

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**  
**DIVISIÓN DE INGENIERÍA**  
**DEPARTAMENTO DE SUELOS**

**Efecto de diferentes formas nitrogenadas en el crecimiento del trigo**  
**(*Triticum aestivum* L.) cultivado en suelo alcalino estéril.**

**POR:**

**SAÚL VILLEGAS ORTIZ**

**Que somete a consideración del H. Jurado Examinador como requisito**  
**parcial para obtener el título de:**

**INGENIERO AGRÓNOMO EN SUELOS**

Aprobada

Presidente del jurado

---

Dr. Edmundo Peña Cervantes

Sinodal

Sinodal

---

MC. Blanca Valdivia Urdiales

---

Ing. Antonio Ilizaliturri Verástegui

---

Ing. Juan Francisco Martínez Ávalos  
Coordinador de la División de Ingeniería

Buenavista, Saltillo, Coahuila. Noviembre 1997.

**AGRADECIMIENTOS**

A mi Alma Mater .

Por proporcionarme los conocimientos necesarios y los medios para superarme profesionalmente.

Al Dr. Edmundo Peaña Cervantes.

Por brindarme la oportunidad de realizar esta investigación y que con su paciencia y desinteresada asesoría dirigió el presente trabajo.

A la MC. Blanca Valdivia.

Quien con su afán de enseñanza, su paciencia y aportación de conocimientos, hizo posible la realización y presentación de este trabajo.

Además por su amistad y confianza brindada en los momentos difíciles.

Al Ing. Antonio Ilizaliturri.

Por su valiosa colaboración en la revisión del presente escrito y por su participación como parte del jurado.

De manera muy especial a:

M<sup>a</sup> de Jesús (Chacha), M<sup>a</sup> Guadalupe (Lupita), Carmen Julia, Diana, y Araceli; del departamento de Ciencias Básicas quienes me brindaron su amistad y confianza incondicional durante la realización del trabajo de laboratorio.

A todas aquellas personas que intervinieron de alguna manera directa o indirecta en la conclusión de este trabajo y que de manera involuntaria quedaron omitidas.

## DEDIDATORIAS

### **A mis Padres.**

Sr. Pedro Villegas Gaytán.

Sra. Graciela Ortiz Peña.

Con Profundo amor, cariño y respeto, que nunca perdieron la confianza que depositaron en mi, y me supieron llevar por el camino del bien para ser un hombre responsable.

Gracias por esta herencia que me han legado.

### **A mis Hermanos.**

Norma

Gloria

Javier

M<sup>a</sup> Guadalupe

L. Manuel

Diana

Por su cariño, amistad y apoyo, que ha servido como un estímulo para lograr esta meta trazada.

### **A mis compañeros de la generación LXXXII.**

Quienes juntos luchamos por un mismo fin.

### **A mis Amigos.**

René, Martín, Pedro, Joel, Enrique, Víctor y Salvador. Gracias por su amistad y sencillez de todos ellos y por la confianza que me brindaron.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>INDICE DE CUADROS</b> .....	viii
<b>INDICE DE FIGURAS</b> .....	ix
<b>RESUMEN</b> .....	1
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	2
<b>OBJETIVOS</b> .....	4
<b>HIPÓTESIS</b> .....	4
<b>REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	5
1. Generalidades del Cultivo de Trigo .....	5
2. Clasificación Taxonómica .....	6
3. Fases de Desarrollo .....	7
4. Morfología .....	7
5. Etapas Fenológicas del Trigo .....	9
5.1. Descripción de los Estados de Crecimiento del Trigo .....	10
6. Generalidades del Nitrógeno .....	10
7. Origen del Nitrógeno .....	11
8. Formación y Transformación del Nitrógeno .....	12
9. Ciclo del Nitrógeno .....	13
9.1. Fijación del Nitrógeno .....	15
9.2. Mineralización e Inmovilización del Nitrógeno .....	16
9.3. Nitrificación y Desnitrificación .....	17
11. Formas de Nitrógeno Aprovechables por la Planta .....	19
11.1. Tiempo de Aplicación .....	20
11.2. Forma de Aplicación .....	21
12. Fuentes Nitrogenadas .....	23
12.1. Fertilizantes Orgánicos .....	23
12.1.1. Urea .....	23
12.2. Fertilizantes Inorgánicos .....	24
12.2.1. Nitratos .....	24
12.2.2. Amonios .....	24
13. Efecto del pH Sobre la Disponibilidad del Nitrógeno .....	25
14. Funciones del Nitrógeno en la Planta .....	26
14.1. Influencia del Nitrógeno en el Desarrollo de las Plantas .....	27
14.2. Relación entre el Nitrógeno y la Maduración .....	27
15. Síntomas de Excesos y Deficiencias de Nitrógeno Dentro de la Planta. ...	28
15.1. Excesos en la Planta .....	28
15.2. Deficiencias en la Planta .....	29
16. Composición Química de la Materia Seca en un Cultivo .....	29

17. La Edad de un Cultivo y su Composición Química de la Materia Seca. ....	30
18. Efectos de la Temperatura y Humedad del Suelo en la Transformación del Nitrógeno.....	30
<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	31
1. Descripción y Localización del Área de Estudio.....	32
2. Materiales. ....	32
2.1. Invernadero. ....	32
2.2. Suelo. ....	34
2.3. Agua. ....	34
2.4. Material Genético Utilizado.....	34
2.5. Diseño Experimental y Distribución de los Tratamientos.....	35
2.6. Análisis Estadístico. ....	36
2.7. Fuentes de Fertilización. ....	37
3. Métodos. ....	37
3.1. Toma de la Muestra del Suelo.....	37
3.2. Análisis de Suelo. ....	37
3.3. Esterilización del Suelo. ....	38
3.4. Llenado y Pesado de Macetas.....	39
3.5. Fertilización. ....	39
3.6. Siembra. ....	40
3.7. Riegos. ....	40
3.8. Cosechas. ....	40
4. Variables a Evaluar. ....	41
4.1. Determinación de $\text{NO}_3^-$ y $\text{NH}_4^+$ en el Suelo. ....	41
4.2. Altura de la Planta. ....	42
4.3. Número de Macollos por Planta. ....	42
4.4. Número de Espigas por Planta.....	42
4.5. Peso Seco. ....	42
4.6. Determinación de Nitrógeno Total. ....	43
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	44
1. Análisis Físico y Químico del Suelo. ....	44
2. Determinación de Nitrógeno Total, $\text{NO}_3^-$ y $\text{NH}_4^+$ en el Suelo. ....	44
2.1. Nitrógeno Total (NT) en el Suelo.....	44
2.2. Por Ciento de $\text{NO}_3^-$ en el Suelo. ....	47
2.3. Por Ciento de $\text{NH}_4^+$ en el Suelo.....	49
3. Altura de la Planta.....	53
4. Número de Macollos por Planta.....	55
5. Número de Espigas por Planta. ....	57
6. Por Ciento de NT y Peso Seco en Trigo. ....	59
6.1. Nitrógeno Total (NT).....	59
6.1.1. Raíz. ....	59
6.1.2. Tallo. ....	61
6.1.3. Hojas.....	61
6.1.4. Espiga.....	63
6.1.5. Planta.....	65
6.2. Producción de Biomasa (Peso seco). ....	67

6.2.1. Raíz.....	67
6.2.2. Tallo.....	70
6.2.3. Hojas.....	71
6.2.4. Espiga.....	74
6.2.5. Planta.....	74
<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>81</b>
<b>SUGERENCIAS</b> .....	<b>82</b>
<b>LITERATURA CITADA</b> .....	<b>83</b>
<b>APÉNDICE</b> .....	<b>88</b>

## INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Contenido de nitrógeno en trigo a diferentes edades de la planta. ..	28
Cuadro 2. Descripción de los tratamientos aplicados en el experimento del cultivo de trigo en suelo estéril. ....	36
Cuadro 3. Principales características físicas y químicas del suelo utilizado en el presente trabajo. ....	38
Cuadro A1. Efecto de tres formas nitrogenadas en el contenido (%) de NT, NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> y NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> en el suelo después de cada cosecha de trigo Var. Pavón F-76. ....	889
Cuadro A2. Efecto de tres formas nitrogenadas sobre la brotación de macollos en cada una de las etapas fenológicas en el cultivo de trigo Var. Pavón F-76. ....	89
Cuadro A3. Efecto de tres formas nitrogenadas sobre la producción de espigas en cada una de las etapas fenológicas en el cultivo de trigo Var. Pavón F-76. ....	90
Cuadro A4. Efecto de tres formas nitrogenadas sobre la altura de trigo Var. Pavón F-76 a los 90 días después de la siembra. ....	91
Cuadro A5. Efecto de tres formas nitrogenadas sobre la producción de materia seca y nitrógeno total en raíz de trigo Var. Pavón F-76 en diferentes etapas fenológicas. ....	91
Cuadro A6. Efecto de tres formas nitrogenadas sobre la producción de materia seca y nitrógeno total en tallo de trigo Var. Pavón F-76 en diferentes etapas fenológicas. ....	92
Cuadro A7. Efecto de tres formas nitrogenadas sobre la producción de materia seca y nitrógeno total en hoja de trigo Var. Pavón F-76 en diferentes etapas fenológicas. ....	92
Cuadro A8. Efecto de tres formas nitrogenadas sobre la producción de materia seca y nitrógeno total en la espiga de trigo Var. Pavón F-76 en diferentes etapas fenológicas. ....	93
Cuadro A9. Efecto de tres formas nitrogenadas sobre la producción de materia seca y nitrógeno total en la planta completa de trigo Var. Pavón F-76 en diferentes etapas fenológicas. ....	93

## INDICE DE FIGURAS

Figura a. Descripción de los estados de crecimiento del trigo. ....	11
Figura b. Ciclo del nitrógeno .....	14
Figura c. Localización del sitio experimental. UAAAN. Buenavista Saltillo Coahuila.....	33
Figura 1. Efecto de tres formas nitrogenadas sobre el contenido de nitrógeno total en el suelo antes y después de cada cosecha de trigo Var. Pavón F-76.....	46
Figura 2. Efecto de tres formas nitrogenadas sobre el contenido de $\text{NO}_3^-$ en el suelo antes y después de cada cosecha de trigo Var. Pavón F-76. ....	48
Figura 3. Efecto de tres formas nitrogenadas en el contenido de $\text{NH}_4^+$ en el suelo antes y después de cada cosecha de trigo Var. Pavón F-76. ....	50
Figura 4. Efecto de tres formas nitrogenadas sobre la altura de trigo Var. Pavón F-76 a los 90 días después de la siembra. ....	54
Figura 5. Efecto de tres formas nitrogenadas en la brotación de macollos en cada una de las etapas fenológicas del cultivo de trigo Var. Pavón F-76.....	56
Figura 6. Efecto de tres formas nitrogenadas en la producción de espigas en cultivo de trigo Var. Pavón F-76.....	58
Figura 7. Efecto de tres formas nitrogenadas sobre el por ciento de nitrógeno en la raíz de trigo Var. Pavón F-76. ....	60
Figura 8. Efecto de tres formas nitrogenadas sobre el por ciento de nitrógeno en el tallo de trigo Var. Pavón F-76.....	62
Figura 9. Efecto de tres formas nitrogenadas sobre el por ciento de nitrógeno en la hoja de trigo Var. Pavón F-76.....	64
Figura 10. Efecto de tres formas nitrogenadas sobre el por ciento de nitrógeno en la espiga de trigo Var. Pavón F-76.....	66
Figura 11. Efecto de tres formas nitrogenadas sobre el por ciento de nitrógeno en la planta completa de trigo Var. Pavón F-76. ....	68
Figura 12. Efecto de tres formas nitrogenadas sobre el peso seco de la raíz de trigo Var. Pavón F-76. ....	69
Figura 13. Efecto de tres formas nitrogenadas sobre el peso seco del tallo de trigo Var. Pavón F-76.....	72
Figura 14. Efecto de tres formas nitrogenadas sobre el peso seco de la hoja de trigo Var. Pavón F-76. ....	73
Figura 15. Efecto de tres formas nitrogenadas sobre el peso seco de la espiga de trigo Var. Pavón F-76. ....	75
Figura 16. Efecto de tres formas nitrogenadas sobre el peso seco de la planta completa de trigo Var. Pavón F-76.....	76



## RESUMEN

Se realizó un experimento evaluando tres formas nitrogenadas sobre el crecimiento del cultivo de trigo en un suelo estéril con las siguientes características: pH, 8.06; materia orgánica, 1.92%;  $\text{CO}_3^{=}$ , 25.96%; nitrógeno total (NT), 0.12%;  $\text{NO}_3^-$ , 0.0057% y  $\text{NH}_4^+$ , 0.0028% con el propósito de estudiar la dinámica del nitrógeno de acuerdo a la forma de nitrógeno aplicada. Se midió la concentración de NT y la producción de biomasa (materia seca) en cada una de sus partes así como de la planta completa, en diferentes etapas fenológicas del cultivo.

Los tratamientos consistieron en la aplicación de nitrógeno en forma amídica, nítrica y amoniacal, cada uno de estos tratamientos con tres repeticiones. Los tratamientos se establecieron en el invernadero con condiciones controladas dispuestas en un diseño completamente al azar, posteriormente se realizaron cosechas a los 30, 60, y 90 días después de la siembra (dds) para determinar la cantidad de NT y de materia seca que cada tratamiento pudo alcanzar.

El tratamiento con urea incrementó el contenido de NT, tanto en la mayoría de las partes vegetativas de trigo como en la planta completa, asimismo la urea aumentó la materia seca en hojas y la altura en la planta.

## INTRODUCCIÓN

El cultivo del trigo tiene una gran aceptación a nivel mundial y es consumido en muchos países, incluyendo México, de tal manera que en la actualidad ocupa el primer lugar entre los cuatro cereales de mayor producción (trigo, arroz, maíz y cebada).

El trigo (*Triticum aestivum* L.), ocupa uno de los primeros lugares en la alimentación del pueblo mexicano y por lo mismo, exige un amplio estudio de todos aquellos factores que puedan incrementar su rendimiento. Entre estos factores consideramos como de mayor importancia la fertilización nitrogenada, ya que ésta es una de las prácticas que más influyen en el aumento del rendimiento de trigo. Sin embargo, la fertilización nitrogenada es afectada por muchos factores, tales como dosis de nitrógeno (N), modo y momento de aplicación del fertilizante, variedad vegetal, manejo de agua y niveles de radiación solar, entre los más importantes.

Los rápidos cambios físicos y químicos que ocurren en el suelo debido al exceso de humedad y la movilidad y dinámica del nitrógeno, hacen que la aplicación del fertilizante adquiere una especial importancia en la eficiencia del nitrógeno como fertilizantes. La absorción de nitrógeno aumenta con la edad de

la planta ya que se presenta un mayor desarrollo del sistema radical, pero el efecto de una mayor disponibilidad del nitrógeno al avanzar el desarrollo de las plantas sobre el rendimiento de grano es menor.

Uno de los aspectos más estudiados de tecnología de fertilizantes en los cultivos ha sido la sincronización de los mayores requerimientos de la planta con los momentos de mayor disponibilidad de nitrógeno (De Datta y Malabuyoc, 1986).

Este trabajo se llevó a cabo para obtener información sobre la respuesta del trigo Var. Pavón F-76, cultivado en un suelo alcalino, adicionado con  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$  y urea como formas nitrogenadas y se cuantificó la producción de biomasa como materia seca y la absorción de nitrógeno como por ciento de nitrógeno total por el cultivo para determinar la forma de nitrógeno de mayor eficiencia.

## **OBJETIVOS**

Los objetivos de esta investigación fueron:

- 1) Evaluar la respuesta del trigo a la aplicación de diferentes formas nitrogenadas.
- 2) Estudiar la dinámica del nitrógeno en el suelo y en la planta y comparar la biomasa producida con la absorción de nitrógeno.

## **HIPÓTESIS**

El nitrógeno en su forma nítrica es el de mejor asimilación por el trigo y, por lo tanto, aumentará el crecimiento de la parte aérea de la planta.

# REVISIÓN DE LITERATURA

## 1. Generalidades del Cultivo de Trigo.

El trigo es un cereal importante porque se produce en una superficie mayor que la de cualquier otro cultivo, además, contribuye a la dieta mundial y a la industria de la panificación. Esta gramínea se puede cultivar durante todo el año ya que se cuenta con trigo de invierno y de verano (Hanson *et al*, 1982).

El trigo es una planta cleistógama que presenta una raíz fibrosa, tiene un tallo principal y varios tallos secundarios llamados macollos. Tiene una altura de 0.60 a 1.70 m con hojas alternas y nervaduras paralelas. La inflorescencia se llama espiga y está formada por espiguillas. Sus flores son hermafroditas y su fruto es un grano llamado cariósido (Soldano, 1978).

El trigo pertenece a la familia de las gramíneas, en la cual se encuentran además el arroz, maíz, cebada, sorgo, avena, centeno, etc. Estos cereales son importantes en la dieta humana y animal por su alto valor alimenticio, ya que son ricos en proteínas, minerales y vitaminas. El trigo es un cultivo anual, originario de Asia Occidental y pertenece al grupo de los granos grandes (SEP, 1989).

La composición y calidad del trigo son determinadas en gran parte por las condiciones climatológicas prevalentes y en menor grado por el tipo de suelo. El tiempo fresco, particularmente cuando va asociado con precipitaciones abundantes durante el período de crecimiento, da por resultado un grano suave, de alto contenido de almidón y bajo en proteínas. Por otra parte, cuando el trigo crece en zonas áridas, moderadamente secas, los granos son duros, vítreos, con un alto contenido de proteínas y bajos en almidón.

