



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA**

**FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN**

**Pérdidas de nitrógeno por volatilización en un sistema de producción de sorgo usando dos fuentes nitrogenadas y dos métodos de aplicación**

**AUTORES**

**Br. Crysbell del Socorro Avalos Espinoza  
Br. Joseling Rubí Castro Salazar**

**ASESORES**

**MSc. Leonardo García Centeno  
MSc. Roberto Larios González  
Ing. Miguel Jerónimo Ríos**

**Managua, Nicaragua  
Marzo, 2017**

*“Por un Desarrollo Agrario  
Integral y Sostenible”*



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA**

**FACULTAD DE AGRONOMÍA**

*"Por un Desarrollo Agrario  
Integral y Sostenible"*

## **TRABAJO DE GRADUACIÓN**

**Pérdidas de nitrógeno por volatilización en un sistema de  
producción de sorgo usando dos fuentes nitrogenadas y dos  
métodos de aplicación**

### **AUTORES**

**Br. Crysbell del Socorro Avalos Espinoza  
Br. Joseling Rubí Castro Salazar**

### **ASESORES**

**MSc. Leonardo García Centeno  
MSc. Roberto Larios González  
Ing. Miguel Jerónimo Ríos**

Este trabajo de graduación fue evaluado y aprobado por el honorable tribunal  
examinador como requisito parcial para optar al título profesional de Ingeniero  
Agrónomo

Managua, Nicaragua

Marzo, 2017

## ÍNDICE DE CONTENIDO

SECCIÓN	PÁGINA
	i
<b>DEDICATORIA</b>	
<b>AGRADECIMIENTO</b>	iii
<b>ÍNDICE DE CUADROS</b>	v
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	vi
<b>ÍNDICE DE ANEXOS</b>	vii
<b>RESUMEN</b>	viii
<b>ABSTRACT</b>	ix
<b>I INTRODUCCIÓN</b>	1
<b>II OBJETIVOS</b>	4
2.1 Objetivo general	4
2.2 Objetivos específicos	4
<b>III MATERIALES Y MÉTODOS</b>	5
3.1 Localización y descripción del área de estudio	5
3.2 Análisis químico del suelo	6
3.3 Descripción de los tratamientos	6
3.4 Características de la variedad	7
3.5 Diseño experimental	7
3.6 Descripción de la unidad experimental	7
3.7 Variables evaluadas	8
3.7.1 Medición de la pérdida de nitrógeno por volatilización	8
3.7.2 Altura de la planta (cm)	9
3.7.3 Diámetro de tallo (mm)	9
3.7.4 Número de hojas	9
3.7.5 Biomasa seca (kg ha <sup>-1</sup> )	9
3.7.6 Peso de 1 000 granos (g)	9
3.7.7 Rendimiento de grano en (kg ha <sup>-1</sup> )	10
3.8 Análisis estadístico	10
3.9 Manejo agronómico del cultivo	10
<b>IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	11
4.1. Pérdida de nitrógeno por volatilización(kg ha <sup>-1</sup> )	11
4.1.1 Volatilización de nitrógeno aplicado a la siembra ( kg ha <sup>-1</sup> )	11
4.1.2 Volatilización de nitrógeno ( kg ha <sup>-1</sup> ) aplicado a los 35 dds	13
4.2 Variables de crecimiento	16
4.2.1 Altura de la planta (cm)	16
4.2.2 Número de hojas	17
4.2.3 Diámetro del tallo (cm)	18
4.3 Variable de rendimiento	19
4.3.1 Materia seca (kg ha <sup>-1</sup> )	19

	4.3.2 Peso de mil granos (g)	20
	4.3.3 Rendimiento del grano (kg ha <sup>-1</sup> )	21
<b>V</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	22
<b>VI</b>	<b>RECOMENDACION</b>	23
<b>VII</b>	<b>LITERATURA CITADA</b>	24

---

## DEDICATORIA

A **Dios**, por brindarme su amor y protección, dotándome de sabiduría y fuerza para lograr finalizar una de mis metas propuestas, guiándome siempre por el buen camino y estando siempre presente en los momentos difíciles de mi vida, llenándome de bendiciones.

A mis padres **José Rafael Ávalos** y **Ana Briggit Espinoza**, por brindarme su apoyo y consejos a lo largo de mi vida, que con amor, empeño y sacrificio se esforzaron para que pudiera realizar una de mis metas. Gracias por ser unos de los pilares de mi vida que sin su amor y comprensión no hubiese podido realizar este sueño.

A mis hermanas **Lisbeth Alexandra Ávalos** y **Ana Ilse Arévalo** por darme sus consejos y apoyo incondicional, por ser además, mis amigas dándome su amor y confianza.

A mis abuelos **Ana María Espinoza** y **William Mendoza** por darme su abrigo, protección y sobre todo cariño en estos años de formación.

A todos mis compañeros de clases, especialmente a mis amigas **Joseling Castro**, **Deyanira Taleno**, **Madelin Toruño** por ser mis compañeras y sobre todo mis amigas, en todos estos años, en donde su apoyo, consejos, confianza y cariño me han ayudado a culminar mi carrera.

**Br. Crysbell del Socorro Ávalos Espinoza**

## DEDICATORIA

Primeramente a **Dios** nuestro creador, quien me da la oportunidad de seguir en este mundo y darme la fortaleza y sabiduría para lograr culminar mis estudios y este trabajo tan importante en mi vida.

A mi madre **Estela Salazar** por inculcarme los valores de la vida, por ser mi motor a seguir, por su apoyo incondicional y consejos que me ayudaron de gran manera para seguir adelante, gracias por sus oraciones que sin duda me ayudaron mucho durante los 5 años de estudio en la Universidad. Y como no dedicarle este trabajo que es un esfuerzo muy grande, mi madre que lo es todo.

A mi padre **Martin Castro** que a pesar de sus dificultades siempre estuvo ahí para apoyarme en todo lo que necesité, gracias por sus consejos y sus palabras de aliento para yo poder avanzar y ser una profesional.

A mi hermana **Heydi Salazar** por su apoyo incondicional y económico, lo cual logro a que este sueño esperado se hiciera realidad es más que una hermana.

A mi abuela **Cristina Medina** y mi hermano **Edwing Castro**, a mi novio **José Herrera** alguien muy importante en mi vida

A mis compañeros de la universidad a Luis Mario (q.e.p.d). Especialmente a mis amigas y compañeras por 5 años **Crysbell Avalos, Deyanira Taleno y MadelingToruño** con quienes compartí muy buenos momentos.

**Br. Joseling Rubí Castro Salazar**

## AGRADECIMIENTO

A **Dios**, por llenarme de bendiciones, protegiéndome y dándome fuerzas para seguir cada día adelante, para poder culminar mis estudios y formarme como profesional.

Mi más sincero agradecimiento a nuestros asesores **Ing. MSc. Leonardo García C**, por haber depositado su confianza para llevar a cabo este trabajo de investigación, además por sus orientaciones y apoyo para la culminación de este trabajo, al **Ing. MSc. Roberto Larios** por ser un estupendo docente, que sus enseñanzas me ayudaron a formarme como profesional, gracias por brindarnos su confianza para iniciar este trabajo, por sus consejos y apoyo a lo largo de estos años de conocerlo, al **Ing. Miguel Ríos**, por comprometerse con este trabajo, dándonos su ayuda y disponibilidad de tiempo durante la fase de campo.

A la **Lic. Marilena Gutiérrez**, gracias por su hospitalidad y disponibilidad de tiempo en todo el transcurso de este estudio, demostrando ser para nosotras una segunda madre, por sus consejos y compañía. A los trabajadores de la finca El Plantel por ayudarnos durante la etapa de campo, siendo de gran importancia para la realización de esta investigación.

A mi amiga y compañera **Joseling Castro**, gracias por estar conmigo desde el principio de la realización de este trabajo y compartir conmigo varios momentos que siempre recordare y sin duda el sueño de finalizar nuestra tesis para lograr nuestra meta de ser ingenieras agrónomas.

**Br. Crysbell del Socorro Ávalos Espinoza**

## AGRADECIMIENTO

Siempre dándole las gracias a mi **Dios** por darme las fuerzas, dirección y sabiduría, por cuidar mi camino para poder seguir adelante enfrentando cualquier obstáculo que se presentara y por lograr culminar mi carrera.

A mis padres, mi hermana, mi novio quienes siempre estuvieron presente para apoyarme y nunca abandonarme durante los tiempos más difíciles que se pudieron presentar en todo este tiempo de preparación.

