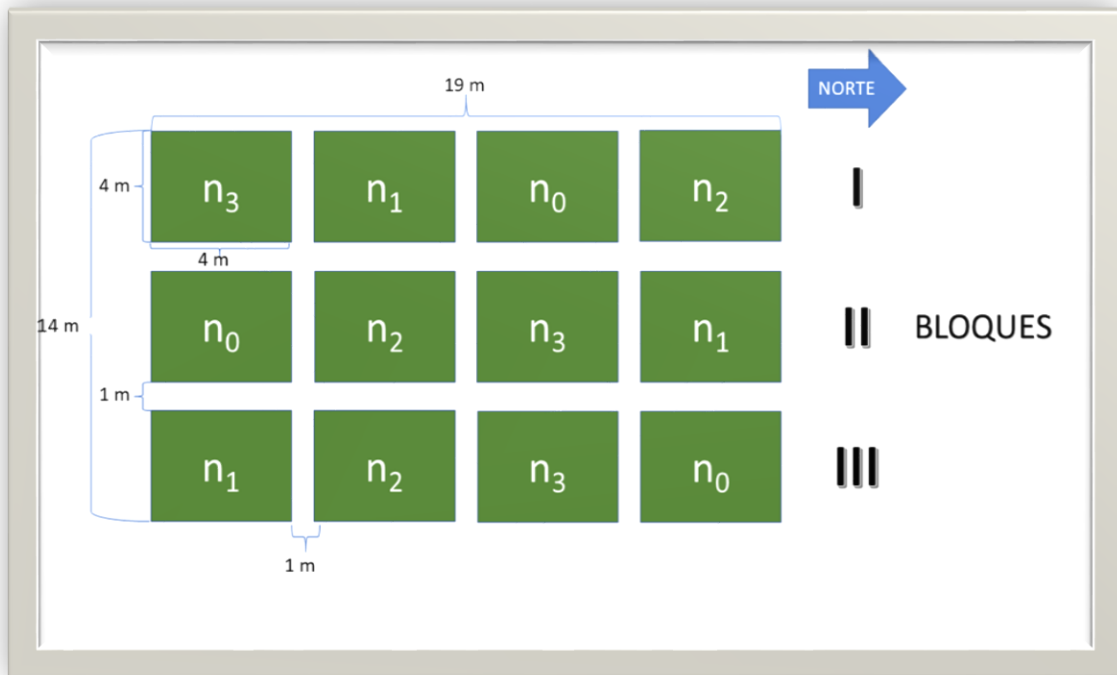
Zebarth, B. J., Younie, M. J., y Bitman, S. (2002). *Evaluation of leaf chlorophyll index for making fertilizer nitrogen recommendations for silage corn in a high fertility environment*. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 33: 665–684.

VIII. ANEXOS

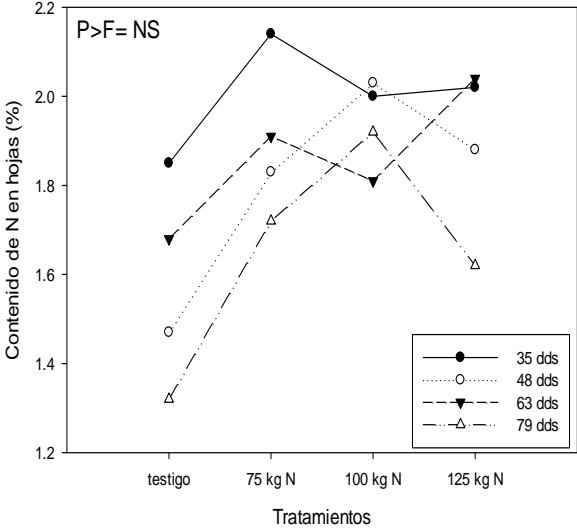
Anexo 1. Equipo investigador en plantación de maíz a los 35 dds



Anexo 2. Plano de campo



Anexo 3. Contenido de nitrógeno en las hojas con diferentes niveles de aplicación de fertilizante sintético.



Anexo 4. Clorofilómetro Minolta SPAD-502plus



Anexo 5. Levantamiento de datos a los 84 días después de la siembra



Anexo 6. ANDEVA de rendimiento de biomasa seca en kg ha⁻¹

Kg MS/ha

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|----------|----|----------------|-------------------|------|
| Kg MS/ha | 12 | 0.93 | 0.88 | 8.67 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|-------------|-------------|----|------------|-------|---------|
| Modelo. | 17969932.83 | 5 | 3593986.57 | 17.17 | 0.0017 |
| Tratamiento | 17965588.33 | 3 | 5988529.44 | 28.60 | 0.0006 |
| Replica | 4344.50 | 2 | 2172.25 | 0.01 | 0.9897 |
| Error | 1256260.17 | 6 | 209376.69 | | |
| Total | 19226193.00 | 11 | | | |

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=1293.33013

Error: 209376.6944 gl: 6

| Tratamiento | Medias | n | E.E. | |
|-------------|---------|---|--------|---|
| 3.00 | 7131.33 | 3 | 264.18 | A |
| 1.00 | 5203.67 | 3 | 264.18 | B |
| 2.00 | 5085.67 | 3 | 264.18 | B |
| 0.00 | 3693.33 | 3 | 264.18 | C |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