Además de los efectos del clima, el contenido de proteínas del trigo es influido por la cantidad de nitrógeno disponible en el suelo. Siendo favorables las condiciones climatológicas, el trigo cultivado en suelos pobres en nitrógeno disponible resulta suave y amiláceo, mientras que el trigo bien provisto de nitrógeno disponible resulta duro y con alto contenido de proteínas (Richard y Henry, 1985).

## 2. Clasificación Taxonómica.

De acuerdo con Flores (1994) la clasificación del trigo es la siguiente:

CATEGORÍA	CLASIFICACIÓN
Reino	Vegetal
División	Tracheophyta
Clase	Monocotyledoneae
Orden	Glumifloae
Familia	Gramineae
Tribu	Triticeae
Subtribu	Triticineae
Género	<i>Triticum</i>
Especie	<i>aestivum</i>

### 3. Fases de Desarrollo.

Según Soldano (1978), las fases de desarrollo del trigo son:

1. - Germinación: es la etapa del desarrollo del embrión o plántula.
2. - Pasto: es el trigo recién nacido.
3. - Macollaje: es la etapa donde se desarrollan los tallos secundarios o macollos.
4. - Encañe: cuando los macollos dejan de estar tiernos y se lignifican los tallos.
5. - Espigue: es el momento de la aparición de las espigas.
6. - Antesis: donde inicia la apertura de los estambres de las flores.
7. - Madurez.- cuando el grano está listo para cosecharse.

### 4. Morfología.

De acuerdo con Robles (1990), el trigo presenta las siguientes estructuras morfológicas:

4.1. Raíz.- Cuando una semilla de trigo germina, emite la plúmula y produce raíces primarias temporales, que aparecen sobre un abultamiento del tallo subterráneo que después desaparece. Las raíces permanentes nacen después de que emerge la plántula en el suelo, éstas nacen de los nudos que están cerca de la superficie del suelo. Este tipo de raíces sostiene a la planta en el aspecto mecánico y en la absorción del agua y los nutrimentos del suelo.

4.2. Tallo.- Es una caña hueca, reforzada por nudos, estas cañas son

sólidas en sus paredes para soportar las espigas. En estado de plántula, los nudos están muy juntos y cerca de la superficie del suelo; a medida que va creciendo la planta, la caña se alarga. Los tallos son, al principio, de color verde (estado herbáceo) pero después de la floración las cañas amarillean y se endurecen (lignificación).

4.2.1. Amacollamiento.- A medida que la planta se desarrolla y forma el tallo principal, emite brotes que dan lugar a otros tallos que son los que constituyen los macollos (tallos secundarios) que producen espigas de dimensiones parecidas y de madurez semejante; los macollos que brotan tardíamente llegan más difícilmente a madurar (tallos terciarios). Los macollos varían en número de acuerdo al clima (aumenta en climas suaves), variedad, época de siembra (cuando más tarde se siembra más densa debe ser ésta), fertilidad del suelo y abundancia de abonos nitrogenados.

4.3. Hojas.- En cada nudo nace una hoja, ésta se compone de vaina y limbo o lámina. Entre la vaina y el limbo existe una región que recibe el nombre de cuello, de cuya parte lateral sale una prolongación que se llama aurícula y entre la separación del limbo y el tallo o caña se presenta una parte membranosa que se llama lígula.

En cada nudo nace una hoja, excepto en los nódulos que están debajo del suelo que en lugar de hojas producen brotes o macollos.

4.4. Inflorescencia.- Está formada por espiguillas (manitas) dispuestas



alternamente en un eje central denominado raquis. Las espiguillas contienen de 2 a 5 flores que posteriormente formarán el grano que queda inserto entre las glumas (envoltura exterior del grano que en algunas variedades tienen una prolongación que constituye la barba o arista), y la pálea o envoltura interior del grano. La primera y segunda flor están cubiertas exteriormente por las glumas.

4.5. Grano.- El grano empieza a desarrollarse después de la polinización. El fruto es un grano o cariósipide de forma ovoide con una ranura o pliegue en la parte ventral; en un extremo lleva el germen y en el otro lleva una pubescencia que generalmente le llama brocha. El color del grano puede ser, blanco almidonoso y córneo o cristalino. Los granos de tipo almidonoso se usan para la extracción de harina para pan y los de tipo cristalino para la fabricación de pastas y macarrones (Gonde y Jussiaux, 1965).

## **5. Etapas Fenológicas del Trigo.**

Feekes (1941), citado por Large (1954), describió ampliamente las etapas de desarrollo más importantes del trigo y otros cereales de grano pequeño. En la Figura 1. se muestra esquemáticamente las etapas fenológicas correspondientes a este cereal.

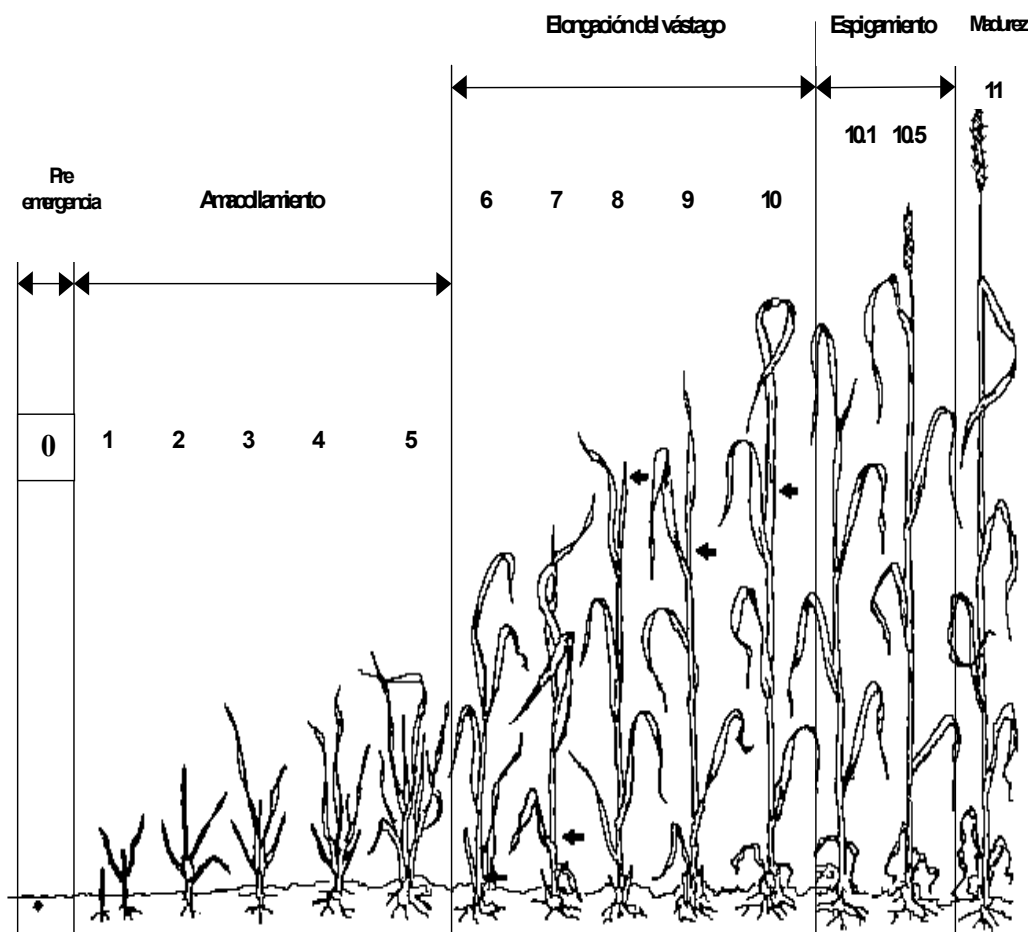
### 5.1. Descripción de los Estados de Crecimiento del Trigo.

Etapa	Estado	Descripción
Amacollamiento	1	Primer tallo
	2	Principio de amacollamiento
	3	Amacollamiento formado por, hojas con frecuencia enrolladas
	4	Principia erección del pseudotallo, la envoltura de la hoja comienza a crecer
	5	Pseudo-tallo (formado por las envolturas de las hojas) fuertemente erectos
Elongación del Vástago	6	Primer nudo del tallo visible en la base
	7	Segundo nudo del tallo formado, apenas visible
	8	Última hoja visible, pero aún enrollada, principia el crecimiento de la espiga
	9	Lígula de la última hoja apenas visible
Espigamiento	10	Embuchamiento, envoltura de la última hoja formada completamente, engrasamiento de la espiga aún no visible.
	10.1	Barbas apenas apareciendo
	10.2	Floración : 25 por ciento de las espigas fuera de la hoja bandera
	10.3	Floración : 50 por ciento de las espigas fuera de la hoja bandera
	10.4	Floración : 75 por ciento de las espigas fuera de la hoja bandera
Floración	10.5	Floración : 95 por ciento de las espigas fuera de la hoja bandera
	10.5.1	Principia polinización
	10.5.2	Polinización en la parte superior de la espiga
Madurez	10.5.3	Polinización en la parte basal de la espiga
	11.1	Estado lechoso del grano
	11.2	Contenido de germen suave pero seco
	11.3	Germen duro

### 6. Generalidades del Nitrógeno.

Rusell (1968) indica que el nitrógeno es un nutrimento esencial y de vital importancia para el crecimiento de las plantas, dado que es un constituyente de todas las proteínas y por consiguiente, de todos los protoplasmas. Se absorbe generalmente por las plantas como iones nitrato o amonio, aunque el nitrato es rápidamente reducido, probablemente a amonio, por medio de una enzima que

contiene molibdeno. Los iones amonio y parte de los carbohidratos sintetizados en



las hojas son convertidos en aminoácidos.

**Figura 1.** Descripción de los estados de crecimiento del trigo. (según Feekes, 1941).

## 7. Origen del Nitrógeno.

El problema relativo a su naturaleza se consideró desde los tiempos de la alquimia, planteándolo con la terminología propia de la época. Las más antiguas tradiciones hablaban del "origen aéreo del salitre" indicando que el "germen del

salitre" flotaba en el aire y que su "incubación" sólo ocurría en el suelo, convirtiéndose en la preciosa "sal de la tierra".

Existen informaciones en el sentido de que durante el año de 1544, barcos holandeses transportaban el salitre desde la India. Los viajeros en su crónica informaron que el salitre se formaba naturalmente no sólo en la India sino también en América, China y España (Pranishnikov, 1954).

### **8. Formación y Transformación del Nitrógeno.**

Son interesantes las expresiones que contienen la obra de Glauber la cual decía que: "todo el salitre tal como lo empleamos, es producido por las plantas". También observó que se podría formar el salitre, cuando se mezclaban el suelo, hojas y otros desechos de plantas o animales y sugirió que éste método podría usarse para su producción industrial.

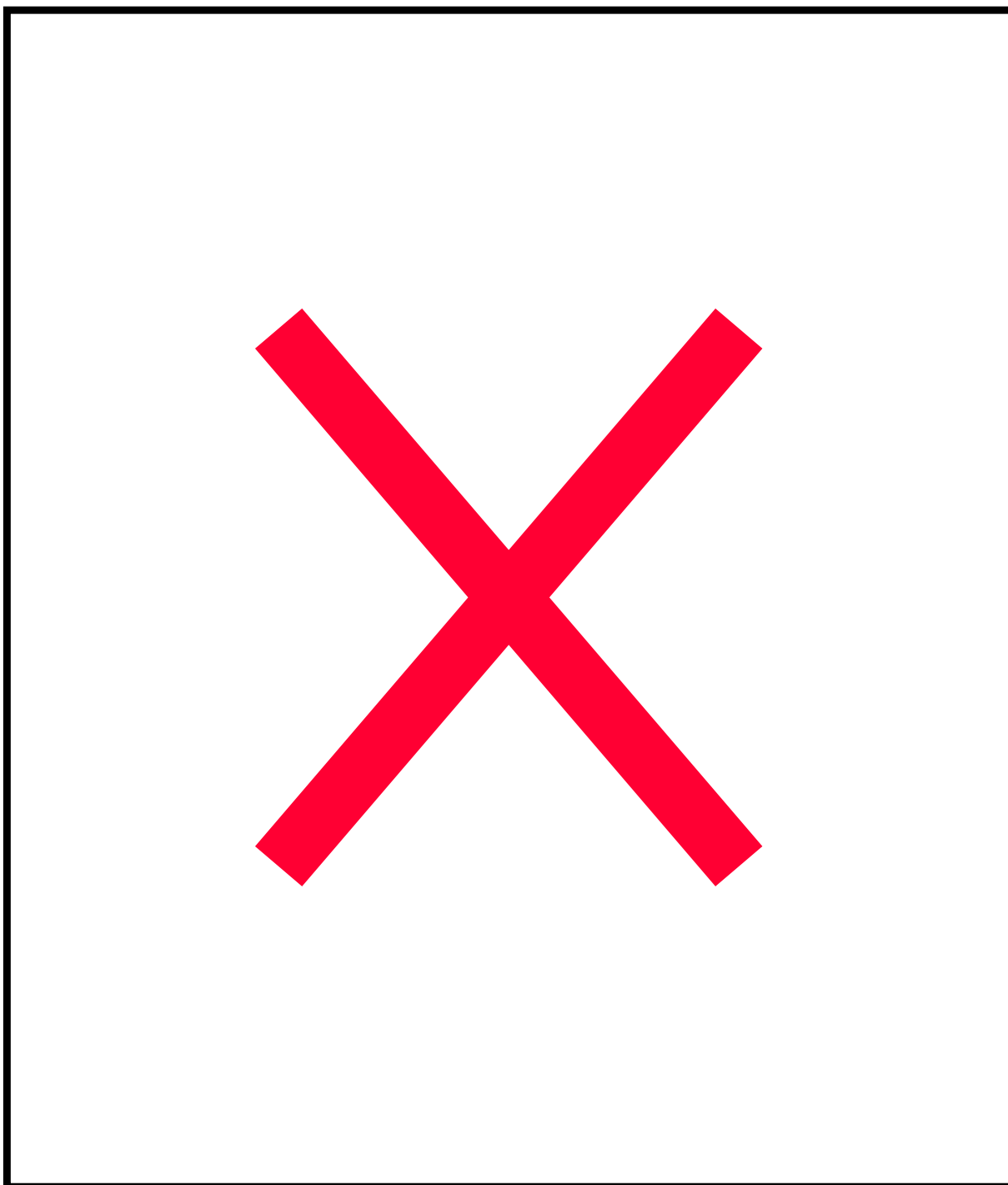
Mayow (1953), citado por Baldovinos (1954), formuló por primera vez la aseveración de que el salitre se forma con un ácido y una base y explicó que al aire le correspondía participar en la formación de su parte volátil y al suelo en la de su fracción no volatilizable.

## 9. Ciclo del Nitrógeno.

Las reservas de nutrimentos dependen mucho de la naturaleza del suelo y de cómo se utiliza. Los cambios son el resultado neto de muchos procesos.

El nitrógeno inorgánico es efímero, los cultivos en crecimiento lo absorben con rapidez y el que no absorben es probable que se lixivie o desnitrifique. En la actualidad, la atmósfera contiene más del 78% del nitrógeno que interviene en el ciclo del nitrógeno en la Tierra. Desde la formación de la atmósfera moderna, ha habido la tendencia a que exista un ciclo del nitrógeno, que establece un equilibrio entre el nitrógeno de la atmósfera y el que se encuentra en los suelos y los océanos.

En la exposición siguiente se tratará de los principales procesos del ciclo del nitrógeno, como se muestra en la Figura. 2 (Foth, 1985).



**Figura 2.** Ciclo del nitrógeno.

### 9.1. Fijación del Nitrógeno.

Cuando el nitrógeno atmosférico se combina con el hidrógeno o el oxígeno, ocurre un proceso llamado "fijación". Este proceso debe ocurrir antes de que el nitrógeno sea usado por las plantas. La fijación ocurre de las siguientes maneras:

1. - Biológica.- La fijación biológica puede ser simbiótica o asimbiótica. Durante la fijación simbiótica, los microorganismos fijan el nitrógeno mientras crecen en asociación con una planta huésped, beneficiándose. El ejemplo más conocido es la asociación entre las bacterias *Rhizobium* y las raíces de las leguminosas. La fijación no simbiótica de  $N_2$  se lleva a cabo por bacterias que viven independientes en el suelo, la cantidad de  $N_2$  fijado por estos organismos es mucho menor que la cantidad fijada simbióticamente.

2. – Fijación atmosférica.- El calor generado por los relámpagos hace que el oxígeno reaccione con el  $N_2$  en el aire, formando luego N nítrico. La lluvia y la nieve agregan solamente alrededor de 6 a 10 kg. de N/ha promedio por año.

3. - Industrial.- Los procesos industriales fijan  $N_2$  eficazmente en forma disponible para las plantas. El proceso más importante sintetiza amoníaco ( $NH_3$ ) a partir del N y el H, en la forma siguiente:  $N_2 + 3H_2 \rightarrow 2NH_3$ . El  $H_2$  es generalmente obtenido del gas natural y el  $N_2$  proviene del aire.

## 9.2. Mineralización e Inmovilización del Nitrógeno.

El suelo contiene una proporción relativamente grande de nitrógeno no disponible (orgánico) y una pequeña proporción de nitrógeno disponible (inorgánico), el nitrógeno orgánico representa el 97 a 98% del nitrógeno total del suelo. El nitrógeno inorgánico representa sólo entre el 2 a 3%, de modo que el proceso mediante el cual las formas orgánicas, no disponibles de nitrógeno se hacen disponibles para las plantas es muy importante. Este proceso, llamado "**mineralización**", se produce a medida que los microorganismos descomponen la materia orgánica para obtener su energía. Muchos tipos de organismos heterótrofos efectúan la descomposición de la materia orgánica con la mineralización posterior del nitrógeno a amoníaco ( $\text{NH}_3$ ). La mineralización, debido a que produce amoníaco como producto final, es también llamada *amonificación*.