A nuestros asesores **MSc. Leonardo García** y **MSc. Roberto Larios** excelentes personas y docentes gracias por confiar en nosotras y darnos la oportunidad de llevar a cabo este proyecto, gracias por siempre brindarnos la mano, sus consejos y sus aportes de conocimientos que nos ayudaron de mucho para la culminación de este trabajo y al **Ing. Miguel Ríos** por sumarse a este trabajo de investigación, por su ayuda y disponibilidad de tiempo para movilizarse en todo el transcurso durante la fase de campo.

A la **Lic. Marilena Gutiérrez** técnico de laboratorio de Fisiología Vegetal que gracias a su apoyo, tiempo y hospitalidad logramos culminar nuestro trabajo por demostrar ser como una madre para nosotras y por supuesto a los trabajadores de la finca el plantel por ayudarnos durante la etapa de campo de nuestra investigación.

A mi amiga y compañera de tesis **Crysbell Avalos** por su hospitalidad y recibimiento en su casa durante la realización de este trabajo.

**Br. Joseling Rubí Castro Salazar**



## ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO		PÁGINA
1	Análisis químico de suelo del área en estudio	6
2	Descripción de los tratamientos	7
3	Altura de planta (cm) según fuente y forma de aplicación	17
4	Número de hojas según fuente y forma de aplicación y dds	18
5	Diámetro de tallo (cm) según fuente y forma de aplicación	19
6	Materia seca (tallo + hojas)	20
7	Peso de mil semillas	20
8	Rendimiento (kg ha <sup>-1</sup> )	21

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA</b>		<b>PÁGINA</b>
1	Promedios mensuales de precipitación (mm) y temperatura (°C), durante el experimento.	5
2	Pérdida por volatilización del amonio (kg ha <sup>-1</sup> ) aplicado al momento de la siembra	12
3	Comportamiento de temperatura (°C) por día durante el período de muestreo noviembre y diciembre 2015	13
4	Pérdida por volatilización del nitrógeno que se aplicó a los 35 días después de la siembra (kg ha <sup>-1</sup> ).	14
5	Pérdidas totales de nitrógeno volatilizado en el cultivo del sorgo (kg ha <sup>-1</sup> )	17

## ÍNDICE DE ANEXO

<b>ANEXO</b>		<b>PÁGINA</b>
1	Volatilización de nitrógeno en kg y % perdido después de la primera fertilización	29
2	Volatilización de nitrógeno en kg y % perdido después de la segunda fertilización	29
3	Volatilización de nitrógeno total en kg ha <sup>-1</sup> y porcentajes perdidos	29
4	Cámara captadora de amoníaco	30
5	Cámara captadora de amoníaco en el campo	30
6	Destilación del amonio	30
7	Titulación y valoración de las muestras	30

## RESUMEN

Las pérdidas de nitrógeno por volatilización ocurren en mayor medida según la fuente nitrogenada, el método de aplicación y condiciones edafoclimáticas. Esta investigación se realizó en la unidad de investigación y validación El Plantel, propiedad de la Universidad Nacional Agraria (UNA), ubicada en el km 30 de la carretera Tipitapa-Masaya. El objetivo fue medir las pérdidas de nitrógeno por volatilización en un sistema de sorgo y su efecto en el crecimiento y rendimiento del cultivo, utilizando dos fuentes nitrogenadas y dos métodos de aplicación. El diseño experimental fue un diseño de bloque completo al azar (BCA) con cuatro tratamientos y tres repeticiones. Los tratamientos evaluados fueron: T1 (Urea en la superficie), T2 (Urea enterrada), T3 (Sulfato de amonio en la superficie), T4 (Sulfato de amonio enterrado). Los tratamientos fueron aplicados en dos momentos, uno al momento de la siembra y el segundo a los 35 días después de la siembra (dds) aplicando y distribuyendo de acuerdo al orden de los tratamientos. Para la pérdida de nitrógeno por volatilización ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) se evaluó: desde la siembra (primera fertilización) hasta 10 días después; y a los 35 dds hasta los 45 dds. Las variables evaluadas fueron sometidas a un análisis de varianza y separación de medias por diferencias mínimas significativas (DMS) con el programa estadístico INFOSTAT. Los resultados indican que las pérdidas son mayores al utilizar urea como fuente nitrogenada ( $8.86 \text{ kg de nitrógeno}$ ), en la primera aplicación. A los 35 días después de la siembra se mantuvo en ascenso al utilizar urea en la superficie ( $57.68 \text{ kg de nitrógeno}$ ), no así cuando se aplicó sulfato de amonio registrando entre  $12.17$  y  $9.44 \text{ kg de nitrógeno}$ , equivalente a un 5 % del total aplicado. Los resultados indican que para las variables de crecimiento, solo el diámetro del tallo fue influenciado significativamente obteniéndose mayor diámetro con sulfato de amonio. La mayor producción de materia seca se obtuvo cuando el sulfato de amonio se aplicó por debajo de la superficie del suelo ( $8\ 025 \text{ kg ha}^{-1}$ ). En cuanto a rendimiento, se registraron diferencias significativas entre fuentes y forma de aplicación, obteniéndose el mayor rendimiento de grano cuando se utiliza sulfato de amonio enterrado ( $5225 \text{ kg ha}^{-1}$ ).

**Palabras claves:** Fertilización, Volatilización, Nitrógeno, Sorgo

## ABSTRACT

Nitrogen losses by volatilization occur to a great extent depending on the nitrogen source, the application method and edaphoclimatic conditions. This research was carried out in the El Plantel research and validation unit, owned by the National Agrarian University (UNA), located at km 30 of the Tipitapa-Masaya highway. The objective was to measure the nitrogen losses by volatilization in a sorghum system and its effect on crop growth and yield, using two nitrogen sources and two application methods. The objective was to measure nitrogen losses by volatilization in a sorghum system and its effect on crop growth and yield, using two nitrogen sources and two application methods. The treatments evaluated were: T1 (surface urea), T2 (buried Urea), T3 (surface ammonium sulfate), T4 (buried ammonium sulfate). The treatments were applied in two moments, one at the time of planting and these conditions at 35 days after sowing (dds) applying and distributing according to the order of the treatments. For the loss of nitrogen by volatilization ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) was evaluated: from sowing (first fertilization) to 10 days later; And at 35 dds up to 45 dds. The analyzed variables were subjected to an analysis of variance and separation of means by minimum significant differences (DMS) with the statistical program INFOSTAT. There are high results when using urea as a nitrogen source (8.86 kg of nitrogen), in the first application. At 35 days after sowing, urea was maintained on the surface (57.68 kg of nitrogen), but not when ammonium sulfate was applied, registering between 12.17 and 9.44 kg of nitrogen, equivalent to 5% of the total applied. These results indicate that for the growth variables, only the diameter of the stem was significantly influenced obtaining a larger diameter with ammonium sulfate. The highest dry matter yield was obtained when the ammonium sulfate was applied below the soil surface ( $8.025 \text{ kg ha}^{-1}$ ). In terms of yield, there were significant differences between sources and application, obtaining the highest grain yield when buried ammonium sulfate ( $5.225 \text{ kg ha}^{-1}$ ) was used.

**Keywords:** Fertilization, Volatilization, Nitrogen, Sorghum

## I. INTRODUCCIÓN

El uso eficiente de los fertilizantes no solo tiene relevancia desde el punto de vista de los costos de producción, sino que también cobra importancia desde la perspectiva del cuidado del ambiente, para evitar problemas de contaminación. En este aspecto, la fuente de nitrógeno elegida y la tecnología de aplicación son dos factores de relevancia para el manejo eficiente del nitrógeno (Salvagiotti y Vernizzi, 2006).

El nitrógeno por presentar diferentes formas químicas en el suelo, se puede perder principalmente en forma de nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) y amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), por lixiviación; en la forma de amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) y en la forma de óxidos gaseosos ( $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}$ ), pérdidas que ocurren cuando se produce un exceso pluvial, siendo esta mayor en suelos arenosos.

Según Tapia (2010), también ocurren pérdidas por desnitrificación, esto es un proceso de reducción bioquímica mediante el cual el nitrógeno de los nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) es devuelto a la atmósfera como óxido de nitrógeno ( $\text{N}_2\text{O}$ ) o como nitrógeno molecular  $\text{N}_2$ , ambos en forma de gas.

La volatilización del amoníaco es un mecanismo que ocurre naturalmente en todos los suelos, por la mineralización del nitrógeno orgánico. Pero, las pérdidas provenientes de fertilizantes químicos son considerablemente mayores que las provenientes del nitrógeno del suelo.