Anexo 7. ANDEVA de rendimiento del grano en kg ha⁻¹

RG kg/ha

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|----------|----|----------------|-------------------|------|
| RG kg/ha | 12 | 0.94 | 0.88 | 6.70 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|-------------|------------|----|------------|-------|---------|
| Modelo. | 8944946.00 | 5 | 1788989.20 | 17.43 | 0.0016 |
| Tratamiento | 8938753.33 | 3 | 2979584.44 | 29.03 | 0.0006 |
| Replica | 6192.67 | 2 | 3096.33 | 0.03 | 0.9704 |
| Error | 615762.67 | 6 | 102627.11 | | |
| Total | 9560708.67 | 11 | | | |

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=905.47461

Error: 102627.1111 gl: 6

| Tratamiento | Medias | n | E.E. | |
|-------------|---------|---|--------|-----|
| 3.00 | 6119.00 | 3 | 184.96 | A |
| 2.00 | 4940.33 | 3 | 184.96 | B |
| 1.00 | 4198.33 | 3 | 184.96 | B C |
| 0.00 | 3873.00 | 3 | 184.96 | C |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

Anexo 8. ANDEVA de porcentaje de nitrógeno en la biomasa a los 84 dds

NB%

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|----------|----|----------------|-------------------|------|
| NB% | 12 | 0.93 | 0.88 | 4.69 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|-------------|---------|----|---------|-------|---------|
| Modelo. | 0.03 | 5 | 0.01 | 16.55 | 0.0019 |
| Tratamiento | 0.03 | 3 | 0.01 | 27.32 | 0.0007 |
| Replica | 3.2E-04 | 2 | 1.6E-04 | 0.40 | 0.6844 |
| Error | 2.3E-03 | 6 | 3.9E-04 | | |
| Total | 0.03 | 11 | | | |

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.05594

Error: 0.0004 gl: 6

| Tratamiento | Medias | n | E.E. | |
|-------------|--------|---|------|---|
| 3.00 | 0.48 | 3 | 0.01 | A |
| 2.00 | 0.47 | 3 | 0.01 | A |
| 1.00 | 0.37 | 3 | 0.01 | B |
| 0.00 | 0.37 | 3 | 0.01 | B |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

Anexo 9. ANDEVA de porcentaje de nitrógeno en el grano a los 84 dds

NG%

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|----------|----|----------------|-------------------|------|
| NG% | 12 | 0.99 | 0.98 | 2.07 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|-------------|---------|----|---------|--------|---------|
| Modelo. | 0.43 | 5 | 0.09 | 89.60 | <0.0001 |
| Tratamiento | 0.43 | 3 | 0.14 | 149.29 | <0.0001 |
| Replica | 1.2E-04 | 2 | 5.8E-05 | 0.06 | 0.9415 |
| Error | 0.01 | 6 | 9.6E-04 | | |
| Total | 0.44 | 11 | | | |

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.08750

Error: 0.0010 gl: 6

| Tratamiento | Medias | n | E.E. | |
|-------------|--------|---|------|---|
| 3.00 | 1.74 | 3 | 0.02 | A |
| 1.00 | 1.62 | 3 | 0.02 | B |
| 0.00 | 1.34 | 3 | 0.02 | C |
| 2.00 | 1.28 | 3 | 0.02 | C |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

Anexo 10. ANDEVA de nitrógeno total en el grano en kg ha⁻¹

NTG

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|----------|----|----------------|-------------------|------|
| NTG | 12 | 0.96 | 0.93 | 9.02 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|-------------|--------|----|--------|-------|---------|
| Modelo. | 662.31 | 5 | 132.46 | 31.71 | 0.0003 |
| Tratamiento | 659.79 | 3 | 219.93 | 52.65 | 0.0001 |
| Replica | 2.52 | 2 | 1.26 | 0.30 | 0.7505 |
| Error | 25.07 | 6 | 4.18 | | |
| Total | 687.37 | 11 | | | |

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=5.77704

Error: 4.1775 gl: 6

| Tratamiento | Medias | n | E.E. | |
|-------------|--------|---|------|-----|
| 0.00 | 13.63 | 3 | 1.18 | A |
| 1.00 | 19.26 | 3 | 1.18 | A B |
| 2.00 | 23.93 | 3 | 1.18 | B |
| 3.00 | 33.85 | 3 | 1.18 | C |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

Anexo 11. ANDEVA de nitrógeno total en la biomasa en kg ha⁻¹

NTB

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|----------|----|----------------|-------------------|------|
| NTB | 12 | 0.98 | 0.96 | 6.27 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|-------------|---------|----|---------|-------|---------|
| Modelo. | 5016.05 | 5 | 1003.21 | 48.85 | 0.0001 |
| Tratamiento | 5015.44 | 3 | 1671.81 | 81.40 | <0.0001 |
| Replica | 0.61 | 2 | 0.30 | 0.01 | 0.9853 |
| Error | 123.22 | 6 | 20.54 | | |
| Total | 5139.28 | 11 | | | |

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=12.80908

Error: 20.5374 gl: 6

| Tratamiento | Medias | n | E.E. | |
|-------------|--------|---|------|-----|
| 0.00 | 51.65 | 3 | 2.62 | A |
| 2.00 | 63.36 | 3 | 2.62 | A B |
| 1.00 | 67.81 | 3 | 2.62 | B |
| 3.00 | 106.14 | 3 | 2.62 | C |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)