El nitrógeno también puede convertirse de su forma inorgánica a formas orgánicas, mediante el proceso llamado "**inmovilización**", que es opuesto a la mineralización. Se produce inmovilización cuando se incorporan al suelo materias orgánicas frescas tales como residuos de cosechas. Es importante comprender que la capacidad del suelo para proporcionar nitrógeno está íntimamente relacionada con el contenido de materia orgánica y la tasa de mineralización.

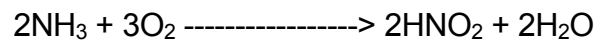


### 9.3. Nitrificación y Desnitrificación.

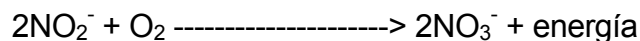
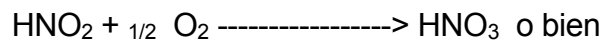
Bajo condiciones que favorezcan el crecimiento de las plantas, la mayor parte del nitrógeno amoniacal será convertido a nitrógeno nítrico por ciertas bacterias nitrificantes. Este proceso se denomina "**nitrificación**".

Si el amoniaco no es absorbido por las raíces o los microorganismos o fijado en arcillas, por lo común es oxidado a nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ). Este proceso recibe el nombre de nitrificación y se realiza mediante dos pasos, con nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) como producto intermedio y bacterias autotróficas específicas. Las reacciones y los organismos que intervienen en el proceso son como sigue:

1. - Oxidación de amoníaco a nitritos por *Nitrosomas* sp

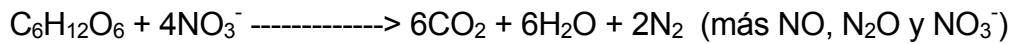


2. - Oxidación de nitritos a nitratos por *Nitrobacter* sp



La "**desnitrificación**" consiste en la reducción del  $\text{NO}_3^-$  a  $\text{N}_2$  y su liberación del suelo. Así, la desnitrificación es uno de los procesos más significativos en el ciclo del nitrógeno y ocasiona pérdidas importantes de nitrógeno de los suelos. La desnitrificación se efectúa por organismos

anaeróbicos facultativos que utilizan nitrógeno en vez de oxígeno en la respiración como sigue:



La desnitrificación normalmente ocurre en suelos ricos en materia orgánica, con períodos largos de inundación y temperaturas altas (INPOFO, 1988).

Existen cinco condiciones del suelo que parecen tener la mayor influencia en los procesos de nitrificación y desnitrificación:

1. - El pH. La velocidad de nitrificación es menor en suelos ácidos, el pH de 8.5 es el óptimo. El encalado ha demostrado que aumenta la desnitrificación bajo ciertas condiciones.
2. - Humedad. Las bacterias nitrificadoras permanecen activas en condiciones bastante secas pero son inactivas en suelos inundados. Cuando se excluye el oxígeno del suelo, puede presentarse desnitrificación bacterial, ésta puede reducir el suministro de nitrógeno considerablemente.
3. - Temperatura. La nitrificación comienza lentamente justo por debajo del punto de congelación y sigue aumentando a medida que la temperatura sube hasta los 30 °C. La proporción de las reacciones de desnitrificación aumenta también a partir de los 30 °C a medida que aumenta la temperatura del suelo.

4. - Aireación. Este punto es únicamente importante para la nitrificación ya que para este proceso se requiere de oxígeno.

5. - Residuos vegetales. La desnitrificación ocurre a medida que las bacterias del suelo oxidan los residuos orgánicos (Garman, 1995).

### **11. Formas de Nitrógeno Aprovechables por la Planta.**

Es importante y complejo el problema de la forma en que son utilizados por las plantas los diversos compuestos nitrogenados. Es preciso considerar todos los compuestos de nitrógeno desde los de mayores efectos reductores hasta los más oxidantes.

El nitrógeno existe bajo formas oxidantes que son compuestos de naturaleza reductora. Las plantas lo pueden emplear en sus procesos sintéticos tomándolo en diferentes grados de oxidación o de reducción, por ejemplo, como ácido nitroso, como ácido hiponitroso, como amoníaco o hidroxilamina y, hasta como elemento libre, en el caso de las plantas inferiores (Prianishnikov, 1954).

Tisdale y Nelson (1988), mencionan que la forma final de nitrógeno utilizado por las plantas es el gas inerte  $N_2$ , que constituye aproximadamente el 78% de la atmósfera terrestre. Sin embargo, en esta forma elemental, no es utilizable por las plantas superiores. Las formas de nitrógeno más utilizables por las plantas superiores son en las formas de los iones  $NO_3^-$  y  $NH_4^-$ .

Boussingault (1886), mencionó que las plantas tomaban nitrógeno en forma de amoníaco. Él suponía que los excrementos humanos y otras sustancias orgánicas tienen propiedades fertilizantes porque durante su descomposición se forma amoníaco.

Posteriormente (Mayer, 1891) citado por Prianishnikov (1954), demostró que las hojas poseen también la capacidad de absorber el amoníaco y de convertirlo en materiales proteicos, aún cuando esta aptitud sólo se manifieste en una atmósfera artificialmente enriquecida.

Las plantas absorben el nitrógeno en forma de iones amonio y nitrato, los cuales son utilizados con igual facilidad, la diferencia estriba en que todo el nitrato se encuentra disuelto en la solución del suelo. Por el contrario, si el suelo tiene mucha arcilla o humus, gran cantidad de amonio se encontrará como catión en la fase de cambio. Por esta razón, los nitratos son los de más rápida acción, esto puede ser importante, porque los iones amonio añadidos al suelo se oxidan rápidamente a nitratos (Palacios, 1982).

### **11.1. Tiempo de Aplicación.**

El tiempo de aplicación de los fertilizantes juega un papel muy importante para el buen aprovechamiento por los cultivos, de acuerdo a la etapa de

crecimiento y las necesidades que el cultivo presente.

Below y Heberer (1990) realizaron un estudio en invernadero bajo condiciones hidropónicas en el cual aplicando nitrógeno como  $\text{NO}_3^-$  y como  $\text{NH}_4^+$ , encontraron que la etapa crítica de la aplicación de estas dos formas es durante el crecimiento vegetativo.

El tiempo óptimo de aplicación de  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NH}_4^+$  para obtener el mayor rendimiento en forraje y grano es, según Boman *et al* (1995), a mediados de noviembre y principios de enero respectivamente. Además, la aplicación de urea o  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  en diferentes etapas de desarrollo de trigo son igualmente efectivas como fuente de nitrógeno.

Chistensen y Meints (1982) encontraron que la aplicación de urea durante el otoño fue tan efectiva (69%) como la aplicación de  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ . Sin embargo, la aplicación de  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  en otoño y en primavera, fueron tan efectivas como la aplicación de urea en primavera.

### **11.2. Forma de Aplicación.**

La forma en que se aplique el fertilizante nitrogenado es también de gran importancia, ya que de la forma y de la capacidad de movilidad que ésta pueda tener en el suelo y dentro de la planta dependerá su efectividad.

Hagin *et al.* (1990) mencionan que se pueden obtener mayores

rendimientos con una mezcla de  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NH}_4^+$  que con cada uno de estos fertilizantes por separado. Además se requiere de una adecuada cantidad de potasio para facilitar la utilización de  $\text{NH}_4^+$ .

Mahler *et al.* (1994) en estudios realizados en varias formas nitrogenadas sobre la producción de trigo de invierno, utilizando urea y  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  obtuvieron una producción mínima sobre la brotación de vástagos y producción de biomasa. Pero la producción de grano y el uso eficiente del fertilizante nitrogenado fueron mayores cuando la aplicación se hizo fraccionada entre otoño y primavera.

Feil (1994) en un experimento de raíz dividida en una mezcla 1:1, alimentada con  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_3^-$  juntos y con  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_3^-$  por separado, observaron una mayor producción de biomasa en las plantas expuestas a la mezcla. Si se suministra el  $\text{NH}_4^+$  y el  $\text{NO}_3^-$  por separado se produce más materia seca de raíz.

Fiez *et al.* (1995) afirman que los requerimientos de nitrógeno varían hasta 70% según la localidad del terreno. De la eficiencia de absorción y de utilización de nitrógeno, que determinan las unidades de nitrógeno requeridas (URN), la eficiencia de absorción de nitrógeno fue la que más afectó. Se recomienda aplicar el nitrógeno de manera fraccionada para aumentar la absorción de nitrógeno y disminuir las pérdidas de éste.

## 12. Fuentes Nitrogenadas.

### 12.1. Fertilizantes Orgánicos.

Los fertilizantes orgánicos, por lo común, se forman con desperdicios de los tratamientos industriales, de partes de plantas y animales. Estos contienen más nitrógeno y fósforo que los estiércoles o abonos orgánicos y se les incluye en la categoría de fertilizantes (Cooke, 1992).

De acuerdo con Rodríguez (1992), entre los fertilizantes orgánicos podemos considerar los siguientes:

#### 12.1.1. Urea.

Tiene la fórmula química  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$  y se le llama también "carbamida". Es un compuesto de origen animal, aunque actualmente también se le obtiene de la síntesis química, haciendo reaccionar amoníaco con bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) o anhídrido carbónico.

La urea es el fertilizante sólido de mayor concentración de nitrógeno total, alcanzando un 45 a 46% del peso del fertilizante, es de color cristalino, higroscópica y soluble en agua, en ocasiones se le utiliza como fertilizante foliar.

En el suelo la enzima ureasa la convierte con rapidez en carbonato de amonio  $[\text{CO}_3(\text{NH}_4)_2]$ , el cual es inestable y genera amoníaco libre. Si ocurre esto cerca de la semilla o de las raíces, el cultivo puede dañarse por las concentraciones elevadas de amoníaco.

## **12.2. Fertilizantes Inorgánicos.**

En la actualidad se utilizan una gran variedad de fertilizantes nitrogenados inorgánicos o sintéticos entre los cuales podemos mencionar y describir a los formados por nitratos y por amonio.

### 12.2.1. Nitratos.

Todos los nitratos son solubles en agua. La diferencia entre su acción sobre los cultivos depende de los otros iones de la sal fertilizante, que pueden ser de potasio, sodio, calcio o de amonio.

**12.2.1.1. Nitrato de potasio.** Es un material sólido que contiene aproximadamente 13% de nitrógeno y 44% de potasa ( $\text{K}_2\text{O}$ ).

### 12.2.2. Amonios.

Todas las sales de amonio se usan como fertilizantes, son solubles en agua y todas ellas se nitrifican con bastante rapidez en suelos ligeramente ácidos



y neutros, para formar nitratos. Sus efectos sobre los cultivos son similares, difiriendo sólo en sus consecuencias sobre la acidez del terreno.

**12.2.2.1. Hidróxido de amonio.** Formado por disolución del amoníaco anhídrido en agua, los grados comerciales de la solución generalmente contienen 20 a 25% de nitrógeno. La mayor parte del hidróxido de amonio se utiliza ya sea para la aplicación directa al suelo o en la fabricación de superfosfatos amoniados (Garman, 1995).

### **13. Efecto del pH Sobre la Disponibilidad del Nitrógeno.**

El efecto del pH sobre la disponibilidad del nitrógeno para las plantas, varía de un rango que va de fuertemente ácido (4.1) a fuertemente alcalino (9.8). El nitrógeno es más soluble en un rango que va de ligeramente ácido (6) a medianamente alcalino (8.2); la solubilidad está en relación directa a la disponibilidad del nutrimento en una forma iónica susceptible de absorberse por la planta (Bidwell, 1990).

Jacob y Uexkull (1966), citado por Morales (1997), indican que el nitrógeno es asimilado mejor a pH de 6.0 - 6.5 llegando las plantas a obtener muy poco a valores inferiores de 4.5; mientras que en la reacción alcalina su asimilación se encuentra entre 7.5 - 8.0 llegando a ser nula prácticamente del 9.5 hacia arriba en la escala del pH.

Morales (1997), señala que la transformación del nitrógeno orgánico al nitrógeno utilizable por las plantas depende de muchos factores, entre ellos está el pH, ya que un pH bajo induce a la desnitrificación, es decir, a la pérdida de nitratos, liberándose nitrógeno en forma de gas a la atmósfera. La retención del ion amonio en algunos fertilizantes nitrogenados depende del pH del suelo pues su absorción se ve favorecida por pH neutros hasta ácidos, en cambio, en suelos alcalinos ( $\text{pH} > 7$ ) disminuye el grado de absorción. En este caso, el amonio en primera instancia, tiene una reacción básica al combinarse con el agua del suelo formando hidróxido de amonio, luego es nitrificado induciendo a una reacción ácida en el suelo, debido a su alta concentración.

#### **14. Funciones del Nitrógeno en la Planta.**

El nitrógeno es un componente de proteínas que forman la mayor parte del protoplasma celular. También integra parte de la molécula de clorofila, de algunas vitaminas y de diversas hormonas (Baldovinos, 1954).

Varios investigadores (Peterson, 1965; Ortiz, 1980; Bidwell, 1990) mencionan que algunas de las funciones del nitrógeno dentro de la planta son las siguientes:

1. - Es un constituyente esencial en todos los seres vivos, forma parte de las proteínas y los ácidos nucleicos.
2. - Es componente de la clorofila e imparte el color verde de las plantas.

3. - Promueve el desarrollo de hojas y tallo.
4. - Produce una calidad mejorada en las legumbres que se cultivan por sus hojas.
5. - Produce un desarrollo rápido en el primer ciclo del desarrollo.
6. - Aumenta el contenido de proteínas en los cultivos alimenticios y forrajeros.

#### **14.1. Influencia del Nitrógeno en el Desarrollo de las Plantas.**

Las primeras etapas del desarrollo vegetal dependen de la disponibilidad de nitrógeno utilizable en forma inmediata. En este caso, se debe procurar un desarrollo equilibrado entre las partes aéreas (tallo y hojas) y las raíces. El desarrollo de las raíces depende de la disponibilidad de azúcares y otras materias primas provenientes de las hojas mientras que en el de las partes aéreas depende del abastecimiento del agua y nutrimentos que absorban las raíces.

La velocidad en el desarrollo vegetativo de raíces, tallo y hojas, está estrechamente relacionada con la existencia de carbohidratos en disponibilidad inmediata y la cantidad de nitrógeno directamente asimilado (Baldovinos, 1954).

#### **14.2. Relación entre el Nitrógeno y la Maduración.**

La disponibilidad de nitrógeno puede afectar el ciclo vegetativo acortándolo o alargándolo. Lo anterior depende de la cantidad de nitrógeno que demande el cultivo, de la dosis que se le aplique y de la época en que se haga la aplicación

(Baldovinos, 1954). Como se puede observar en el cuadro 1. a medida que aumenta la edad de la planta, se presenta una disminución en el por ciento de nitrógeno.

**Cuadro 1.** Contenido de nitrógeno en trigo a diferentes edades de la planta.

Días	%N	Relación C/N
20	4.22	11
30	3.23	14
40	2.69	17
50	2.07	22
60	1.57	29
85	1.01	45

Tomado de Baldovinos (1954).

## **15. Síntomas de Excesos y Deficiencias de Nitrógeno Dentro de la Planta.**

Tanto el exceso como las deficiencias de nitrógeno afectan el desarrollo normal de las plantas.

### **15.1. Excesos en la Planta.**

Las cantidades inmoderadas de nitrógeno son perjudiciales para el trigo por tratarse de una planta de grano, ya que su exceso provoca un abundante desarrollo de cañas y hojas, pero poco desarrollo del grano. Cuando esto sucede

se dice que la planta de trigo "se va en vicio". El exceso de nitrógeno también provoca el acame de las plantas (Soldano, 1978) y con frecuencia una gran proliferación de tallos y hojas, pero determina una reducción del fruto en plantas cultivables (Bidwell, 1990).

### **15.2. Deficiencias en la Planta.**

La falta de nitrógeno origina plantas pequeñas de hojas chicas y delgadas, pálidas de un color amarillento uniforme (Peterson, 1965) en especial de las hojas maduras que llegan a desprenderse. La clorosis se extiende a las hojas jóvenes, las que generalmente no muestran los síntomas de deficiencia características hasta que están muy avanzados en las partes viejas de la planta. Las hojas jóvenes de las plantas se extienden menos de lo normal; asimismo, existe un letargo de yemas laterales (Soldano, 1978; Bidwell, 1990).

### **16. Composición Química de la Materia Seca en un Cultivo.**

El análisis elemental de una planta cultivada revela una composición de 90% de agua y 10% de materia seca orgánica e inorgánica, aproximadamente. Al analizar la constitución de la materia seca, poniendo muestras en la mufla, queda un residuo de cenizas minerales entre 1 y 15% del peso inicial de la muestra, lo cual indica que entre 85 y 99% de la materia seca estuvo formado por compuestos orgánicos integrados a base de carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno, principalmente (Baldovinos, 1954; Bidwell, 1990).

### **17. La Edad de un Cultivo y su Composición Química de la Materia Seca.**

Cuando los cultivos han efectuado un 50% de su crecimiento, pueden haber tomado un 75% o aun más de los nutrimentos totales. Durante las primeras etapas de desarrollo la acumulación de nutrimentos sobrepasa a la de la materia seca (Baldovinos, 1954; Gregory, 1979, y Domínguez 1989).