El término volatilización se utiliza para describir el proceso de pérdida de nitrógeno desde el suelo como amoníaco ( $\text{NH}_3$ ). Hauck (1981); citado por Perdomo y Barbazan, (2010) estima que las pérdidas de nitrógeno por este proceso varían de 12 a 20%, pudiendo ser la principal causa de la baja eficiencia de algunos fertilizantes amoniacales como resultado de numerosos procesos químicos, físicos y biológicos, cuya magnitud es afectada por factores climáticos, de suelo y de manejo, tales como temperatura, pH del suelo, capacidad de intercambio catiónico (CIC), materia orgánica, cobertura y calidad de residuos en superficie, viento, tensión de vapor superficial y la dosis y localización del fertilizante.

El Sorgo (*Sorghum bicolor* L.Moench), ha sido un alimento básico en las zonas tropicales, áridas y semiáridas en muchos países del mundo; este cultivo es una de las principales fuentes de energía, proteínas, vitaminas y minerales para millones de habitantes pobres del mundo (FAO, 2002). Según MAG (2009), en Nicaragua las zonas óptimas para la producción de sorgo se localizan en los departamentos de León, Chinandega, Managua, Masaya, Granada y Rivas.

García *et al.*, (2007), mencionan que los principales factores que afectan el rendimiento del grano está las condiciones ambientales y prácticas de manejo, otro problema es, las cantidades de fertilizantes requeridos para el cultivo, la que varía dependiendo del tipo y las condiciones del suelo, por lo que las respuestas del cultivo varían según las condiciones en la que se establecen.

Para Demolón (1995), en la agricultura, el nitrógeno es de vital importancia, pues este elemento se destaca dentro de los esenciales para el crecimiento de la planta, por sus funciones relevantes en la producción y síntesis de aminoácidos que son el componente básico de proteínas, enzimas y vitaminas.

En esta investigación se evaluaron dos fuentes de nitrógeno, urea (46%) y sulfato de amonio (21%), y dos formas de aplicación, sobre la superficie del suelo y enterrado a 10 cm de profundidad.

En Nicaragua no existen estudios que cuantifiquen las pérdidas de nitrógeno por volatilización y dada la importancia del cultivo del sorgo y su utilización para la industria en la producción de alimentos tanto humano como animal, es importante conocer las formas adecuadas de fertilización, para reducir las pérdidas en las áreas cultivadas y aumentar la eficiencia del fertilizante.

Mediante esta investigación se pretende disponer de información sobre las cantidades de nitrógeno perdidos por volatilización y el efecto que estas pérdidas causan en el rendimiento

del cultivo del sorgo, así como su eficiencia según la fuente y forma de aplicación de los fertilizantes.



## **II. OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

Determinar las pérdidas de nitrógeno por volatilización en un sistema de producción de sorgo y su efecto en el crecimiento y rendimiento del cultivo.

### **Objetivos específicos**

1. Cuantificar las pérdidas de nitrógeno por volatilización según la fuente nitrogenada y métodos de aplicación.
2. Evaluar el efecto de las fuentes nitrogenadas y métodos de aplicación sobre la altura, número de hojas, diámetro del tallo y el rendimiento del cultivo.

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Localización y descripción del área de estudio

Esta investigación se realizó durante el período de noviembre del 2015 a febrero del 2016 en la unidad de investigación y validación El Plantel, propiedad de la Universidad Nacional Agraria (UNA), ubicada en el km 30 de la carretera Tipitapa–Masaya en el Departamento de Masaya.

El área donde se estableció el experimento se localiza entre las coordenadas geográficas de 12°06'23'' de latitud norte y 86°05'37'' de longitud oeste, a una altura de 120 msnm. Las precipitaciones anuales varían entre 600 mm y 1 800 mm. Existe una marcada época seca de seis meses (noviembre –abril) donde el promedio de precipitación es de tres milímetros. Los meses de mayor precipitación son septiembre y octubre con un rango medio mensual de 200 a 250 mm de lluvia.

En la figura 1 se presenta el comportamiento de las precipitaciones y temperaturas medias registradas durante el período del ensayo, noviembre 2015 a febrero 2016

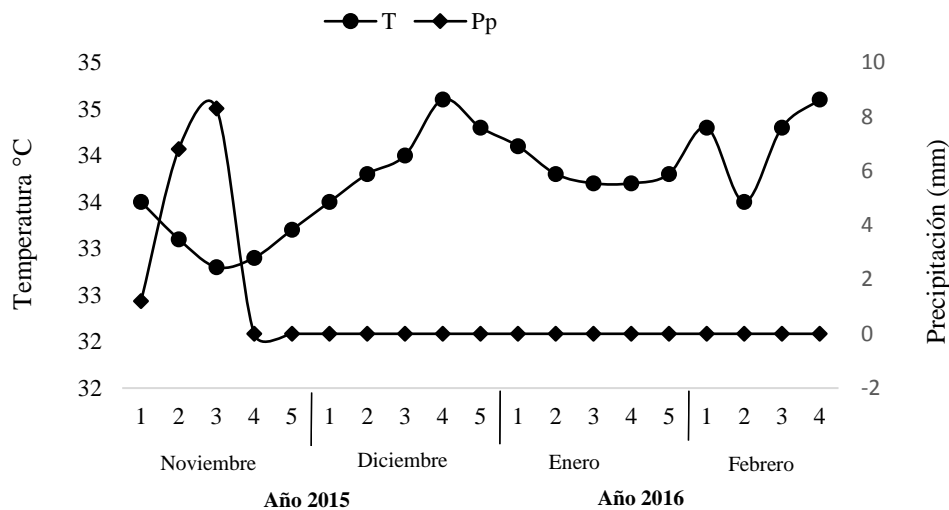


Figura 1. Promedios mensuales de precipitación (mm) y temperatura (°C), durante el experimento. Fuente: INETER (2016).

La temperatura mínima media corresponde al mes de diciembre, con valores que varían entre 24.7°C y 25.3°C. La evaporación media anual es de 2 044 mm, esta es opuesta a la precipitación y de los valores medios de la humedad relativa. Los vientos tienen velocidad promedio de 3.4 m/s(12 km/hora) (Somarriba, 1997)

### 3.2 Análisis químico del suelo

Los suelos de la finca El Plantel se caracterizan por poseer suelos francos arcillosos, muy ligeramente ácidos, con poca profundidad. En términos generales se considera que los suelos son bien drenados y con fertilidad aceptable (Somarriba, 1997)

En el cuadro 1, se indican algunos valores de la fertilidad química suelo.

Cuadro 1. Análisis químico de suelo del área en estudio

pH	MO (%)	N (%)	P (ppm)	K meq / 100 g de suelo	Ca	Mg
6.23	2.62	0.13	4.81	1.34	25.17	6.49
LA	M	M	B	A	A	A

LA: Ligeramente Acido, M: Medio, B: Bajo, A: Alto

Fuente: Laboratorio de suelos y agua (2015).

### 3.3 Descripción de los tratamientos

En el cuadro 2, se describen los tratamientos evaluados según el tipo de fertilizante y formas de aplicación.

La dosis de nitrógeno fue fraccionada en 30% (57 kg ha<sup>-1</sup>) al momento de la siembra y el restante 70% (133 kgha<sup>-1</sup>) aplicado (según tratamientos) a los 35 dds, el fosforo y potasio en dosis de 95 y 100 kg ha<sup>-1</sup> respectivamente, se aplicaron al momento de la siembra.

Cuadro 2. Descripción de los tratamientos

Tratamiento	Descripción	Dosis (kg ha <sup>-1</sup> )	
		I Aplic.*	II Aplic.
Urea (46%)	Aplicada en la superficie del suelo	57	133
Urea (46%)	Aplicada 10 cm por debajo de la superficie del suelo	57	133
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Aplicado en la superficie del suelo	57	133
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Aplicado 10 cm por debajo de la superficie del suelo	57	133

\* Aplicación inicial al fondo del surco, Aplic: Aplicación.

### 3.4 Características de la variedad

PIONER 85P20 es un híbrido de ciclo intermedio, con excelente calidad de tallos, amplia adaptabilidad, tolerante a enfermedades de la panoja y excelente sanidad foliar. Con días a floración entre 70 y 75, y días a cosecha de 150 a 155, alcanza una altura entre 1.40 y 1.50 m.

### 3.5 Diseño experimental

Se utilizó un arreglo bifactorial en Diseño de Bloques Completos al Azar (BCA) con cuatro tratamientos y tres repeticiones.

### 3.6 Descripción de la unidad experimental

En el campo se establecieron 12 unidades experimentales con dimensiones de cuatro metros de largo por cuatro metros de ancho (16m<sup>2</sup>), con separación de un metro entre cada bloque definiéndose un área experimental de 168 m<sup>2</sup> (12 m x 14 m). La parcela útil consistió en dos surcos centrales de dos metros cada uno, para un área de 1.2 m<sup>2</sup>.

### 3.7 Variables evaluadas

#### 3.7.1 Pérdida de nitrógeno por volatilización ( $\text{kg ha}^{-1}$ )

Para determinar el nitrógeno volatilizado, se utilizó la metodología propuesta por Araujo *et al.*, 2009, que consiste en utilizar una cámara semiabierta estática captadora de amoníaco, la que fue elaborada con una botella de plástico con capacidad de dos litros, con una superficie de  $0.008 \text{ m}^2$ , la base de la botella se retiró y colocó en la parte superior con la ayuda de un alambre galvanizado y el anillo de la tapa del frasco (tapa después de la retirada de la parte superior), que sirvió como una protección contra la influencia de la lluvia o el riego (anexo 1 y 2).

Dentro del recipiente de plástico, el sistema de absorción de amoníaco se basa en el uso de una lámina de espuma de poliuretano embebidas en ácido sulfúrico (1 molar), con dimensiones de  $2.5 \text{ cm}$  de ancho y  $25 \text{ cm}$  de largo, suspendido verticalmente. Las cámaras fueron ubicadas en grupo de tres por parcela útil, las que fueron fijadas al suelo usando estacas y de esta manera evitar el escape de amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) hacia la atmósfera. Se realizaron cambios de las cámaras cada tres días.

Las muestras obtenidas de cada cámara de captación fueron llevadas al laboratorio para su análisis. Para realizar los análisis de nitrógeno en el laboratorio se utilizó el método propuesto por Kjeldhal mediante la destilación, donde se libera el amoníaco, el cual es retenido en una solución de ácido bórico, y su posterior determinación por titulación para valorar finalmente la cantidad de amoníaco perdido, presente en las muestras destiladas. Las pérdidas en la parcela sin fertilización también fueron medidas y consideradas para el cálculo de la pérdida exclusiva del nitrógeno proveniente de la fertilidad natural del suelo.

Antes de realizar el análisis de las muestras, el equipo fue calibrado mediante pruebas de recuperación, obteniéndose un promedio de 98%.

Durante el crecimiento del cultivo a los 35 y 60 días después de la siembra, se realizaron mediciones en 10 plantas seleccionadas al azar dentro de cada parcela útil.

### **3.7.2 Altura de planta (cm)**

Se midió desde el nivel del suelo hasta el punto de inserción de la última hoja formada con el cuello completamente visible, seleccionando a alzar 10 plantas por cada parcela útil utilizando una cinta métrica.

### **3.7.3 Diámetro del tallo (mm)**

Se registró en milímetros con el uso de un vernier en el segundo entrenudo del tallo y en las diez plantas que se registró la altura.

### **3.7.4 Número de hojas**

Se contabilizaron las hojas funcionales que presentaban el cuello foliar completamente visible.

Al momento de la cosecha se evaluó, biomasa seca (tallos y hojas), peso de 1000 granos y rendimiento de grano, éstas se registraron a los 120 días después de la siembra.

### **3.7.5 Biomasa seca ( $\text{kg ha}^{-1}$ )**

Se cosecharon las plantas ubicadas en los dos surcos centrales cuya longitud era de dos metros. Se determinó el peso fresco, posteriormente se sometió a un proceso de secado a una temperatura de  $65^{\circ}\text{C}$  por 24 horas, luego se determinó el peso seco en  $\text{kg ha}^{-1}$ .

### **3.7.6 Peso de 1 000 granos (g)**

Se seleccionaron mil granos de sorgo por cada tratamiento, luego se pesaron con un ajuste de 14% de humedad.

### **3.7.7 Rendimiento de grano (kg ha<sup>-1</sup>)**

Se colectó la producción de grano proveniente de los dos surcos centrales de la parcela útil, se pesó y los valores obtenidos fueron ajustados al 14% de humedad según la ecuación propuesta por Gómez y Minelli (1990).

$P_f (100 - H_f) = P_i (100 - H_i)$ , donde  $P_f$  = peso final,  $H_f$  = Humedad final,  $P_i$  = peso inicial,  $H_i$  = humedad inicial.

### **3.8 Análisis estadístico**

Los análisis obtenidos de las variables estudiadas fueron sometidos a un análisis de varianza (ANDEVA) y separación de medias por DMS (Diferencias Mínimas Significativas) al 5% de confiabilidad mediante el uso del programa estadístico INFOSTAT.

### **3.9 Manejo agronómico del cultivo**

La preparación del suelo se realizó de forma convencional realizando un pase de arado y dos pases de grada. La siembra se realizó de manera manual el 11 de noviembre del año 2016, depositando la semilla a chorrillo ralo con una distancia entre hilera de 0.6 metros, aplicando al momento de la siembra fertilizante completo de la fórmula 12-30-10. Con esta aplicación, se suministró todo el fósforo (95 kg ha<sup>-1</sup>) y toda la necesidad de potasio (100 kg ha<sup>-1</sup>), complementado con cloruro de potasio y el 30% de la dosis de nitrógeno (57 kg ha<sup>-1</sup>). A los 35 dds se aplicó el 70% restante del nitrógeno (133 kg ha<sup>-1</sup>) usando urea y sulfato de amonio.

El raleo se realizó a los 20 días después de la siembra de forma manual, con el objetivo de eliminar plántulas anormales y mantener la densidad poblacional adecuada.

Al alcanzar el cultivo su madurez fisiológica se realizó la cosecha de forma manual utilizando tijeras para el corte de las panojas, cosechando los dos surcos centrales de la parcela útil para evaluar el rendimiento del grano.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Pérdida de nitrógeno por volatilización (kg ha<sup>-1</sup>)

El nitrógeno (N) es el elemento primario o macro nutriente que las plantas necesitan en mayor cantidad, participa en la síntesis de aminoácidos y de otros compuestos vitales como son: la clorofila, los ácidos nucleicos y las enzimas. Según Havlin *et al.*, (1999) es el nutriente que con frecuencia es el más requerido para la producción de los cultivos.

El nitrógeno es un elemento muy dinámico en el suelo, en sus procesos de transformación ocurren procesos de pérdidas, uno de estos procesos es la volatilización del amoníaco. Este es un mecanismo que ocurre naturalmente en todos los suelos, por mineralización de nitrógeno orgánico, pero, las pérdidas provenientes de fertilizantes químicos son considerablemente mayores que las provenientes del nitrógeno del suelo.

Entre los procesos de pérdida de nitrógeno, la volatilización de amoníaco es un proceso importante en fertilizantes nitrogenados. Según el manejo que se haga con estos fertilizantes (momento, forma de aplicación) la pérdida por volatilización tendrá diferente magnitud, de acuerdo a las condiciones de temperatura y humedad reinantes durante el periodo que el fertilizante esté expuesto a las condiciones ambientales, siendo las altas temperaturas y alta humedad las que pueden generar un mayor potencial de pérdida (Salvagiott y Vernizzi, 2006).

#### 4.1.1 Volatilización de nitrógeno aplicado a la siembra (kg ha<sup>-1</sup>)

La figura 2, indica que las pérdidas iniciales después de ocurrida la aplicación de urea pueden alcanzar entre un 1.6 a 15.6 % del total aplicado en las primeras 72 horas; después de ese tiempo, las pérdidas son mínimas, la misma tendencia se observó para sulfato de amonio, solo que en este caso las pérdidas fueron menores a 4% respecto a la urea, esto es debido a que la urea al hidrolizarse, alcaliniza la zona del suelo que está en contacto con el fertilizante, condición que propicia la conversión a amoníaco el cual por su condición de gas, se volatiliza, viéndose favorecida la pérdida por la baja humedad en el suelo y las altas temperaturas. Si



bien la variación de la pérdidas entre ambas fuentes es pequeña (3% aproximadamente), hay que recordar que ambas fuentes fueron aplicadas al fondo del surco lo que pudo haber disminuido las pérdidas incluyendo a la misma urea.