Cuando los cereales menores han efectuado un 20% de su crecimiento (producción de materia seca) han tomado 45% del nitrógeno total y de potasio que consumen durante su ciclo completo (Domínguez, 1989).

### **18. Efectos de la Temperatura y Humedad del Suelo en la Transformación del Nitrógeno.**

La temperatura representa uno de los factores más importantes que controlan la actividad microbiana y procesos que implican la producción de las plantas como la descomposición de la materia orgánica y mineralización de las formas orgánicas del nitrógeno (Benavides, 1987).

Se han realizado estudios sobre el efecto de la temperatura en los procesos de infección y de nodulación y en la fijación de nitrógeno. Gibson (1965), indica que la humedad y la temperatura del suelo tienen gran influencia en la

fijación simbiótica de  $N_2$ . En cualquier especie los procesos relacionados con la fijación de nitrógeno atmosférico ocurren en forma óptima dentro de ciertos rangos de temperatura y humedad, los cuales varían de una especie a otra. En general las especies varían en sus necesidades de temperatura y humedad de acuerdo al lugar de origen.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

## **1. Descripción y Localización del Área de Estudio**

El presente trabajo se realizó en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), Buenavista, Saltillo, Coahuila, que se encuentra ubicada geográficamente entre las coordenadas 25°23' latitud Norte, 101°0' longitud Oeste del Meridiano de Greenwich y a una altura de 1743 msnm según CETENAL (1976), (Fig. 3).

## **2. Materiales.**

### **2.1. Invernadero.**

El experimento se estableció en el invernadero de alta tecnología (Stupy 2000) de la misma universidad con condiciones controladas.

La temperatura y humedad relativa dentro del invernadero estuvieron controladas. Las temperaturas promedio fueron de 25°C durante el día y 19°C durante la noche; la humedad relativa fue de 75%, aproximadamente.



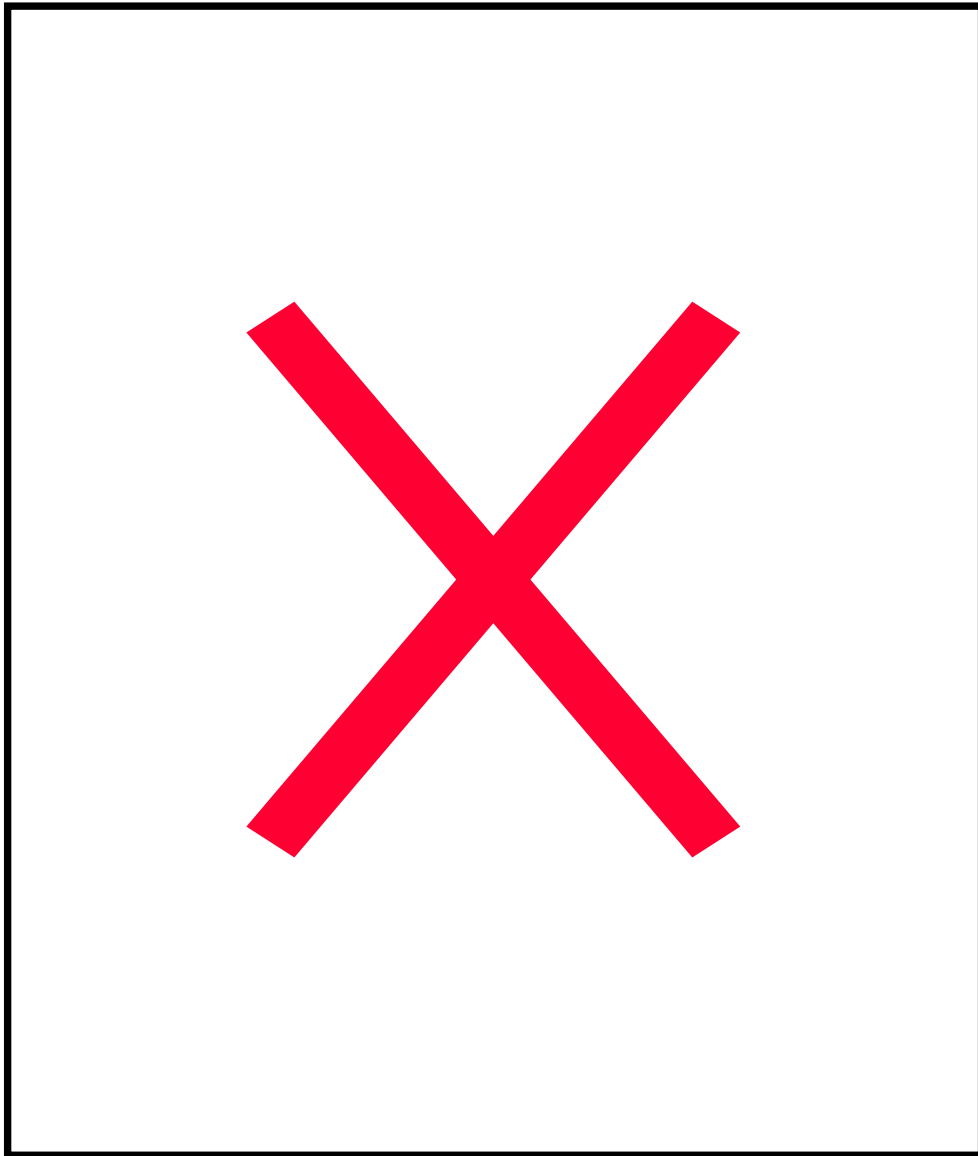


Figura 3. Localización del sitio experimental. UAAAN. Buenavista Saltillo Coahuila.

## **2.2. Suelo.**

El suelo utilizado en el presente trabajo fue un suelo claro, debido al contenido de calcio; su textura varía de migajón limoso a migajón arcilloso, se encuentra sobre un estrato calcáreo, duro y continuo, denominado petrocálcico. Este suelo es de origen sedimentario y la roca madre de la cual se ha derivado pertenece a las calizas.

Según el modo de formación, el suelo utilizado es de origen aluvial, por arrastre de las partículas de los escurrimientos y coluvial, por desprendimiento del material madre de las partes altas y su posterior degradación como consecuencia de la fricción y golpeteo a través de su trayecto, clasificándose de acuerdo a sus características en un Xerosol háplico de acuerdo a la clasificación de la FAO según Foth (1985).

## **2.3. Agua.**

El agua utilizada para el riego fue obtenida de las mismas instalaciones de la universidad y conducida por medio de tuberías hasta un depósito fuera del invernadero.

## **2.4. Material genético utilizado.**

La semilla de trigo utilizada para este estudio fue de la variedad Pavón F-76, proporcionada por el departamento de cereales de la UAAAN. Es una variedad de trigo harinero de hábito de primavera originada a partir de la cruza VICAM S71

x CIANO "S" -siete cerrus/kalyan-bluebird. La planta florea a los 88 días, alcanza su madurez fisiológica a los 136 días y su tallo es de color crema, de rigor intermedio y con una altura de 100 a 115 cm. La espiga es de color blanco, dura y de tamaño intermedio; el grano es de gluten fuerte tendiendo a tenaz, lo cual lo hace propio para la elaboración de pan, y con un contenido de proteínas en el gluten de 12.3% y un rendimiento experimental de 7.4 t/ha. (SARH, 1980).

## **2.5. Diseño Experimental y Distribución de los Tratamientos.**

Este trabajo se realizó bajo un diseño completamente al azar con cuatro tratamientos (fertilización nitrogenada), tres repeticiones y tres cosechas por tratamiento, originando un total de 36 unidades experimentales, las cuales consistieron en una planta de trigo por maceta.

Los tratamientos fueron:

Tratamiento 1. - Testigo, sin adición de nitrógeno.

Tratamiento 2. - Forma nitrogenada: urea (46-0-0).

Tratamiento 3. - Forma nitrogenada: nitrato de potasio ( $\text{KNO}_3$ )

Tratamiento 4. - Forma nitrogenada: hidróxido de amonio ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ).

En el Cuadro No.2.se describen los tratamientos utilizados en el cultivo de trigo var. Pavón F.76, cultivado en suelo estéril.

**Cuadro 2.** Descripción de los tratamientos aplicados en el experimento del cultivo de trigo en suelo estéril.

¡Error! Marcador no definido. Tratamiento	Forma nitrogenada (N)	Forma fosfatada (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	Forma Potásica (K <sub>2</sub> O)
1	Sin N*	S.F.T.**	KCl
2	Urea	S.F.T.	KCl
3	KNO <sub>3</sub>	S.F.T.	KNO <sub>3</sub>
4	NH <sub>4</sub> OH	S.F.T.	KCl

\* Sin N. = Sin nitrógeno.

\*\* S.F.T. = Superfosfato triple.

## 2.6. Análisis Estadístico.

Se realizó un análisis de varianza y comparación de medias por la prueba de diferencia mínima significativa (DMS) con los datos obtenidos de las diferentes variable evaluadas en el cultivo.

El modelo estadístico utilizado con un  $p = 0.05$  (significativo \*) y (altamente significativo \*\*) fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + i + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

$Y_{ij}$  = Variable de respuesta.

$\mu$  = media general.

T = tratamientos.

$\varepsilon$  = error experimental.

$i = 1, 2, \dots, 4$  (tratamientos)

$j = 1, 2, 3$  (repeticiones)

## **2.7. Fuentes de Fertilización.**

Como fuentes de fertilización nitrogenada se aplicaron los siguientes compuestos: urea comercial (46-0-0),  $\text{NH}_4\text{OH}$  (40% de N) y  $\text{KNO}_3$  (14% de N); estos últimos se utilizaron como reactivos químicamente puros.

Como fuente de fósforo se utilizó superfosfato triple comercial (0-46-0). Asimismo, se adicionó  $\text{KCl}$  (52% de K, reactivo químicamente puro) como fuente de potasio, a los tratamientos 1,2 y 4 para compensar la cantidad agregada al tratamiento 3 como  $\text{KNO}_3$ .

## **3. Métodos.**

### **3.1. Toma de la Muestra del Suelo.**

El suelo utilizado en este experimento, fue tomado de los terrenos de un huerto de nogal ubicado en el campo experimental denominado "El Bajío" de la UAAAN.

### **3.2. Análisis de Suelo.**

Antes de establecer el experimento, se tomó una muestra del suelo en el área seleccionada a una profundidad de 30 cm para su análisis físico y químico, el

cual se realizó en el laboratorio de mineralogía y pedología del Departamento de Suelos de la UAAAN y cuyos resultados se muestran en el Cuadro 3.

**Cuadro 3.** Principales características físicas y químicas del suelo utilizado en el presente trabajo.

¡Error! Marcador no definido.CARACTERÍSTICAS DEL SUELO	UNIDADES	MÉTODO	CANTIDAD
Granulometria	% % %	Hidrómetro de Bouyucos	Arena 8.11 Limo 49.80 Arcilla 42.09
PH	2:1	Potenciómetro	8.06
C.E.	Mmhos/cm	Conductivímetro	2.70
M.O.	%	Walkley-Black	1.92
C.O. Total	%	Walkley-Black	1.40
N. Total	%	Kjeldahl	0.12
C/N			11
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	%	Colorimétrico	0.0057
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	%	Destilación por arrastre de Vapor	0.0028
C.I.C.	Meq/100 g.	Acetato de amonio	30.60
CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	%	Titulación ácida	25.96
Fósforo	mg/kg	Olsen	51.12
Potasio	kg/ha	Colorimétrico	829.34
Da	g/cc	Probeta	1.30

### 3.3. Esterilización del Suelo.

La tierra para el establecimiento del experimento se tamizó y posteriormente esterilizó con bromuro de metilo con una dosificación de 4 g de

Fumigran 98 por cada 0.25 m<sup>3</sup>. Después de aplicar el producto químico, se cubrió el suelo con polietileno y permaneció completamente sellado durante 72 h.

#### **3.4. Llenado y Pesado de Macetas.**

El llenado de macetas se llevó a cabo una vez cumplido el tiempo necesario para poder manejar el suelo sin riesgo de los efectos del bromuro de metilo. Las macetas, de polietileno negro, con una altura de 25 cm y un diámetro de 15 cm, se llenaron con 4.5 kg de suelo.

#### **3.5. Fertilización.**

La aplicación de los fertilizantes nitrogenados (120 kg de N/ha) y del fertilizante fosfatado (80 k de P/ha) se realizó a 5 cm de la planta y a 4 cm de profundidad, enseguida se tapó el material fertilizante.

La aplicación de las formas nitrogenadas para los tratamientos 2 y 4 (Cuadro 2) se llevó a cabo en forma fraccionada, la mitad al momento de la siembra y la otra parte 30 días después de la primera. El fertilizante fosfatado y el potásico se aplicaron en su totalidad antes de la siembra.

### **3.6. Siembra.**

Ésta se realizó en forma manual, después de haber dado el riego de presiembra suficiente para llevar el suelo a capacidad de campo. Se depositaron de 8 a 10 semillas por golpe en cada maceta a una profundidad de 0.5 cm. Después de los 12 días se hizo el aclareo a una sola planta por maceta.

### **3.7. Riegos.**

Los riegos se aplicaron cada vez que el cultivo lo fue requiriendo, de acuerdo a las condiciones de temperatura y humedad que el invernadero presentó y de tal manera que el agua no fuera un factor limitante para el desarrollo del cultivo.

### **3.8. Cosechas.**

#### **Primera Cosecha.**

Se realizó a los 30 días después de haber emergido la plántula, durante la etapa fenológica 5 del período de amacollamiento, según la escala de Feekes (1941) citada por Large (1954) (Fig. 1). En el laboratorio se eliminó el suelo de la raíz de cada planta mediante agua a presión para desprender las impurezas y dejar completamente limpia la raíz y separar posteriormente la raíz y el vástago.



## **Segunda y Tercera Cosecha.**

Éstas se realizaron a los 60 y 90 días después de la emergencia, respectivamente. La segunda cosecha correspondió a la etapa fenológica 9 del período de elongación del vástago y la tercera a la etapa fenológica 10.5 del período de espigamiento según la escala de Feekes (Figura 1). Después de eliminar el suelo de las raíces, la planta se separó en raíz, tallo, hojas y espigas, bajo la misma técnica descrita en la primera cosecha. El experimento tuvo una duración de 90 días en el invernadero, sin que el trigo llegara a completar su ciclo vegetativo.

## **4. Variables a Evaluar.**

### **4.1. Determinación de $\text{NO}_3^-$ y $\text{NH}_4^+$ en el Suelo.**

Con la finalidad de determinar la cantidad de  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NH}_4^+$  contenidos en el suelo éste se analizó antes de la siembra y después de cada cosecha por el método de destilación por arrastre de vapor para el caso del amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) y por el método colorimétrico para el caso de los nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ).

#### **4.2. Altura de la Planta.**

Se determinó ésta en la tercera cosecha. Se consideró la altura de cada planta desde la superficie del suelo hasta el extremo de la espiga obteniendo un valor medio para cada tratamiento.

#### **4.3. Número de Macollos por Planta.**

En cada cosecha se consideró el número total de macollos, chicos y grandes, que presentó cada planta de las repeticiones correspondientes a los tratamientos.

#### **4.4. Número de Espigas por Planta.**

Esta variable se determinó únicamente en las dos etapas fenológicas en donde ya se habían desarrollado las espigas con la finalidad de saber qué tratamiento estimula más a la proliferación de espigas.

#### **4.5. Peso Seco.**

Las diferentes partes de la planta se secaron en una estufa marca Mapsa a una temperatura de 60 °C durante 72 h. o hasta que se alcanzó peso constante que se determinó en una balanza analítica.

#### **4.6. Determinación de Nitrógeno Total.**

A cada una de las partes de la planta (raíz, tallo, hojas y espiga), se le determinó el porcentaje de nitrógeno total (NT) por el método de Kjeldahl, el cual se basa en la conversión del nitrógeno orgánico en nitrógeno mineral (sulfato de amonio) mediante el calentamiento prolongado con ácido sulfúrico (digestión). Enseguida se destila el nitrógeno en forma de amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) por acción de NaOH y se recoge en una solución de ácido bórico. Esta solución es luego valorada (titulación) para conocer la cantidad de nitrógeno presente.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **1. Análisis Físico y Químico del Suelo.**

Según el análisis de suelo realizado a la muestra obtenida del área (Cuadro 3), el suelo tiene una textura arcillo-limosa de acuerdo al triángulo de texturas. Por lo que respecta a la materia orgánica, ésta fue de 1.92% la cual lo clasifica como medio en este aspecto. En el caso de la conductividad eléctrica (C.E.), ésta fue de 2.7 mmhos/cm, lo que indica salinidad ligera; el nitrógeno total del suelo es bajo (0.12%) y el fósforo total es suficiente (51.12 mg/kg.), pero es posible que no se encuentren en forma aprovechable, principalmente por el pH alcalino (8.06) de este suelo, debido al alto contenido de carbonatos (25.96%). En estas condiciones, se forman trifosfatos de calcio, haciendo al fósforo insoluble. El contenido de potasio es elevado ya que éste se encuentra a 829.34 kg/ha.