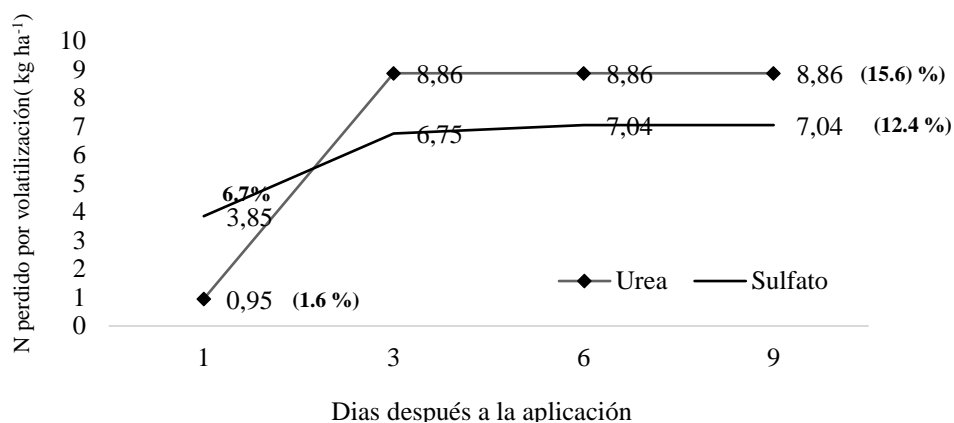


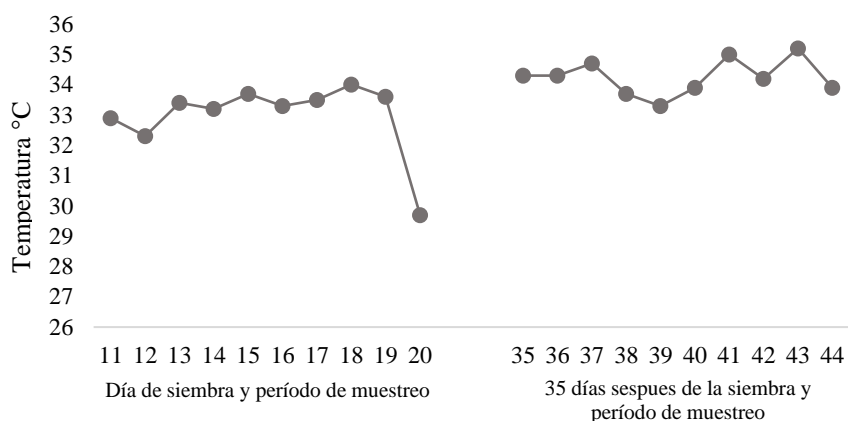
Figura 2. Pérdida de nitrógeno por volatilización (kg ha<sup>-1</sup>) aplicado al momento de la siembra.

Perdomo (2010), ha señalado que el suelo pierde nitrógeno por volatilización de manera natural, cuando la materia orgánica se mineraliza, estas pérdidas son afectadas por los mismos factores que afectan al nitrógeno aplicado como fertilizante; para Hauck (1981), las pérdidas de nitrógeno por dicha vía varían entre 12 y 20%, en este estudio los valores variaron en el rango indicado por este autor.

Ferraris *et al.*, (2009), en estudios realizados evaluando pérdidas por volatilización de distintas fuentes de nitrógeno, reportaron pérdidas de 3.1 kg ha<sup>-1</sup> provenientes de la materia orgánica del suelo, en este estudio las pérdidas proveniente de la materia orgánica fue de 5.7 kg ha<sup>-1</sup>.

En la figura 3 se observan las condiciones de temperatura durante los días posteriores a la aplicación de los fertilizantes, que coinciden con el muestreo, estas se caracterizaron por ser temperaturas mayores a 33°C. Este factor configuró un ambiente favorable para la volatilización, ya que a mayores temperaturas, más rápido será la conversión de amoníaco disuelto en la solución del suelo a amoníaco en el aire.

Estudios realizados por Ferrarisset *al.*, (2009), reportaron que las emisiones de amoniac fueron detectadas desde el inicio del ensayo, pero solo se evidenciaron diferencias entre tratamientos a partir del tercer día. En cambio en este estudio, las pérdidas de nitrógeno fueron detectadas desde las primeras 24 horas de realizada la aplicación, donde la mayor cantidad de nitrógeno volatilizado se obtuvo al utilizar urea como fuente nitrogenada. Este efecto pudo haberse acentuado por la poca humedad en el suelo y las altas temperaturas.



**Figura 3.** Comportamiento de temperatura (°C) por día durante el período de muestreo noviembre y diciembre 2015

#### 4.1.2 Volatilización de nitrógeno (kg ha<sup>-1</sup>) aplicado a los 35 dds

A los 35 días después de la siembra (figura 3), la temperatura incrementó durante los días de muestreo, provocando un aumento en las pérdidas de nitrógeno volatilizado.

En la figura 4 se observa que las mayores pérdidas se presentan cuando los fertilizantes son aplicados en la superficie del suelo, lo que concuerda con Sangoi *et al.*, (2003), quienes afirman que cuando la aplicación del fertilizante se realiza en la superficie y no es incorporado al suelo ocurren las máximas pérdidas de nitrógeno por volatilización.

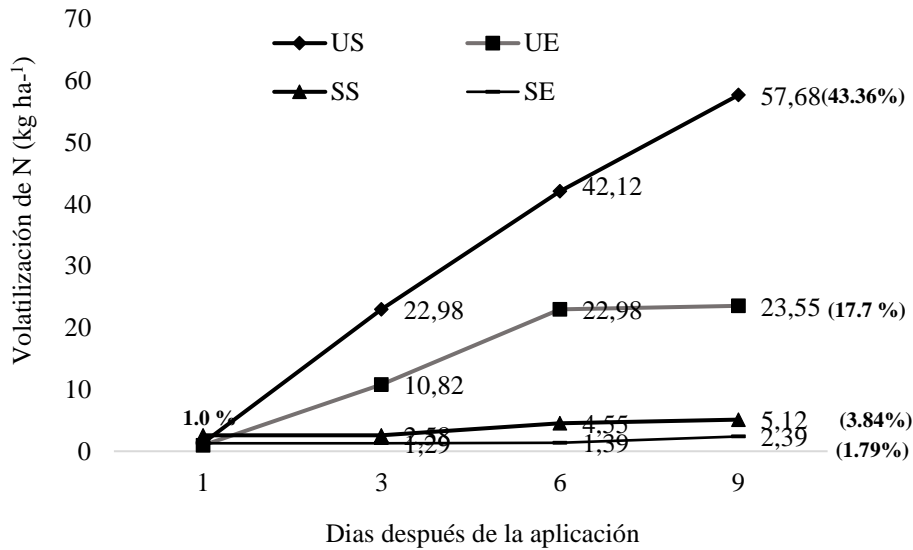


Figura 4. Pérdida por volatilización del nitrógeno que se aplicó a los 35 días después de la siembra ( $\text{kg ha}^{-1}$ ).

US: urea en la superficie, UE: urea enterrada, SS: sulfato de amonio en la superficie, SE: sulfato de amonio enterrado.

Los resultados obtenidos indican que las pérdidas son mayores cuando se utiliza urea como fuente de nitrógeno en comparación con sulfato de amonio aplicada superficialmente. La diferencia en porcentaje de nitrógeno perdidos entre ambas fuentes varió entre 15.34 % a los tres días después de ocurrida la aplicación ( $20.4 \text{ kg ha}^{-1}$ ) a 39.5 % a los nueve días después de la aplicación ( $52.56 \text{ kg ha}^{-1}$ ). La misma tendencia, mostraron las pérdidas de urea enterrada en comparación con sulfato enterrado, solo que las pérdidas fueron menores y las variaciones porcentuales fueron más pequeñas.

Independientemente de la fuente, las pérdidas serán mayores cuando se aplica en la superficie, que cuando se entierra; sin embargo, las pérdidas resultan menores cuando la fuente utilizada es sulfato de amonio. Esto puede deberse a que la urea al ser aplicada al suelo y se hidroliza, la enzima ureasa produce carbonato de amonio, compuesto inestable que rápidamente se descompone liberando el gas  $\text{NH}_3$ .