### **2. Determinación de Nitrógeno Total, $\text{NO}_3^-$ y $\text{NH}_4^+$ en el Suelo.**

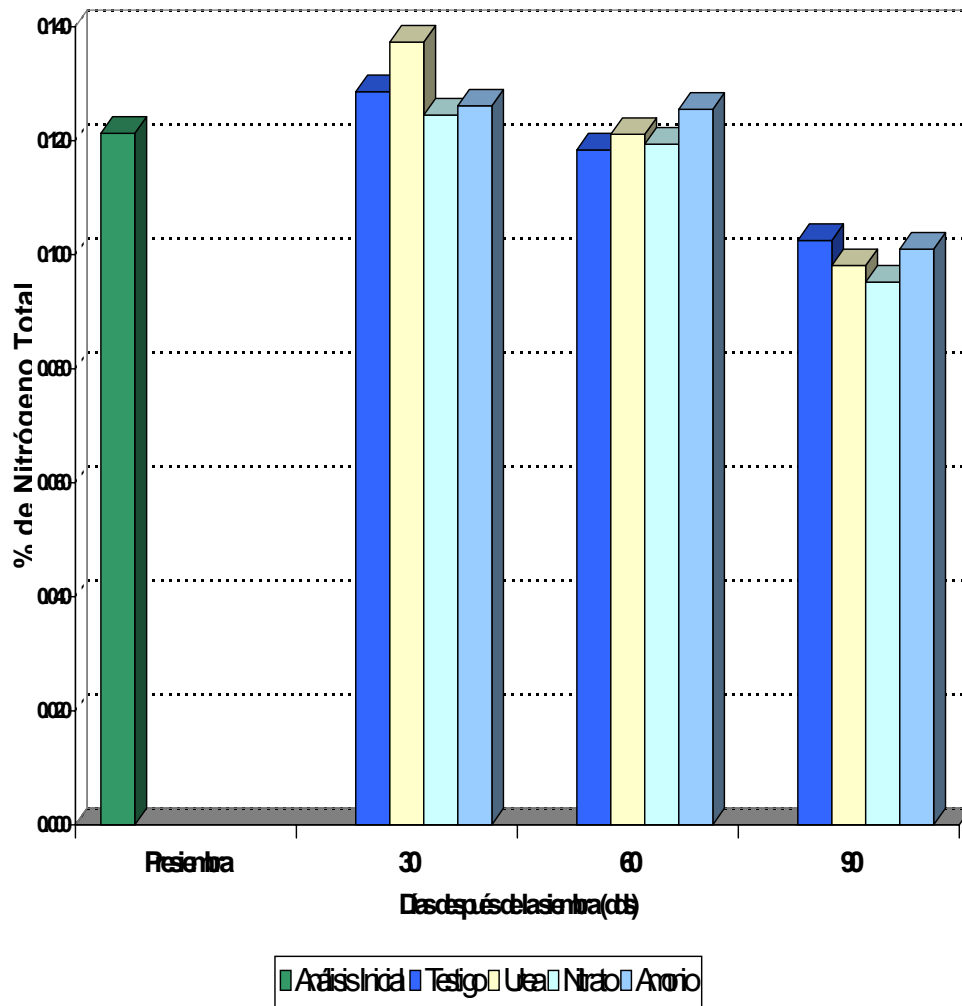
Con base en los resultados de los análisis de las muestras de suelo de las macetas antes de establecer el experimento y al final de cada cosecha para determinar nitrógeno total (NT),  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NH}_4^+$ , se considera lo siguiente.

#### **2.1. Nitrógeno total (NT) en el suelo.**

Después de la primera cosecha realizada en la etapa cinco de la escala de Feekes (30 dds), se observó (Fig. 4) un aumento en el por ciento de NT en cada uno de los tratamientos con relación a su contenido antes de establecer el cultivo. El tratamiento con urea fue el que produjo un contenido de NT ligeramente mayor que el testigo y el amonio; el valor más bajo correspondió al tratamiento con nitrato. Esto probablemente debido al período tan corto que transcurrió desde el momento de la fertilización hasta la primera cosecha, cuando existía mayor cantidad de NT en el suelo debido a la lenta asimilación por parte de las plantas y la ausencia de microorganismos para su transformación.

A los 60 días después de la siembra se observó un ligero descenso en el contenido de NT, similar al que se tenía antes de establecer el cultivo. El suelo adicionado con amonio presentó un contenido de NT ligeramente por encima que los tratamientos restantes. Tal disminución general se debió probablemente a que el cultivo entró a una etapa de crecimiento activo y requirió de este elemento para desarrollarse y crecer.

Después de la tercera etapa (EF10.3), es decir, a los 90 dds, se observó en todos los tratamientos una disminución considerable de NT. En los tratamientos con urea y nitrato fue más notoria esta reducción resultando menor



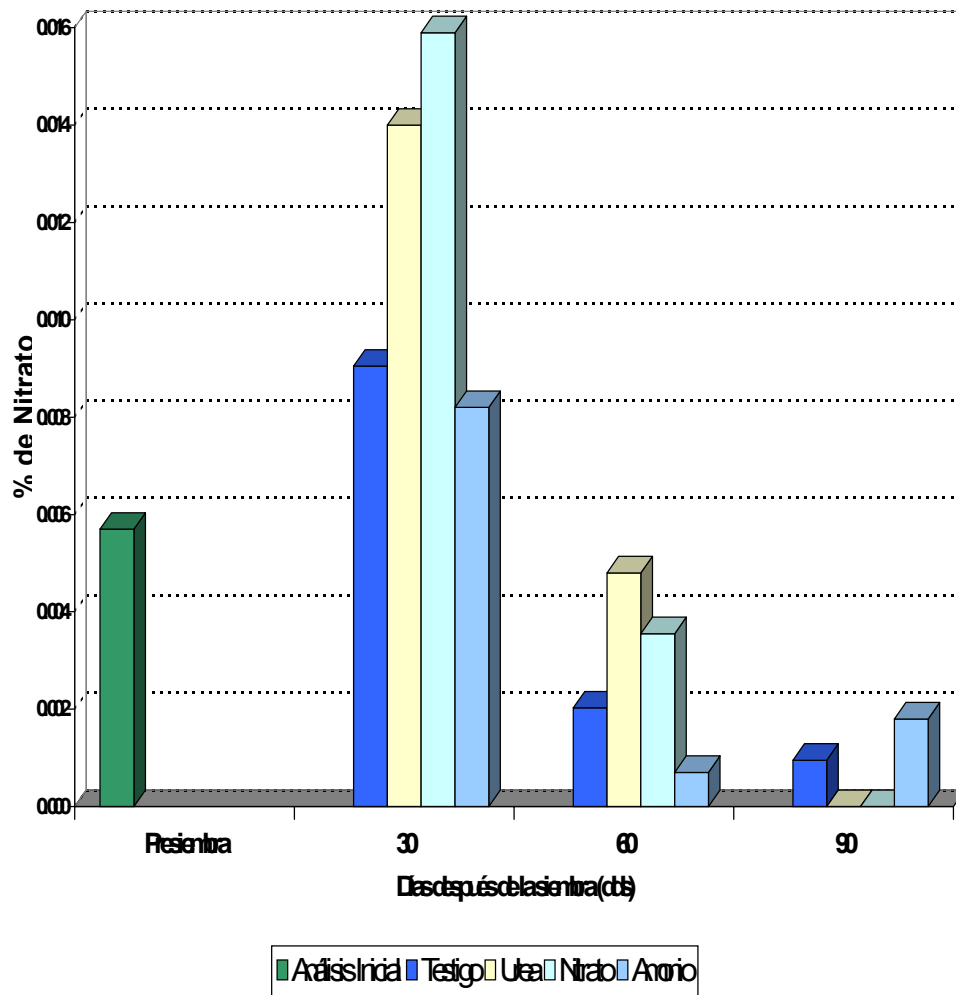
**Figura 4.** Efecto de tres formas nitrogenadas sobre el contenido de nitrógeno total en el suelo antes y después de cada cosecha de trigo Var. Pavón F-76.

que el testigo, aunque el amonio fue el mejor, superando a los anteriores. Estos contenidos de NT se presentan así al continuo desarrollo del cultivo y la formación de nuevos órganos como la espiga, cuya formación requiere una alta cantidad de nitrógeno. Asimismo el nitrógeno es necesario en esta etapa para el llenado del grano y la formación de proteínas.

## **2.2. Por ciento de $\text{NO}_3^-$ en el suelo.**

En la Figura 5 se muestran los resultados del análisis de  $\text{NO}_3^-$  en el suelo. Se observó que después de la primera etapa (30 dds), el por ciento de  $\text{NO}_3^-$  fue mayor que antes de establecer el cultivo, destacando el tratamiento que contenía este ion, seguido por el tratamiento con urea y finalmente el tratamiento con amonio. De esto se puede deducir que por el período tan cercano entre la fertilización y la primera cosecha, la cantidad de  $\text{NO}_3^-$  presente en el suelo no fue afectado por los requerimientos de la planta, ni se perdió por lixiviación, volatilización, etc.

Después de la segunda etapa (60 dds), se observó que el contenido de  $\text{NO}_3^-$  bajó considerablemente en comparación con el por ciento inicial, destacando el tratamiento con urea, seguido por el de nitrato y en menor porcentaje al tratamiento con amonio. Lo anterior probablemente debido a que la planta entró en una situación crítica de desarrollo en donde requirió nitrógeno en una forma inmediata, como el  $\text{NO}_3^-$  es una de las formas más solubles y mejor aprovechadas por la planta, esta disminución fue más notoria en esta etapa.



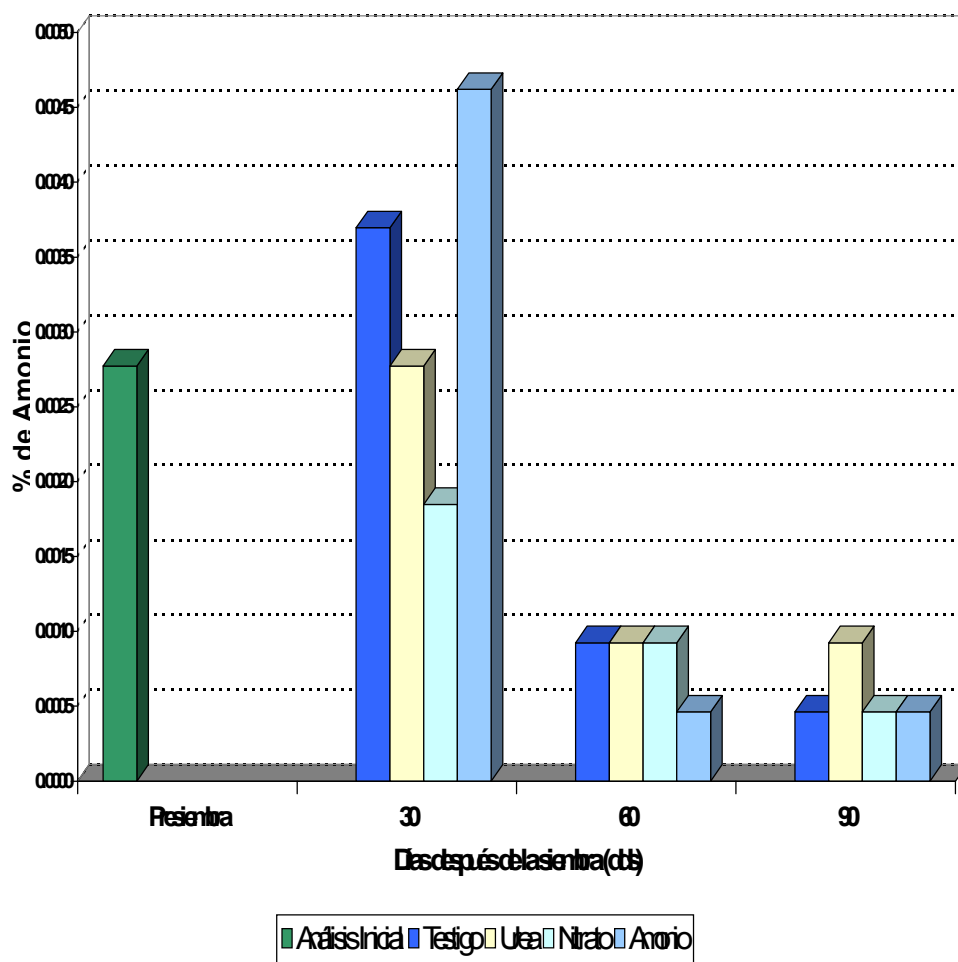
**Figura 5.** Efecto de tres formas nitrogenadas sobre el contenido de  $\text{NO}_3^-$  en el suelo antes y después de cada cosecha de trigo Var. Pavón F-76.



Después de cosechar las plantas en la etapa 10.5 de Feekes (90 dds), hubo una disminución del por ciento de  $\text{NO}_3^-$  con relación a la contenido inicial, llegando en algunos tratamientos a ser inapreciable, como en el caso de los tratamientos que contenían urea y nitrato. En esta etapa sobresalió el tratamiento con amonio, probablemente debido a: 1) desarrollo y formación de nuevos órganos vegetales y por ser el  $\text{NH}_4^+$  la forma más aprovechable y 2) la lixiviación, volatilización o la transformación de  $\text{NO}_3^-$  a la forma de amonio. Esto puede explicar por qué en las dos primeras etapas, los suelos adicionados con urea y nitrato presentaron los menores porcentajes de  $\text{NO}_3^-$  y en la última etapa el suelo fertilizado con amonio produjo un contenido mayor de  $\text{NO}_3^-$ .

### **2.3. Por Ciento de $\text{NH}_4^+$ en el Suelo.**

Los resultados del por ciento de  $\text{NH}_4^+$  en el suelo se muestran en la Figura 6. Al final de la primera etapa (30 dds), se encontró que el suelo tratado con amonio presentó un contenido de  $\text{NH}_4^+$  mayor que el testigo esto es normal ya que se trata de la forma que se está detectando en el suelo. Los tratamientos con urea y nitrato fueron menores que el por ciento de  $\text{NH}_4^+$  inicial. En el caso del testigo a los 30 dds, este es mayor que el análisis inicial, esto puede deberse a los diferentes cambios que sufre el nitrógeno en el suelo una vez optimizados los diferentes factores que influyen en la actividad biológica. En la segunda y tercera etapa, la disminución en el por ciento de  $\text{NH}_4^+$  del suelo fue muy marcada en todos los tratamientos en comparación con el contenido



**Figura 6.** Efecto de tres formas nitrogenadas en el contenido de  $\text{NH}_4^+$  en el suelo antes y después de cada cosecha de trigo Var. Pavón F-76.

inicial (Tisdale y Nelson, 1988) y en el caso de la última etapa, se registró otra disminución del contenido de  $\text{NH}_4^+$  del suelo con los tratamientos de nitrato y amonio. En el tratamiento con urea se encontró un mayor por ciento de  $\text{NH}_4^+$  igual al observado en la segunda etapa (60 dds), posiblemente debido a que la urea no pudo ser transformada completa y rápidamente a amonio durante todo el experimento.

De manera general, se puede afirmar que la concentración de iones  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NH}_4^+$  fueron los que tuvieron mayor presencia en el suelo durante el desarrollo del cultivo para los cuatro tratamientos, sobresaliendo ligeramente el tratamiento con amonio en las dos últimas etapas cuando fue más notorio su efecto sobre el contenido de NT. El tratamiento con urea proporcionó la misma cantidad de iones  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$  así como NT en las tres etapas, aunque el efecto del tratamiento con nitrato sólo se manifestó a los 30 dds aportando una cantidad considerable del ion  $\text{NO}_3^-$ . La cantidad elevada de iones  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NH}_4^+$  se debieron a que las plantas absorben el nitrógeno en forma de iones tanto  $\text{NO}_3^-$  como de  $\text{NH}_4^+$ , los cuales son utilizados con igual facilidad (Palacios, 1982) y son las dos formas de mayor asimilación.

Otra de las razones posibles por las cuales el tratamiento con amonio se destaca más es que este ion  $\text{NH}_4^+$  puede ser retenido por el complejo adsorbente del suelo en la fase de cambio con las arcillas, por lo cual posee menos movilidad, (Rodríguez, 1992). Lo que origina que los iones  $\text{NH}_4^+$  añadidos al suelo no

pueden oxidarse con facilidad, contrario a lo que menciona Palacios (1982).

El tratamiento que menos influyó sobre el por ciento de  $\text{NH}_4^+$  en el suelo fue el nitrato, que resultó en menor cantidad en la última etapa, probablemente debido a que el ion  $\text{NO}_3^-$  se encuentra mayormente disuelto en la solución del suelo por lo que es más rápida su acción (Palacios, 1982). Esta disminución también se puede atribuir a lixiviaciones en el suelo (Rodríguez, 1992) o a pérdidas a la atmósfera en forma de gas durante la desnitrificación (Alexander, 1991).