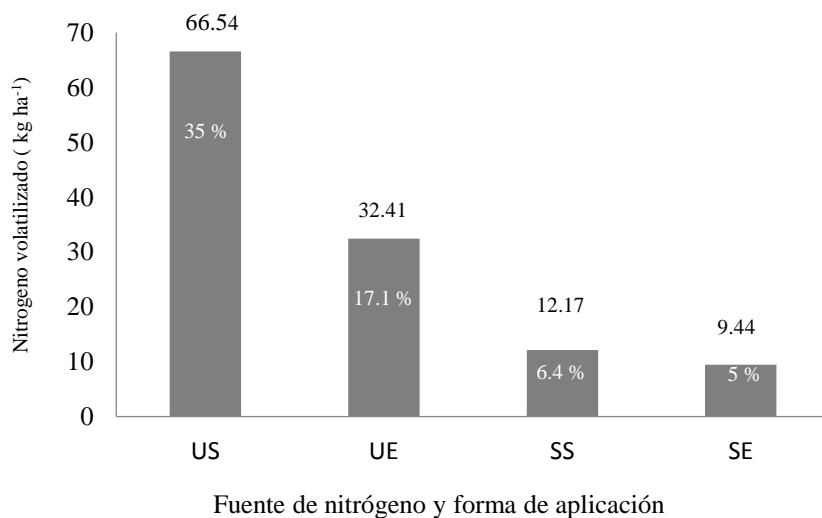
Ordóñez *et al.*, (2005), al evaluar la volatilización de nitrógeno en dos suelos del Valle del Cauca en Colombia, registraron que cuando la urea se aplica superficialmente, las pérdidas

alcanzan valores entre 13.1 y 15.2%, en comparación con la urea incorporada al suelo, cuyas pérdidas se reducen entre 0.2 y 0.8%.

Estos resultados coinciden con lo descrito por Lara *et al.*, (1997) quienes reportaron que cuando una fuente nitrogenada no se incorpora en el suelo, exhibe pérdidas por volatilización en forma de amoníaco ( $\text{NH}_3$ ), hasta de un 50% del nitrógeno aplicado. Siendo las altas temperaturas y alta humedad las que pueden generar un mayor potencial de pérdidas.

En la figura 5 se muestran las pérdidas totales de nitrógeno según la fuente y forma de aplicación. En ella se observa que las pérdidas totales de nitrógeno después de ocurrida la aplicación de la urea, alcanzan hasta  $66.54 \text{ kg ha}^{-1}$  disminuyendo hasta  $32.41 \text{ kg ha}^{-1}$  cuando es enterrada, esto significa que enterrarla se ahorraría hasta un 51% del nitrógeno que se pierde si se aplica de forma superficial. La misma tendencia se observó cuando la fuente es sulfato de amonio, solo que con esta fuente de nitrógeno las diferencias en las cantidades pérdidas no son importantes, solo representan una diferencia entre ambas formas de aplicación de  $2.73 \text{ kg ha}^{-1}$ , equivalente a 1.4 % de pérdida.

También se muestra que las pérdidas se reducen de acuerdo a la fuente de nitrógeno utilizada.



Figuras 5. Pérdidas totales de nitrógeno volatilizado en el cultivo del sorgo ( $\text{kg ha}^{-1}$ ).  
US: urea en la superficie, UE: urea enterrada, SS: sulfato de amonio en la superficie, SE: sulfato de amonio enterrado

Estudios realizados en Argentina por Fontanetto *et al.*, (2006) en el cultivo del trigo, se evaluaron las pérdidas por volatilización de nitrógeno ( $\text{kg ha}^{-1}\text{y } \%$ ) según su fuente, se encontró que las pérdidas totales por volatilización fueron mayores con urea (5.1 y 7.3%) de nitrógeno perdidos, en comparación con el uso de urea-nitrato de amonio (UAN) con 2.6 y 3.32% del nitrógeno.

Leal *et al.*, (2007), al realizar estudios sobre pérdidas de nitrógeno, en el cultivo del café en Colombia, reportaron pérdidas entre 30 y 35% del nitrógeno total aplicado, igualmente Costa *et al.*,(2003),reportaron pérdidas entre 35 y 36% del nitrógeno aplicado en plantaciones de caña de azúcar en Brasil.

## **4.2 Variables de crecimiento**

El análisis estadístico no indica significancia para la interacción de los factores, por lo que el análisis se realiza independiente para cada factor de estudio.

### **4.2.1 Altura de la planta (cm)**

Cuadra (1998), indica que la altura de planta de sorgo es un indicador de su velocidad de crecimiento y está determinada por la elongación del tallo al acumular en su interior los nutrientes producidos durante la fotosíntesis, además está fuertemente influenciado por las condiciones ambientales como temperatura, humedad, cantidad y calidad de luz. La altura del sorgo es una característica variable que se encuentra sometida a control genético (FAO, 2002).

El ANDEVA realizado a los 35 días después de la siembra (cuadro 3), mostró, que no existe efecto por la fuente nitrogenada sobre la altura de planta, lo que hace suponer que la altura es una variable que puede no estar influenciada por la fuente de nitrógeno que se utilice como fertilizante, y que su comportamiento es más debido a características genéticas

Cuadro 3. Altura de planta (cm) según fuente y forma de aplicación

Tratamiento	35 dds	Tratamiento	60 dds
		Urea en la superficie	91.00
Urea	35.14	Urea enterrada	89.88
Sulfato	33.62	Sulfato en la superficie	88.00
		Sulfato enterrado	91.60
DMS	8.38	DMS	19.22

DMS: diferencia mínima significativa, dds: días después de la siembra.

La altura registrada a los 60 días después de la siembra fue superior a las reportadas por Juárez y Martínez (2011), quienes en este mismo período midieron alturas entre 50 y 58.79 cm; Morales, (2002) indica que la altura de la planta de sorgo puede variar entre 140 y 170 cm.

Este comportamiento pudo haber estado influenciado por el incremento de las temperaturas, lo que incrementó la cantidad de nitrógeno perdido por volatilización y disminuyó la disponibilidad para la planta, pero además coincidió con una baja humedad en el suelo. Barbieri *et al.*, (2010) en estudio sobre volatilización del nitrógeno en plantaciones de maíz en Argentina, reportan un comportamiento similar, en el que el nitrógeno volatilizado se incrementó al aumentar la temperatura.

#### 4.2.2 Número de hojas

Las hojas son órganos primarios que salen del tallo y ejecutan dos importantes funciones en la vida del vegetal, el proceso de fotosíntesis destinado a la elaboración de materia orgánica y la transpiración destinada a eliminar el exceso de agua por lo que tiene una relación directamente proporcional con el crecimiento y rendimiento del cultivo (Peña, 1984).

Según Somarriba (1997), al momento de hacer un conteo de hojas, se debe considerar como hojas desarrolladas aquellas que presentan el cuello, la vaina y la lámina totalmente visible.

Según Compton (1990), el número de hojas varía de entre siete y 24 según la variedad y longitud del período de crecimiento, siendo esto también un factor determinante en la

producción de biomasa seca. En el cuadro 4 se presenta el análisis de varianza para el número de hojas en los dos momentos de muestreo, no encontrándose diferencias significativas.

Cuadro 4. Número de hojas según fuente, forma de aplicación y dds

Tratamiento	35 dds	Tratamiento	60 dds
Urea	4.6	Urea en la superficie	6.93
Sulfato	4.5	Urea enterrada	7.53
		Sulfato en la superficie	6.57
		Sulfato enterrado	6.60
DMS	2.54	DMS	3.68

Los resultados obtenidos en esta variable confirman lo descrito por Compton (1990), quien plantea que, el número de hojas en la planta de sorgo varía según la variedad, características genéticas, condiciones ambientales y densidad poblacional no viéndose influenciado por el fenotipo.

#### 4.2.3 Diámetro del tallo

El tallo del sorgo está formado por una serie de nudos y entrenudos, es delgado y muy vigoroso, midiendo entre 0.5 a 5 cm cerca de la base, volviéndose más angosto en el extremo superior. En cuanto a su consistencia, el tallo es sólido, con una corteza o tejido o exterior duro y una medula suave (Somarriba, 1998).

Según Phoelman(1985), El diámetro del tallo tiene gran importancia para la obtención de altos rendimientos.

En el cuadro 5, se muestra que el mayor diámetro a los 35 días después de la siembra fue influenciado por la fuente de nitrógeno utilizado, este comportamiento se mantuvo a los 60 días después de la siembra. En este periodo no solo existen diferencias entre las fuentes, sino también en la forma en que se aplica el fertilizante.

Según García *et al.*, (2007), es necesaria la aplicación de nitrógeno para que la planta adquiriera un diámetro adecuado y evite el acame.

Cuadro 5. Diámetro de tallo (cm) según fuente y forma de aplicación

Tratamiento	35 dds	Tratamiento	60 dds
Urea	0.88b	Urea en la superficie	1.11b
Sulfato	1.0a	Urea enterrada	1.05b
		Sulfato en la superficie	1.21a
		Sulfato enterrado	1.12b
DMS	0.10	DMS	0.23

Cuadra (1998) plantea que el diámetro puede estar influenciado por factores genéticos, ambientales y por la densidad de población usada.

Los valores de diámetro registrado en este estudio son similares a las reportadas por Juárez y Martínez (2011), y concuerda con Somarriba (1998), quien plantea que el diámetro del tallo mide entre 0.5 y 3 cm.

#### 4.3 Variable de rendimiento

Para las variables de rendimiento no se registra significancia para el análisis de los factores, por lo que éstos se analizan de manera independiente.

##### 4.3.1 Materia seca ( $\text{kg ha}^{-1}$ )

La materia seca acumulada está estrechamente relacionada con el índice del área foliar (el cual se alcanza unos días antes de la antesis) condiciones climáticas, densidad poblacional y la absorción de nitrógeno por el cultivo (Paul, 1990).

De acuerdo a la información presentada en el cuadro 6, la materia seca, no solo fue influenciada por la fuente de nitrógeno, sino también por su forma de aplicación.

La mayor producción de biomasa se obtuvo cuando el sulfato es enterrado lográndose 59 % más materia seca que cuando se aplica en superficie; en cambio, con urea la materia seca es similar, sin importar la forma en que se aplique.



Compton (1990), menciona que para obtener un buen desarrollo del área foliar es necesario la aplicación de nitrógeno, por ende la tasa de materia seca será mayor

Cuadro 6. Materia seca (tallo + hojas)

Tratamiento/ Variable	MS
Urea en la superficie	6 749.73 b
Urea enterrada	6 629.67 b
Sulfato en la superficie	4 797.80 c
Sulfato enterrado	8025.30 a
DMS	1 896

MS: Materia seca.

#### 4.3.2 Peso de mil granos(g)

Según Zapata y Orozco, (1991), el peso de grano es poco influenciada por el medio ambiente y está ligada a los caracteres de cada variedad. Esta variable demuestra la capacidad de trasladar nutrientes acumulados por la planta en su desarrollo vegetativo al grano en la etapa reproductiva.

El cuadro 7, indica dos categorías estadísticas para la variable peso de mil granos, obteniendo mayor peso cuando el sulfato de amonio fue aplicado en la superficie, seguido del sulfato de amonio enterrado. Cuando la fuente fue urea, no se registraron diferencia en la forma de aplicación.

Cuadro 7. Peso de mil granos

Tratamiento/ Variable	PMG
Urea en la superficie	26.95 b
Urea enterrada	29.95 b
Sulfato en la superficie	33.10 a
Sulfato enterrado	31.67 b
DMS	5.14

PMG: Peso de mil granos.

Los valores registrados coinciden con los reportados por Montenegro *et al.*, (2000), quienes indican que el peso de mil granos de sorgo puede variar entre 11.6 y 36.1 gramos.

### 4.3.3 Rendimiento del grano(kg ha<sup>-1</sup>)

El rendimiento del sorgo es el resultado de factores biológicos y ambientales, los cuales interaccionan entre sí, también está determinado por la eficiencia, que las plantas hacen en la utilización de los recursos existentes en el medio (Compton, 1990), el nitrógeno conduce a menudo a un rendimiento más alto del grano.

Los resultados en el cuadro 8 indican diferencia estadística sobre la variable rendimiento, sin importar la fuente, cuando los fertilizantes nitrogenados se ubicaron por debajo de la superficie del suelo respecto a la aplicación superficial. En el cuadro también se muestra, que cuando se utiliza sulfato de amonio el rendimiento es un poco más alto, aunque sin diferencia estadística.

Cuadro 8. Rendimiento (kg ha<sup>-1</sup>)

<b>Tratamiento</b>	<b>Rendimiento</b>
Urea en la superficie	4 155 b
Urea enterrada	5 089 a
Sulfato en la superficie	3 345c
Sulfato enterrado	5 225a
DMS	1 253

Fontanetto *et al.*, (2006) describen que el mayor rendimiento se obtiene cuando los fertilizantes nitrogenados son aplicados enterrados en el suelo, esto concuerda con los resultados de este estudio, ya que los mayores rendimientos se obtuvieron cuando los fertilizantes fueron aplicados por debajo de la superficie del suelo.

## V. CONCLUSIONES

Las pérdidas de nitrógeno por volatilización en ambos momentos de aplicación fueron mayores cuando se aplicó urea como fuente de nitrógeno. Producto de la segunda fertilización, las mayores pérdidas se obtuvieron con urea aplicada en la superficie.

Las pérdidas totales, en porcentaje del total de nitrógeno aplicado, son mayores al fertilizar superficialmente con urea (35%) y menores al enterrar el sulfato de amonio (5%).

Para las variables de crecimiento a excepción del diámetro del tallo, no se registraron diferencias significativas, en cambio para materia seca, se obtiene mayor producción cuando el sulfato de amonio se aplica por debajo de la superficie del suelo ( $8\ 025\ \text{kg ha}^{-1}$ ).

El mayor peso de mil granos (33.10 g) se obtuvo al aplicar sulfato en la superficie, sin embargo, el mayor rendimiento de grano se obtiene cuando el sulfato de amonio y la urea son aplicados por debajo de la superficie del suelo.

## **VI. RECOMENDACION**

Los fertilizantes nitrogenados, independientemente de la fuente, deben aplicarse bajo la superficie del suelo, ya que las pérdidas por volatilización son menores.

## VII. LITERATURA CITADA

- Álvarez, M. 1991. Efecto de 4 densidades poblacionales y 4 niveles de nitrógeno en el rendimiento de sorgo. Tesis. Universidad Nacional Agraria. Managua, NI. 17 p.
- Araujo, E; Marsola, T; Miyazawa, M; Soares, L.2009. Calibração de cámara semi-aberta estática para quantificação de amônia volatilizada do solo. Rio de Janeiro, BR. 8 p.
- Barbieri, P; Herchevarria, H; Sainz, H; Maringolo, M. 2010. Fertilización de maíz con urea de liberación lenta: Perdida por volatilización y eficiencia de uso de nitrógeno. Buenos Aires, AR. 11p.
- Blandón, A. 2008. Comportamiento agronómico del sorgo (*Sorghum bicolor* L.Moench) bajo aplicación de diferentes abonos orgánicos. Tesis. Ing. Agr. Universidad Nacional Agraria, Facultad de Agronomía. Managua, NI. 36 p.
- Compton L. 1990. Agronomía del sorgo. 301p.
- Costa, G; Vitti, C; Cantarella, H. 2003. Volatilização de N-NH<sub>3</sub> de fontes nitrogenadas em cana-de-açúcar colhida sem despalha a fogo. Revista Brasileira de Ciência do Solo 27: 631-637.
- Cuadra, RM. 1998. Efecto de diferentes densidades de siembra y distancia entre hileras sobre el crecimiento y desarrollo del sorgo. Tesis. Universidad Nacional Agraria. Managua NI. 38 p.
- Cruz, O.2005. Rendimiento de tres cultivares de sorgo [(*Sorghum bicolor* (L.) Moench.) en el pacifico sur de Nicaragua, Tesis. Lic. Universidad Nacional Agraria, Facultad de Desarrollo Rural. Managua, NI. 35 p.
- Demolon. 1995. Principios de agronomía. Crecimiento de los vegetales cultivados. Pueblo y educación. La Habana, CU, 4° edición 587 p.
- Espinoza A. 1992. Evaluación de generaciones F7 de sorgo para formación de variedades mejoradas en Nicaragua. En XXXVIII reunion anual del PCCMCA. Managua NI. 62-63 p.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 1995. El sorgo y el mijo en la nutrición humana (colección FAO: alimentación y nutrición, N° 27). Roma, IT. 208 p.
- FAO. (Food and agriculture organization of the United Nations) 2002. Production yearbook. FAO, Rome, IT. p 107-108.
- Ferraris, GN; Couretot, LA; Toribio, M. 2009. Pérdidas de nitrógeno por volatilización y su implicancia en el rendimiento del cultivo de maíz: Efectos de fuente, dosis y uso de inhibidores. Informaciones Agronómicas 43:19-22.