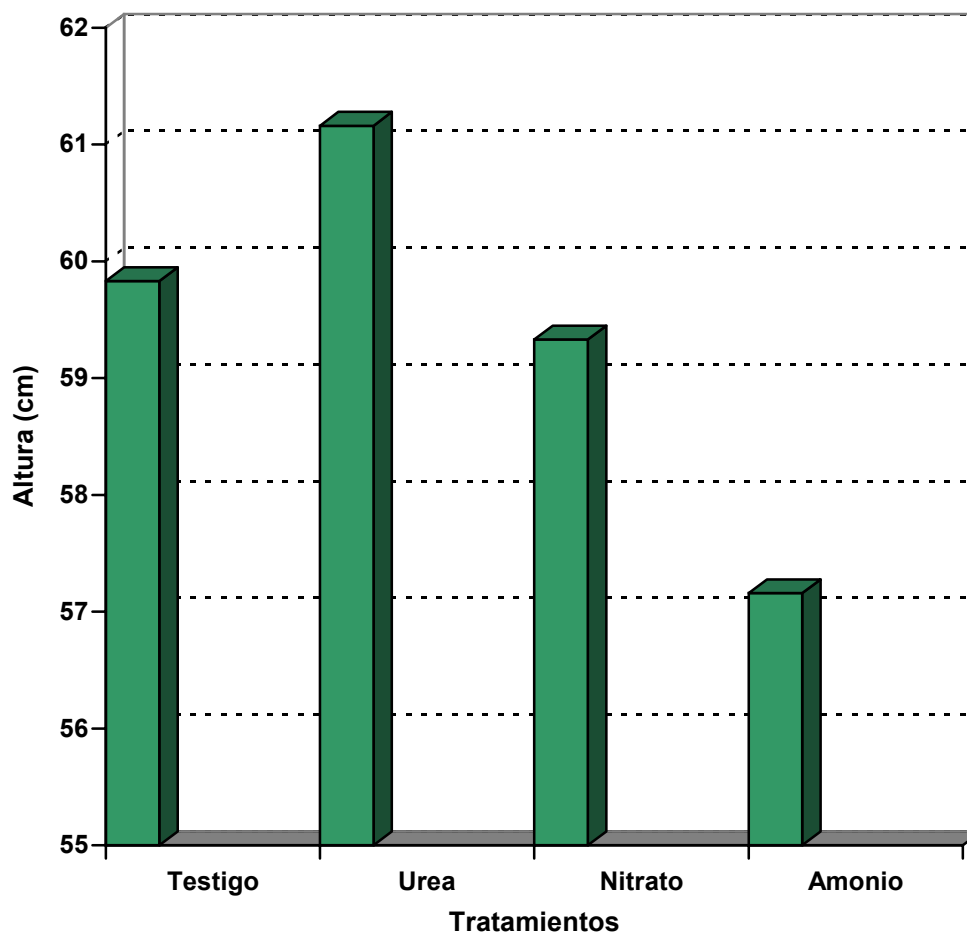
Las mayores concentraciones de  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NH}_4^+$  se obtuvieron cuando se aplicó el nitrógeno en su forma nítrica y amoniacal, respectivamente en la primera etapa, pero ambas formas fueron disminuyendo con el tiempo, llegando a superar en este aspecto el amonio al nitrato en las épocas finales como lo reporta Pineda (1980).

Las características iónicas de  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NH}_4^+$  no sólo les confiere carácter de universalidad como nutrimento (Ladha, *et al.* 1996; Reynolds y Wolf, 1988), también representa rasgos característicos de movilidad en el sistema suelo. Los iones  $\text{NO}_3^-$  por ser muy solubles en agua, se ven sometidos a diversos mecanismos que resultan en la pérdida de este elemento de la solución del suelo por vías como lixiviación, lavado, volatilización ( $\text{NH}_3$ ) y desnitrificación (bajo condiciones anaeróbicas), etc., así como por los procesos de inmovilización

microbiana (Domínguez, 1989; Alexander, 1991).

### **3. Altura de la Planta.**

Esta variable se midió únicamente en la etapa final del experimento (90 dds) para determinar el efecto de los tratamientos sobre el desarrollo de las partes vegetativas. Entre los tratamientos no hubo diferencias significativas (Figura. 7), aunque en el tratamiento con urea se presentó una altura de trigo ligeramente mayor que el testigo. Lo anterior debido a que este fertilizante pasa por una serie de reacciones y transformaciones que ocurren lentamente al hidrolizarse y formar iones  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NH}_4^+$  de fácil asimilación, por lo que esta forma se manifestó hasta la última etapa. Además, la aplicación de urea se hizo de manera fraccionada, la mitad al momento de la siembra y la otra mitad 30 días después, lo cual pudo haber sido uno de los factores primordiales de la mayor altura estimulada por la urea como encontró Cabrera (1995), al evaluar dos genotipos de trigo harinero con fertilización nitrogenada. El encontró que se obtenía una mayor altura de trigo al aplicar una tercera parte del fertilizante nitrogenado al momento de la siembra, otra tercera parte al formarse el primer nudo y el resto en la etapa de espigamiento.



**Figura 7.** Efecto de tres formas nitrogenadas sobre la altura de trigo Var. Pavón F-76 a los 90 días después de la siembra.

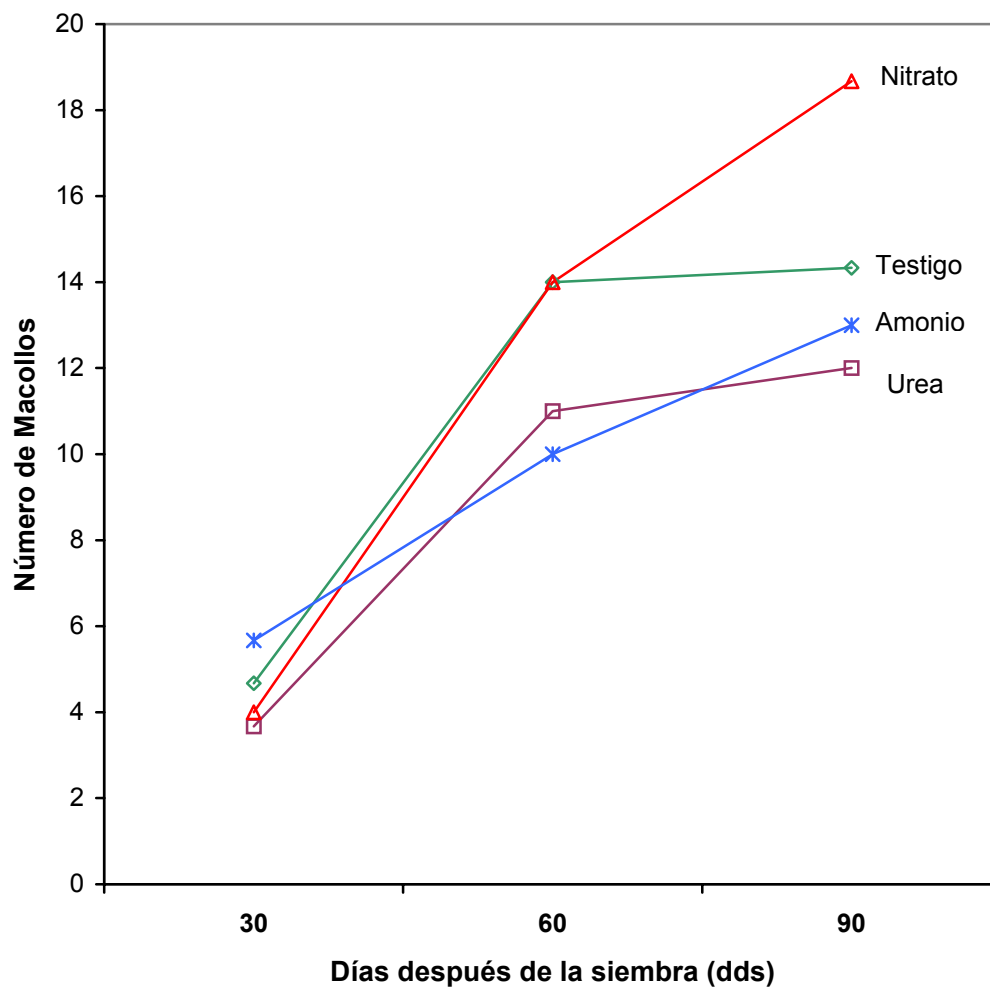
#### 4. Número de Macollos por Planta.

La Figura 8 muestra los resultados referentes al número de macollos por planta. En ninguna de las etapas fenológicas (30,60 y 90 dds) hubo diferencia significativa, lo cual indica que cualquiera de las tres formas utilizadas es igualmente efectiva en la producción de macollos.

En la primera etapa (30 dds), el tratamiento que promovió más la brotación de macollos con relación al testigo, fue el de amonio, debido a que la fuente amoniacal es fácilmente asimilable por la planta y utilizada rápidamente.

En la segunda etapa (60 dds), el trigo adicionado con nitrato produjo igual número de macollos que el trigo que no recibió fertilizante nitrogenado (testigo), mientras que la adición de amonio produjo una menor cantidad de macollos. La posible razón por la cual el tratamiento con nitratos se destacó más en la producción de macollos es que es una de las formas de nitrógeno de mayor asimilación junto con el  $\text{NH}_4^+$  y la más móvil de las tres.

En la tercera etapa (90 dds), el tratamiento en el cual se observó mejores resultados para la producción de macollos fue el de nitratos lo que hace suponer que el ion  $\text{NO}_3^-$  es fácilmente asimilado por las plantas superiores.



**Figura 8.** Efecto de tres formas nitrogenadas en la brotación de macollos en cada una de las etapas fenológicas del cultivo de trigo Var. Pavón F-76.



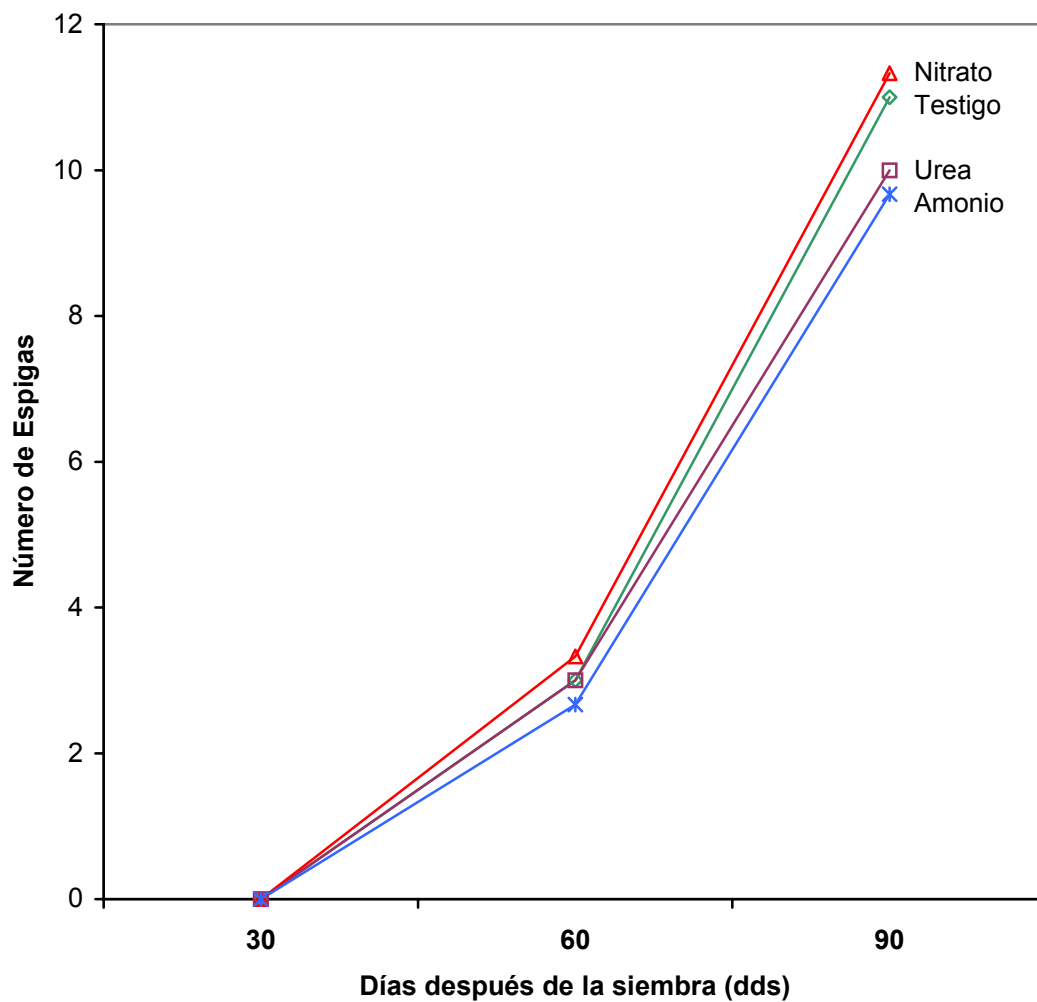
De manera general, se puede establecer que en este aspecto, el tratamiento óptimo para la producción de macollos fue el de nitrato. El ion  $\text{NO}_3^-$  se asimiló directamente al suelo sin necesidad de que fuera oxidado a partir de  $\text{NO}_2^-$ . La forma  $\text{NO}_3^-$  es la que mejor puede estimular a las plantas superiores (Burdan, 1978) y, como es muy soluble y está rápidamente disponible, provoca un abundante desarrollo de cañas (Soldano, 1978) y una gran proliferación de tallos (Bidwell, 1990).

### **5. Número de Espigas por Planta.**

Con relación al número de espigas que desarrolló cada planta (Fig. 9), no se observó diferencia significativa en las dos últimas etapas de crecimiento de trigo. Cabe mencionar que en la primera etapa (30 dds) no se evaluó esta variable por no haber aún formación de espiga en la planta.

En la segunda etapa (60 dds), el tratamiento que mejor se comportó fue el que contenía nitratos aunque todos los tratamientos estimularon de manera similar la producción de espigas.

En la tercera etapa (90 dds), el tratamiento con nitrato fue el que mayor número de espigas produjo, superando al testigo, debido posiblemente a que el  $\text{NO}_3^-$ , por ser la forma nitrogenada más móvil fuera y dentro de la planta, pasó a ser el mejor tratamiento en la proliferación de espigas.



**Figura 9.** Efecto de tres formas nitrogenadas en la producción de espigas en cultivo de trigo Var. Pavón F-76.

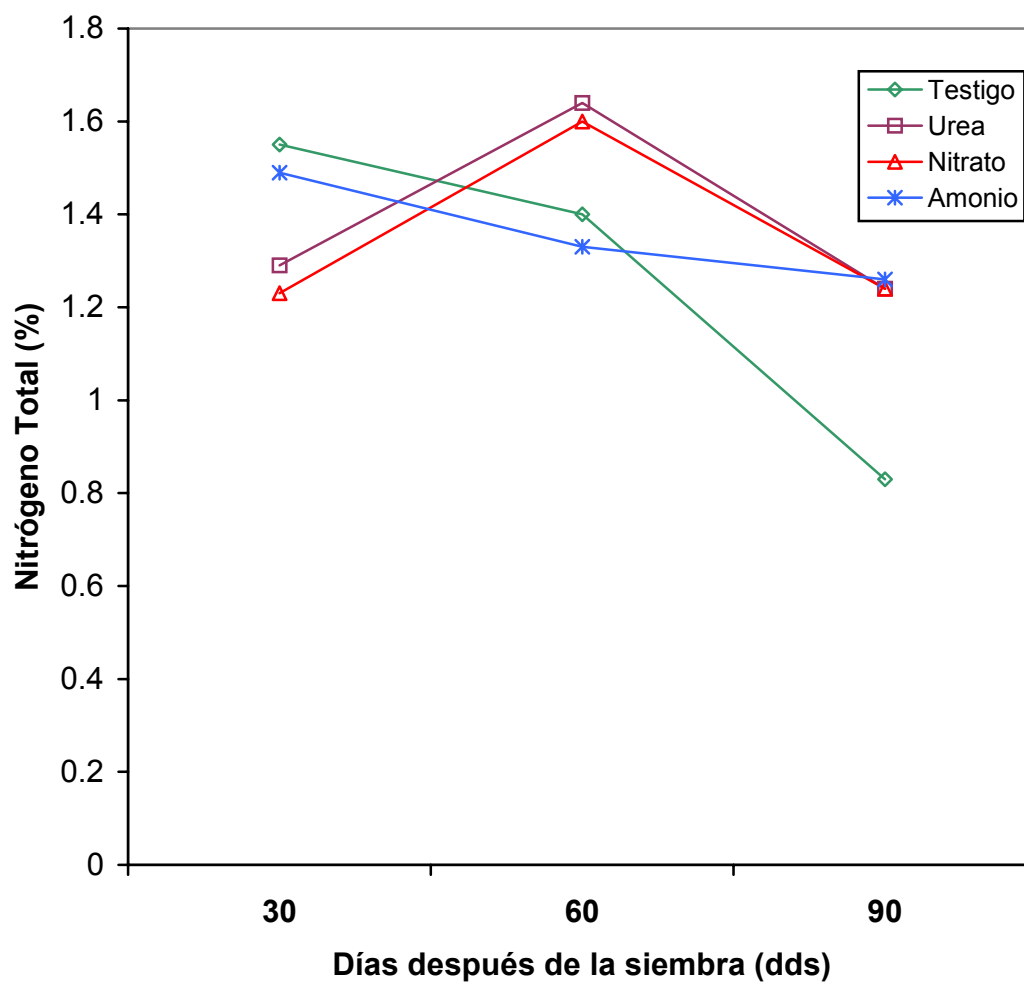
## 6. Por Ciento de NT y Peso Seco en Trigo.

### 6.1. Nitrógeno Total (NT).

#### 6.1.1. Raíz.

En la Figura. 10, se presentan los resultados del por ciento de NT en raíz. En la etapa EF5 (30 dds), los tratamientos nitrogenados produjeron un contenido similar de NT en la raíz, sobresaliendo ligeramente el tratamiento con amonio aunque el testigo fué mayor, en cambio en la etapa EF9 el mejor tratamiento fue la urea. En estas primeras etapas, el tratamiento con amonio y el testigo mostraron una correlación negativa ( $r=-0.9036$ ) entre la concentración de NT y tiempo, es decir, el contenido de NT de raíz disminuyó de los 30 a los 60 dds (Figura 10).

En la determinación final en cuanto a NT en raíz, tampoco hubo significancia entre tratamientos. En la última cosecha (90 dds) se presentó un pequeño descenso en comparación con la segunda cosecha, actuando de manera similar los tratamientos nitrogenados y sobresaliendo ligeramente el tratamiento con amonio entre estos, el cual produjo un incremento de 51.8 por ciento de NT con relación al testigo.



**Figura 10.** Efecto de tres formas nitrogenadas sobre el por ciento de nitrógeno en la raíz de trigo Var. Pavón F-76.

### 6.1.2. Tallo.

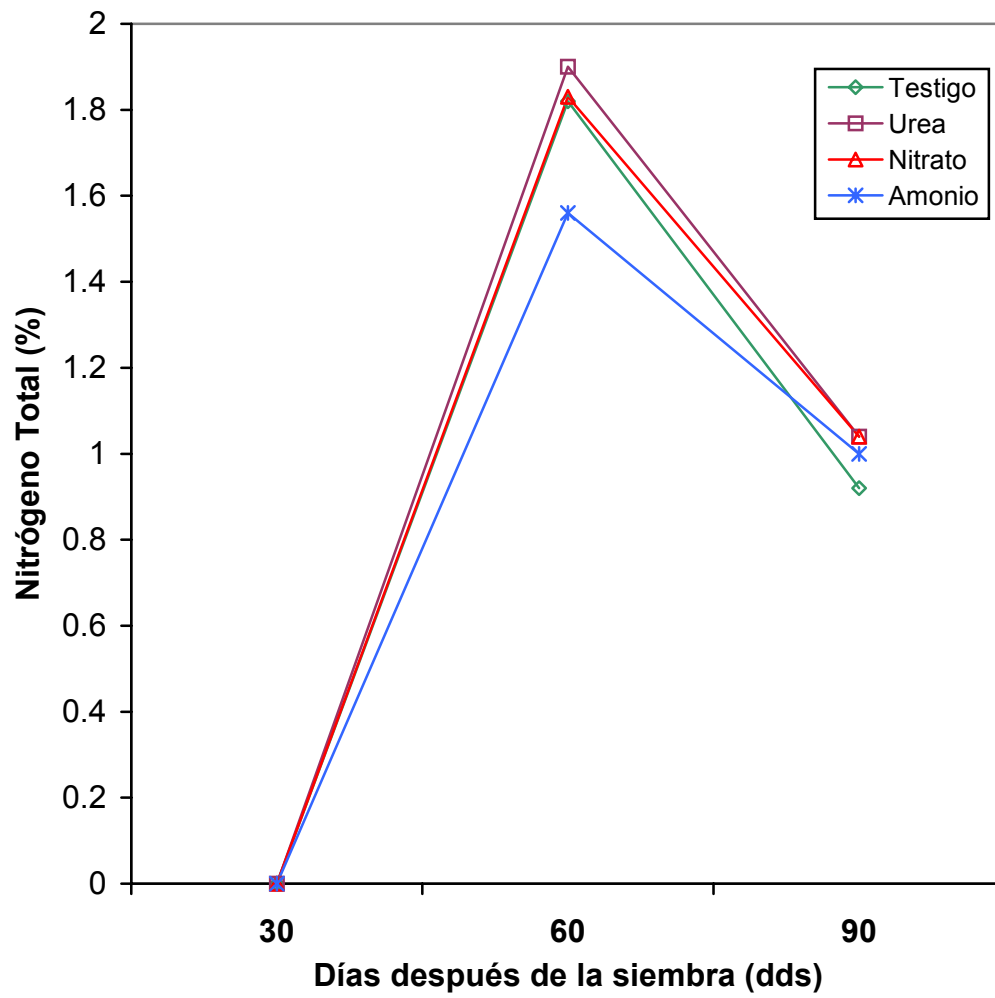
A los 60 dds (Figura 11) los tratamientos con urea y nitrato se comportaron de forma similar al testigo, superando al tratamiento con amonio. La urea mostró una correlación positiva ( $r=0.6148$ ) entre el NT del tallo a los 60 dds y el peso seco de la hoja a los 60 dds, decir, a mayor contenido de NT en el tallo, mayor peso seco de la hoja.

A los 90 dds, no hubo diferencia significativa entre tratamientos, sin embargo la urea y el nitrato aumentaron 13 por ciento el contenido de NT en tallo comparado con el testigo. En general se puede observar que a medida que aumenta la edad de la planta disminuye el contenido de nitrógeno independientemente de la forma utilizada como lo menciona Baldovinos (1954).

### 6.1.3. Hojas.

Como se muestra en la Figura 12, los cuatro tratamientos tuvieron un comportamiento y trayectoria similar en cuanto a la concentración de NT en la hoja.

A los 30 dds, el mejor tratamiento nitrogenado fue la urea, que superó ligeramente a los demás tratamientos sin mostrar diferencia significativa entre ellos.



**Figura 11.** Efecto de tres formas nitrogenadas sobre el por ciento de nitrógeno en el tallo de trigo Var. Pavón F-76.

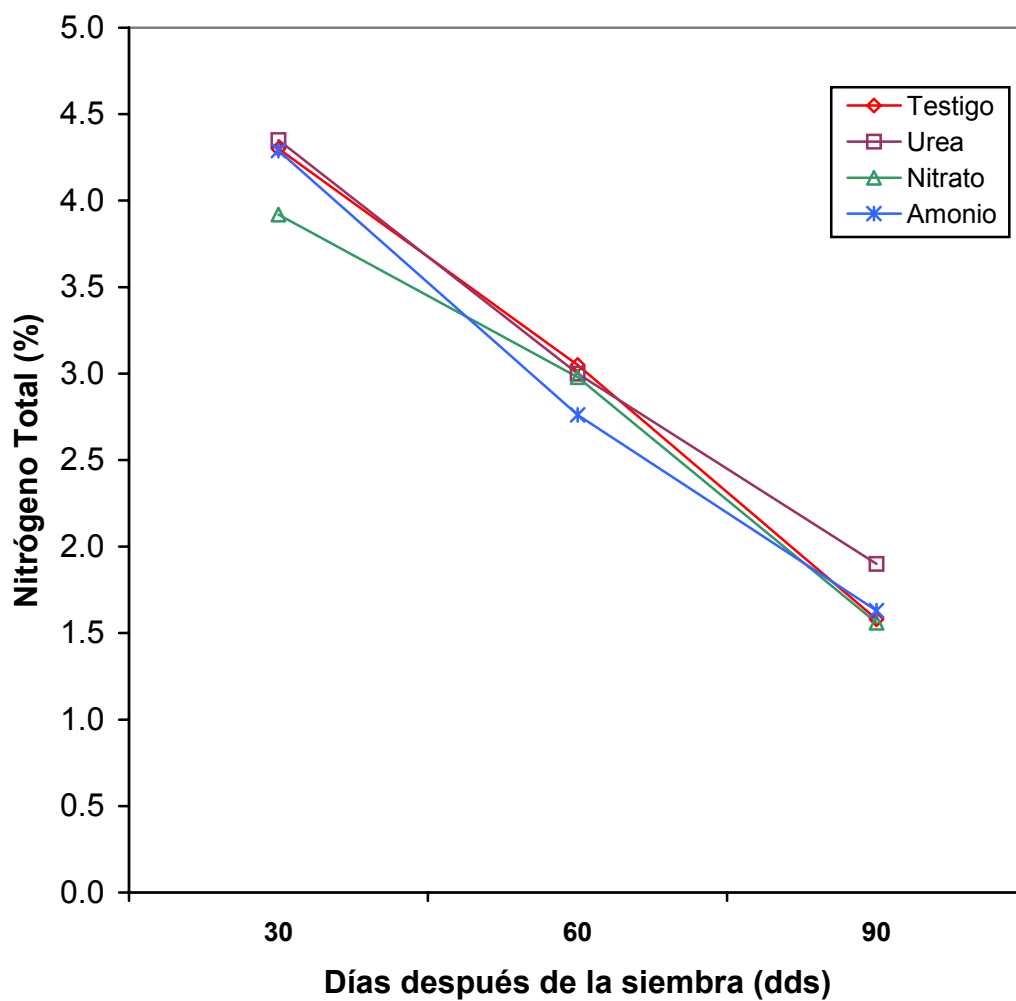
A los 60 dds, los tratamientos siguieron teniendo el mismo efecto. Cabe mencionar que en esta etapa existe una correlación positiva entre las medias de NT en hoja a lo 60 dds con el peso seco del tallo también a los 60 dds de  $r=0.9744$ , lo que indica que a mayor peso seco en el tallo, mayor cantidad de NT en la hoja. En esta etapa el tratamiento con amonio mostró la menor concentración de nitrógeno.

En la última determinación de NT (90 dds), la urea originó un contenido de NT 20.2 por ciento mayor que el testigo, probablemente se debió a lo que menciona Melendez (1982), a que la urea lixivia menor cantidad de  $\text{NO}_3^-$ , en comparación con los demás tratamientos utilizados en este experimento y se estima que se debe, a que está mayormente expuesta a pérdidas.

#### 6.1.4. Espiga.

Como se muestra en la Figura 13, este órgano de la planta solamente se evaluó a los 60 y 90 dds.

A los 60 dds, los cuatro tratamientos produjeron cantidades de NT similares, sobresaliendo ligeramente el tratamiento con nitrato. Además, existe una correlación positiva entre el NT de la espiga a los 60 dds y el peso seco de la misma en esta etapa  $r=0.9881$  esto es, a medida que aumenta la concentración de NT en la espiga, se estimuló el crecimiento (peso seco) en la



**Figura 12.** Efecto de tres formas nitrogenadas sobre el por ciento de nitrógeno en la hoja de trigo Var. Pavón F-76.

espiga Figura 18.

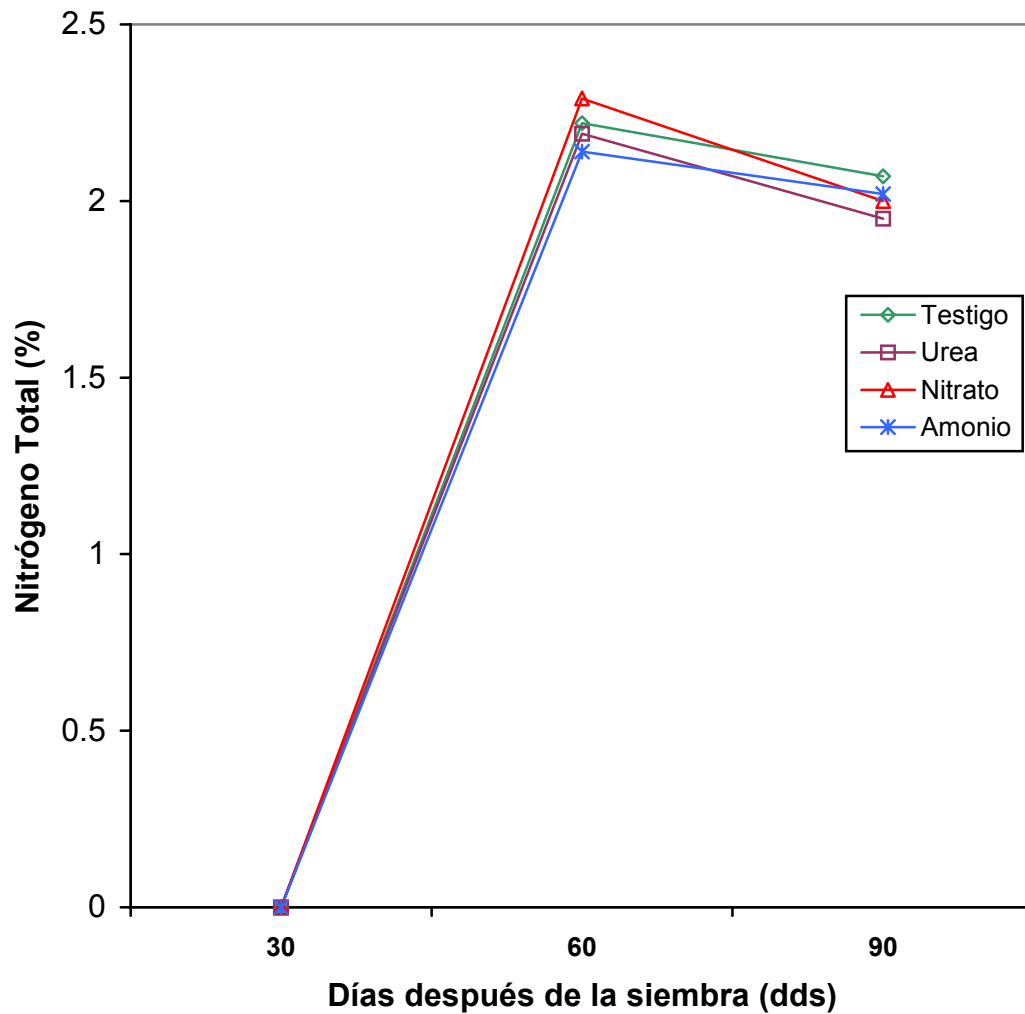


Al final del experimento (90 dds), los cuatro tratamientos mostraron una tendencia a disminuir el NT, quedando los tratamientos nitrogenados por debajo del testigo, debido probablemente a la cantidad de NT que contenía el suelo (Figura 4), antes de establecer el cultivo.

Existe una correlación negativa entre NT en espiga y NT en tallo a los 90 dds de  $r = -0.9017$ , a medida que se traslocaba el NT del tallo hacia las partes superiores, fue disminuyendo el nitrógeno para concentrarse en la espiga.

#### 6.1.5. Planta.

Los tratamientos nitrogenados a los 30 dds mostraron un comportamiento inferior al testigo, aunque el tratamiento con amonio, fue ligeramente mayor entre los nitrogenados (Figura 14), debido a que en esta etapa, la planta requiere una mayor cantidad de nitrógeno por lo que el contenido de NT generalmente es mayor que la materia seca (Figura 19). Esto coincide con lo reportado por Baldovinos (1954) y Gregory *et al.*(1979), quienes observaron que durante las primeras etapas de desarrollo de los cereales, la acumulación de nutrimentos sobrepasa a la materia seca, en este periodo la planta alcanza el 20 por ciento de su crecimiento (materia seca) y ha tomado 45 por ciento de NT (Domínguez, 1989).



**Figura 13.** Efecto de tres formas nitrogenadas sobre el por ciento de nitrógeno en la espiga de trigo Var. Pavón F-76.

También se observó en esta etapa una gran cantidad de NT en el suelo (Figura 4), así como las formas iónicas más solubles como  $\text{NO}_3^-$  (Figura 5) y  $\text{NH}_4^+$

(Figura 6). En la segunda etapa (60 dds), comenzó a descender la concentración de NT en los cuatro tratamientos. Los tratamientos con nitrato y urea actuaron de manera similar al testigo, pero diferentes al tratamiento con amonio, quedando ligeramente arriba con un 2.8 por ciento de diferencia con el testigo los dos tratamientos nitrogenados.

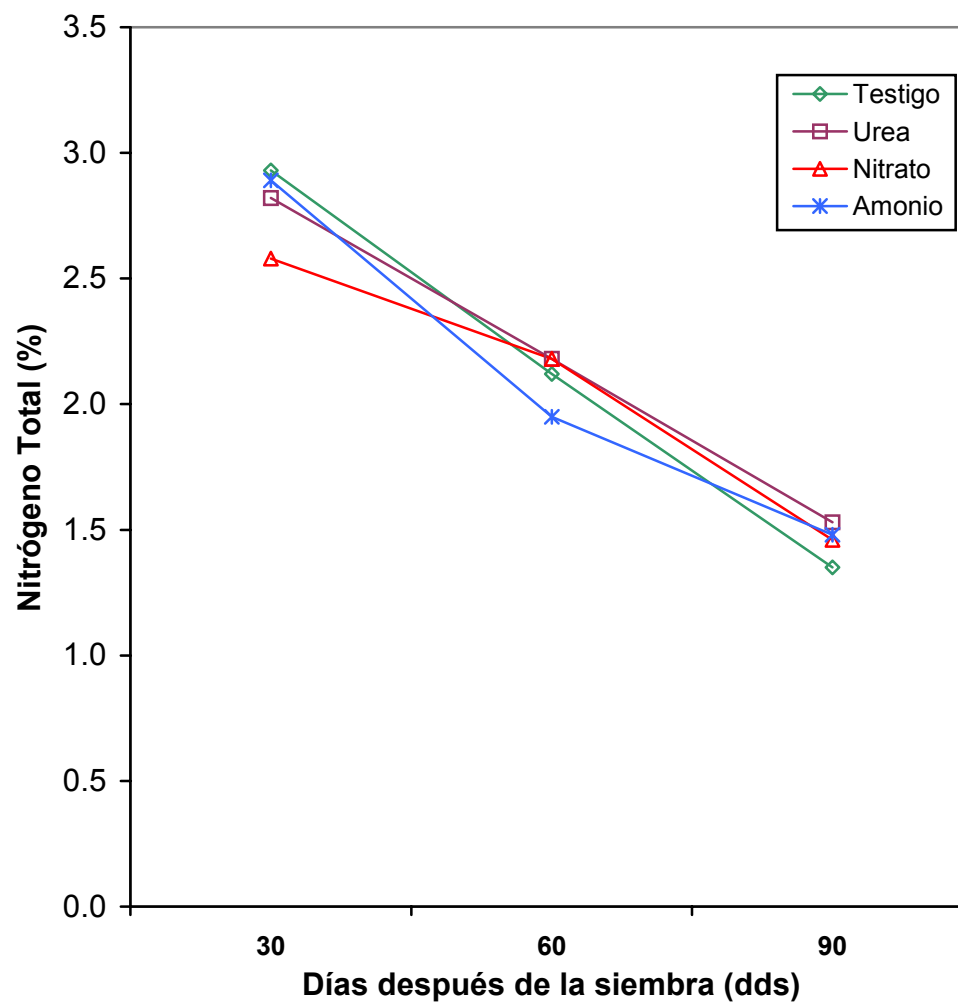
Además en esta etapa se observó la disminución de la cantidad de  $\text{NO}_3^-$  (Figura 5) y  $\text{NH}_4^+$  (Figura 6) en el suelo, debido a los requerimientos de nitrógeno y a las necesidades del cultivo en el periodo de los 30 a los 60 dds.