- Figuroa, N. 2007. Evaluación agronómica y uso eficiente de nitrógeno en 16 líneas de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) con dos niveles de fertilización nitrogenada en el municipio de Tisma, Masaya. Tesis. Ing. Agr. Universidad Nacional Agraria, Facultad de Agronomía. Managua, NI. 54 p.
- Fontanetto, H; Keller, O; Belotti, N. 2006. Pérdidas por volatilización de amoníaco de diferentes fuentes nitrogenadas en trigo bajo siembra directa. INTA-Estación Experimental Agropecuaria Rafaela. 6 p.
- García Centeno, L; Téllez Obregón, O; Mason, S. 2007. Uso eficiente del nitrógeno por 16 líneas de sorgo en Nicaragua. Managua, NI. 12 p.
- Gómez, O; Minelli, M. 1990. La producción de semilla. Texto básico para el desarrollo del curso de producción de semilla en la Universidad de Nicaragua, ISCA. Escuela de producción vegetal. Managua, NI. 76 p.
- González, E; López, A. 2006. Estudio del crecimiento y sobrevivencia de cinco especies forestales en la finca El Plantel. (en línea). Consultado 5 Dic. 2015. Disponible en <http://repositorio.una.edu.ni/1082/1/tnk10g643e.pdf>.
- Hauck, RD. 1981. Nitrogen fertilizer effects in nitrogen cycle processes. p.551-562. In F.E. Clark and T. Roswall (ed.). Terrestrial nitrogen cycles. Ecol. Bull. 33. Swedish Natural Science Research Council, Stockholm.
- Havlin, JL; Beaton, DJ; Tisdale, SL; Nelson, WL. 1999. Soil fertility and fertilizers. An introduction to nutrient management. Upper Saddle, Prentice Hall, 499p.
- Hargrove, WL; Bock, BR; Urban, WJ. 1988. Comparison of nitrogen sources for surface application to winter wheat. JournalFertilizerIssues. 5:45-49.
- INETER (Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales). 2016. Departamento de estadística de meteorología. Managua, Nicaragua.
- INTA(Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria). 2006. Cultivo del sorgo. Guía tecnológica N° 5. Managua, NI. 21 p.
- Juárez, D; Martínez, V.2011. Evaluación de la línea de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) ICSVLM -92512, bajo tres dosis y distintas fuentes de Nitrógeno en el municipio de San Ramón, Matagalpa. 49 p.
- Kjeldahl, J. 2012. Método Kjeldahl. (en línea). Consultado 12 de jul.2016. Disponible en <http://www.grupo-selecta.com/notasdeaplicaciones/sin-categoria/metodo-kjeldahl>.
- Lara CWAR; Trivelin, PCO; W, AR; Bendassolli, JÁ; Santana, DG; Gascho, GJ. 1999. Calibration of a semi-open static collector for determination of ammonia volatilization from nitrogen fertilizers. Communications in Soil Science and Plant Analysis 30:389-406.

- Lara C, WAR; Korndörfer, GH; Motta, SA. 1997. Volatilização de N-NH<sub>3</sub> na cultura de milho: I. Efeito da irrigação e substituição parcial da uréia por sulfato de amonio. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 21: 481-487 p.
- Leal V, LA; Salamanca, JA; Sadeghian, KH. 2007. Pérdidas de nitrógeno por volatilización en cultivos de sorgo en etapa productiva. *Cenicafé* 58(3):216-226.
- Martínez Villavicencio, RJ. 2009. Determinación del número de aplicaciones de fungicidas e insecticidas para el manejo de plagas y enfermedades en etapa vegetativa en el cultivo del Sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). Tesis. Ing. Agr. Universidad Nacional Agraria, Facultad de Agronomía. Managua, NI. 47p.
- Maranville, JW; Clark, Rb; Ross, WM. 1980. Nitrogen efficiency in grain sorghum. *J. of Plant Nutrition* 2:577-589.
- MAG (Ministerio Agropecuario y Forestal, NI). 2009. Fortalecimiento al sistema nacional de semillas (en línea). Consultado 10 ene.2016. Disponible en <http://www.magfor.gob.ni/programas/pea/salva/Evaluacion%20Social%20de%20Territorios%20Ampliacion%20PTA%20II.pdf>
- Montenegro, M. 2000. Efecto de tres densidades de poblaciones y tres distanciamientos entre hileras sobre el crecimiento, desarrollo y rendimiento del sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench). Tesis. Ing. Agro. Universidad Nacional Agraria. Managua, NI. 44 p.
- Morales, VM. 2002. Comportamiento de generaciones F5 de sorgo Granífero (*Sorghum bicolor* L. Moench), en Nicaragua. Tesis Ing. Agr. Universidad Nacional Agraria. Managua, Nicaragua. 47p.
- Ordoñez, S; Quintero, R; Larrahondo, E; Jaramillo, A. 2005. Evaluación de dos métodos analíticos para cuantificar las pérdidas de nitrógeno por volatilización en suelos del valle del río Cauca. *Carta Trimestral Cenicaña* 27(2): 4-9.
- Paul, CL. 1990. Agronomía del sorgo. CENTA. El Salvador, SV. 1-63 p.
- Peña, SE. 1984. Influencia de cultivo y control de malezas sobre la senescencia de malezas y el crecimiento, desarrollo y rendimiento del cultivo del sorgo. 50 p.
- Perdomo, C; Barbazan, M. 2010. Nitrógeno. Facultad de agronomía. Universidad de la República. Montevideo. UR. 74 p.
- Phoelman, LM. 1985. Mejoramiento genético de las cosechas. Limusa, México. 453p.
- Rodríguez, A; Torrés, N. 2010. Comportamiento agronómico de 10 líneas precoces de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), Centro Experimental del Valle de Sébaco (CEVAS-INTA), primera 2010. Tesis. Ing. Agr. Universidad Nacional Agraria, Facultad de Agronomía. Managua, NI. 48 p.

- Salvagiotti, F; Vernizzi, A. 2006. Pérdidas de nitrógeno por volatilización y su efecto en el rendimiento del cultivo de maíz.(en línea). Consultado 10 ene. 2016. Disponible en <http://anterior.inta.gov.ar/oliveros/info/documentos/maiz/nutricion2.pdf>
- Sangoi, L; Ernani, P; Lech, V; Rampazzo, C. 2003. Volatilization of N-NH<sub>3</sub> influenced by urea application forms, residue management and soil type in lab conditions. *Ciência Rural* 33: 687-692 p.
- Somarriba, C. 1997. Texto básico granos básicos. Universidad Nacional Agraria. Managua, NI. 165 p.
- \_\_\_\_\_ 1998. Texto básico Granos básicos. Universidad Nacional Agraria. Managua, NI 197 p.
- Suarez, M; Zeledon, JL. 2003. Uso eficiente del nitrógeno por cuatro variedades de sorgo granifero (*Sorghum bicolor* L. Moench) en el municipio de San Ramón Matagalpa. Tesis. Ing. Agro. Universidad Nacional Agraria, Facultad de Agronomía. Managua NI. 53 p.
- Tapia, F. 2010. Producción de nitrógeno a partir de residuos orgánicos generados por planteles ganaderos y sus efectos sobre el ambiente. 24 p.
- Zapata, M; Orozco, H. 1991. Evaluación de diferentes métodos de control de malezas y distancias de siembra sobre la cenosis de las malezas, crecimiento y rendimiento del frijol común. Tesis. Ing. Agr. Universidad Nacional Agraria, Facultad de Agronomía. Managua, NI. 72 P.



# **ANEXOS**

## VIII. INDICE DE ANEXOS

### Anexo 1. Volatilización de nitrógeno en kg y % perdido después de la primera fertilización

Fuente de N Utilizada	1	3	6	9	Kg acumulado	% perdido
Urea	0.95	8.86	8.86	8.86	8.86	15.55
Sulfato	3.85	6.75	7.04	7.04	7.04	12.36

### Anexo 2. Volatilización de nitrógeno en kg y % perdido después de la segunda fertilización

Forma de aplicación	1	3	6	9	% Perdido
US	1.34	22.98	42.12	57.68	43.4
UE	0.96	10.82	22.98	23.55	17.7
SS	2.58	2.58	4.55	5.12	3.9
SE	1.29	1.29	1.39	2.39	1.8

### Anexo3. Volatilización de nitrógeno total en kg ha<sup>-1</sup> y porcentajes perdidos

Trat	Kg perdidos		Total	% perdido
	Siembra	35 dds		
US	8.86	57.68	66.54	35.0
UE	8.86	23.55	32.41	17.1
SS	7.04	5.12	12.17	6.4
SE	7.04	2.39	9.44	5.0

Anexo 4. Cámara captadora de amoníaco



Anexo 5. Cámara captadora de amoníaco en campo



Anexo 6. Destilación del amonio



Anexo 7. Titulación y valoración de las muestras