Al momento de la última etapa (90 dds) no hubo significancia entre tratamientos, actuando todos los nitrogenados de manera similar, pero mostrando una superioridad poco visible entre estos la urea, que produjo 13.3 por ciento más NT que el testigo.

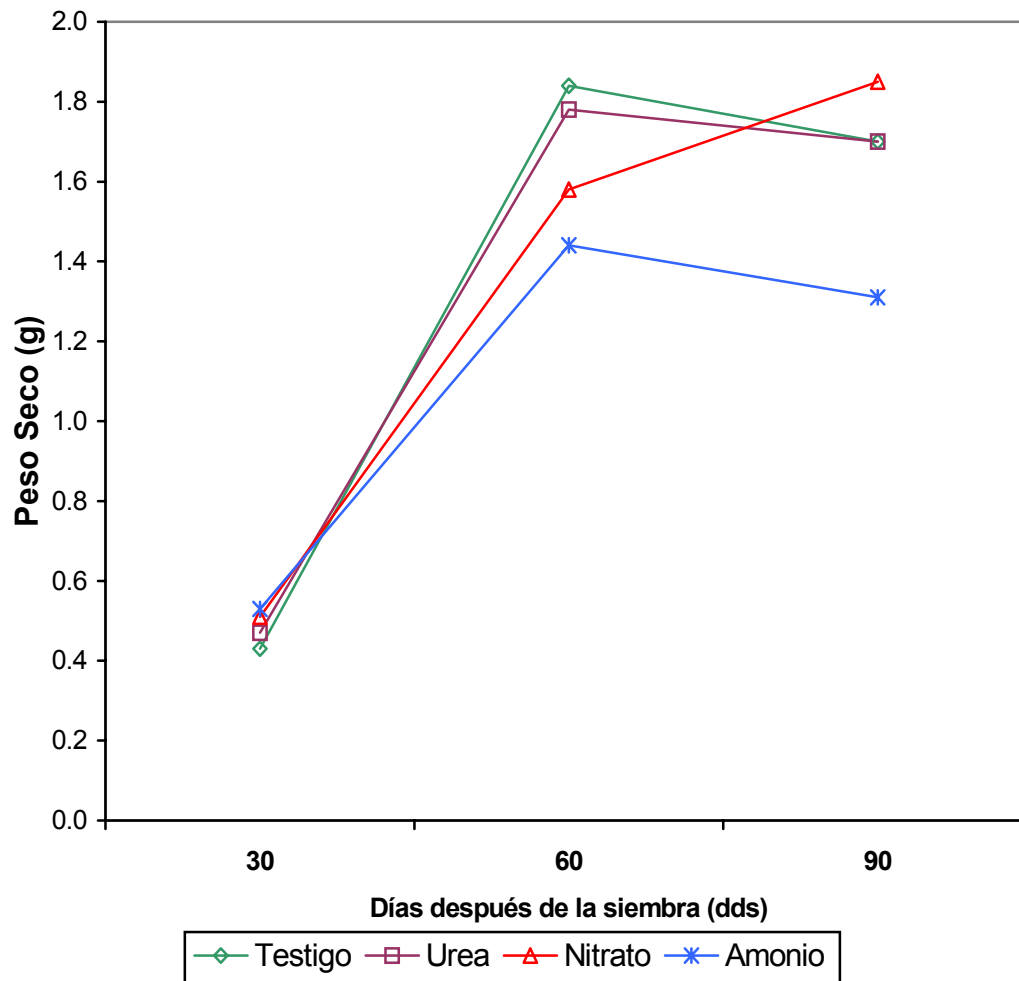
## **6.2. Producción de Biomasa (Peso seco).**

### **6.2.1. Raíz.**

En lo que respecta a peso seco en la raíz a los 30 dds, se observa en la Figura 15, un comportamiento similar entre tratamientos, no habiendo diferencia



**Figura 14.** Efecto de tres formas nitrogenadas sobre el por ciento de nitrógeno en la planta completa de trigo Var. Pavón F-76.



**Figura 15.** Efecto de tres formas nitrogenadas sobre el peso seco de la raíz de trigo Var. Pavón F-76.

significativa entre ellos. El amonio superó al testigo en un 23.5 por ciento, debido a que el  $\text{NH}_4^+$  es una de las mejores formas de nitrógeno inorgánico aprovechable

por las plantas (Marshner, 1995) produciendo un incremento de peso seco.

En la segunda etapa (60 dds), tampoco hubo diferencia significativa entre los tratamientos, destacando en esta etapa el testigo, que superó a los tratamientos nitrogenados. Este comportamiento coincide con lo reportado por Moreno (1997), quien observó que a los 60 dds los tratamientos nitrogenados no causan efecto alguno sobre la producción de materia seca.

Cabe mencionar que en esta etapa, a medida que hubo un aumento en el peso seco de la raíz, aumentó también la biomasa del tallo (Figura 16), hojas (Figura 17) y de espiga (Figura 18).

En lo que se refiere a la última etapa (90 dds), no hay diferencia significativa entre tratamientos, pero sí existen diferencias claras en su comportamiento, resultando superior el tratamiento con nitrato, debido posiblemente a la movilidad de éste ion y su rápida acción (Palacios, 1982).

Se puede observar también que en la mayoría de los tratamientos (Figura 15) excepto en el de nitrato, el crecimiento se detuvo y disminuyó al igual que el contenido de NT en raíz (Figura 10).

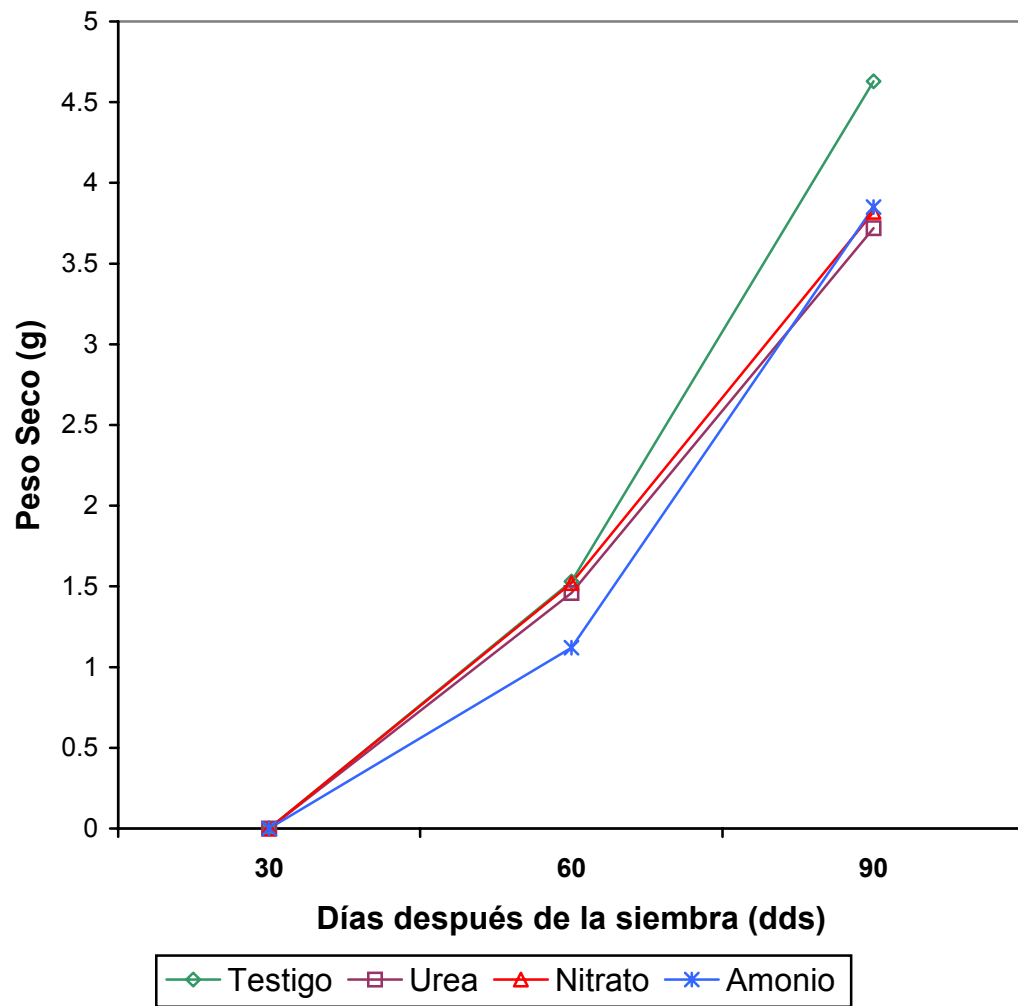
#### 6.2.2. Tallo.

Como se observa en la Figura 16, solamente se determinó peso seco del

tallo en las dos últimas etapas (60 y 90 dds). Los tratamientos nitrogenados no afectaron el peso seco en ninguna de las etapas evaluadas pero. Destaca el crecimiento acelerado del tallo, hojas y espiga (Figura 17 y 18), aunque el contenido de NT en tallo disminuyó.

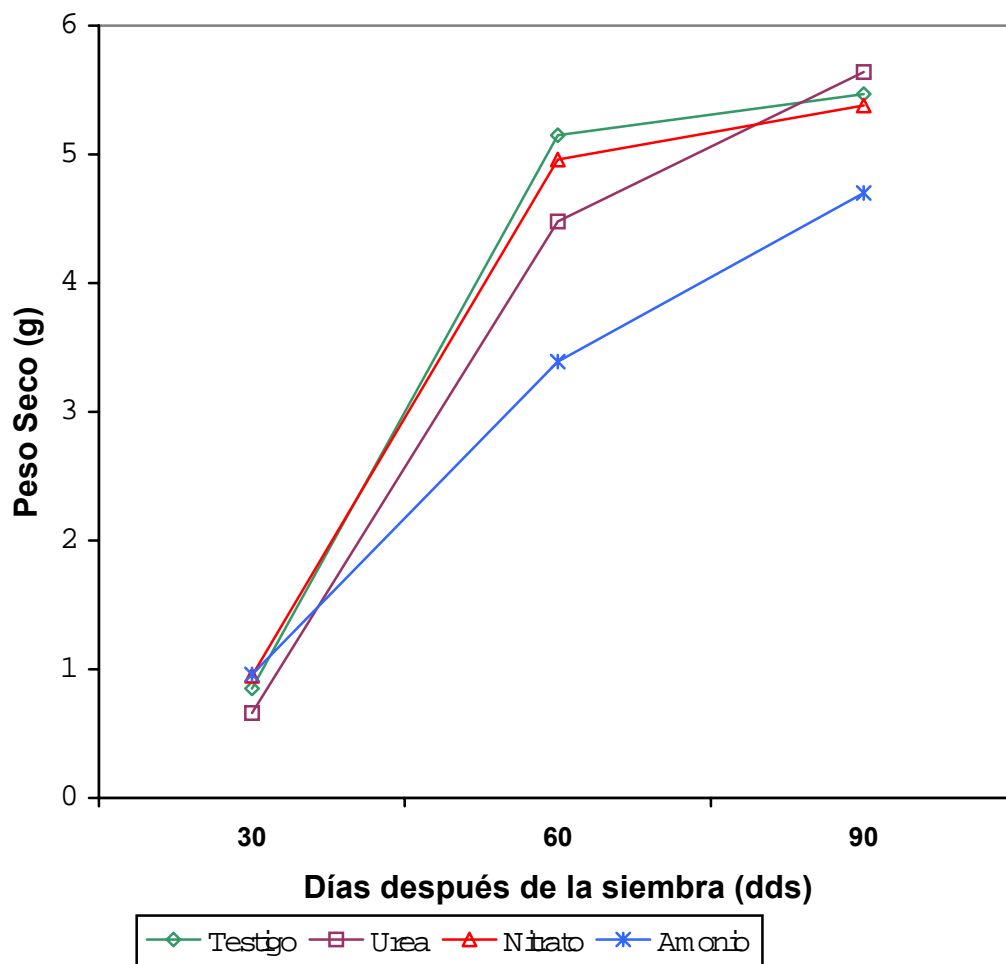
### 6.2.3. Hojas.

La Figura 17 muestra el comportamiento de los tratamientos con respecto al peso seco de la hoja. A los 30 dds, el peso seco fue similar en los cuatro tratamientos, sobresaliendo el tratamiento con amonio que fue 13 por ciento mayor que el testigo. Sin embargo a los 60 dds, se manifestó un cambio inverso entre los tratamientos, resultando el testigo superior a los tratamientos nitrogenados, quedando el de amonio visiblemente por debajo de los demás, comportamiento que continuó hasta los 90 dds. En la etapa final, el tratamiento con urea superó ligeramente al testigo en 3.1 por ciento. Cabe señalar en esta etapa, el aumento de peso seco de las hojas y el incremento de el NT en el tallo, debido a que el nitrógeno fue traslocado a la hoja, (Figura 11 y 17), durante el desarrollo de la planta. Además, a medida que crecieron las hojas (aumento de biomasa), el contenido de NT de las mismas fue menor.



**Figura 16.** Efecto de tres formas nitrogenadas sobre el peso seco del tallo de trigo Var. Pavón F-76.





**Figura 17.** Efecto de tres formas nitrogenadas sobre el peso seco de la hoja de trigo Var. Pavón F-76.

#### 6.2.4. Espiga.

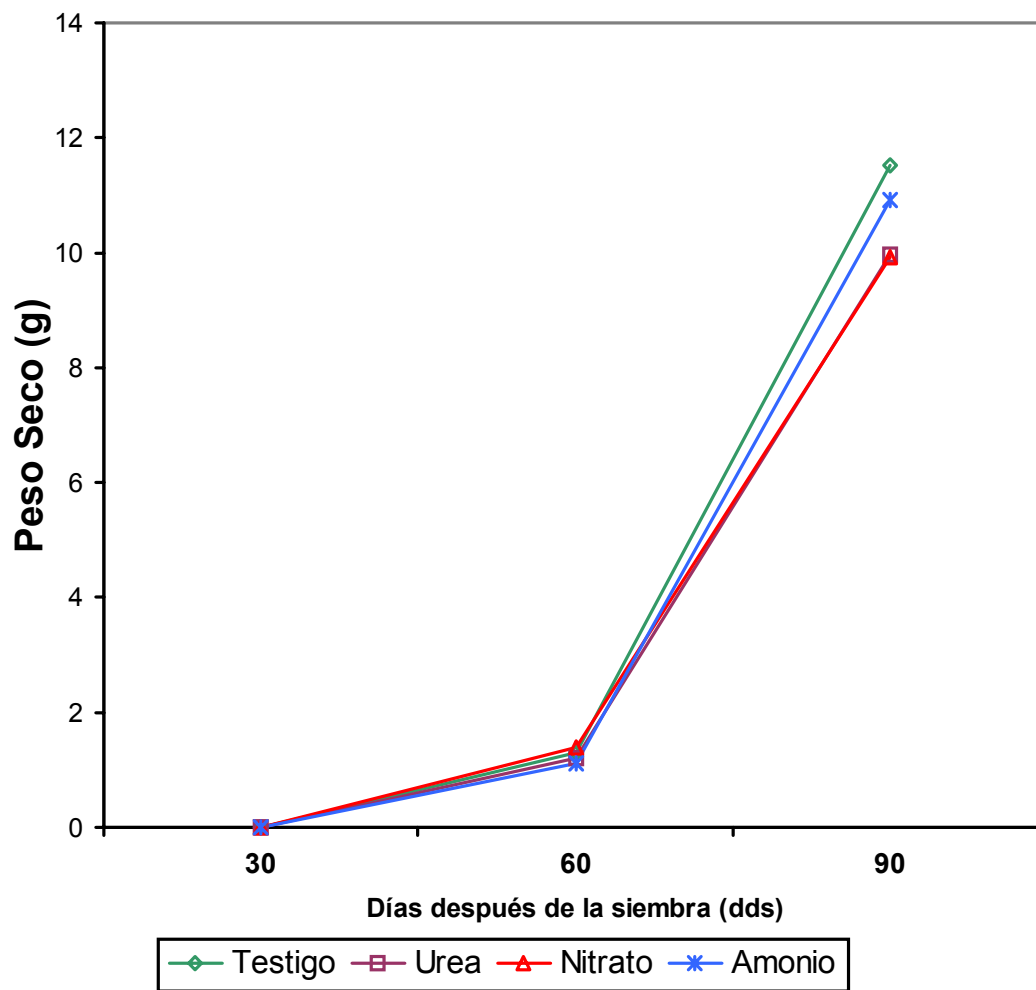
El peso seco de la espiga está representado en la Figura 18. Este órgano se manifestó a partir de los 60 dds, presentando pesos similares independientemente del tratamiento. Sin embargo, el tratamiento con amonio fue ligeramente mayor (3.1 por ciento) que el testigo.

A los 90 dds, el peso seco de la espiga incrementó notablemente en todos los tratamientos hasta 10 veces más que el peso de la etapa anterior, siendo superados los tratamientos nitrogenados por el testigo, pero teniendo un comportamiento estadísticamente similares. Se observa que a medida que el contenido de NT en tallo a los 90 dds (Figura 11) disminuyó, hubo un aumento de peso seco en la espiga.

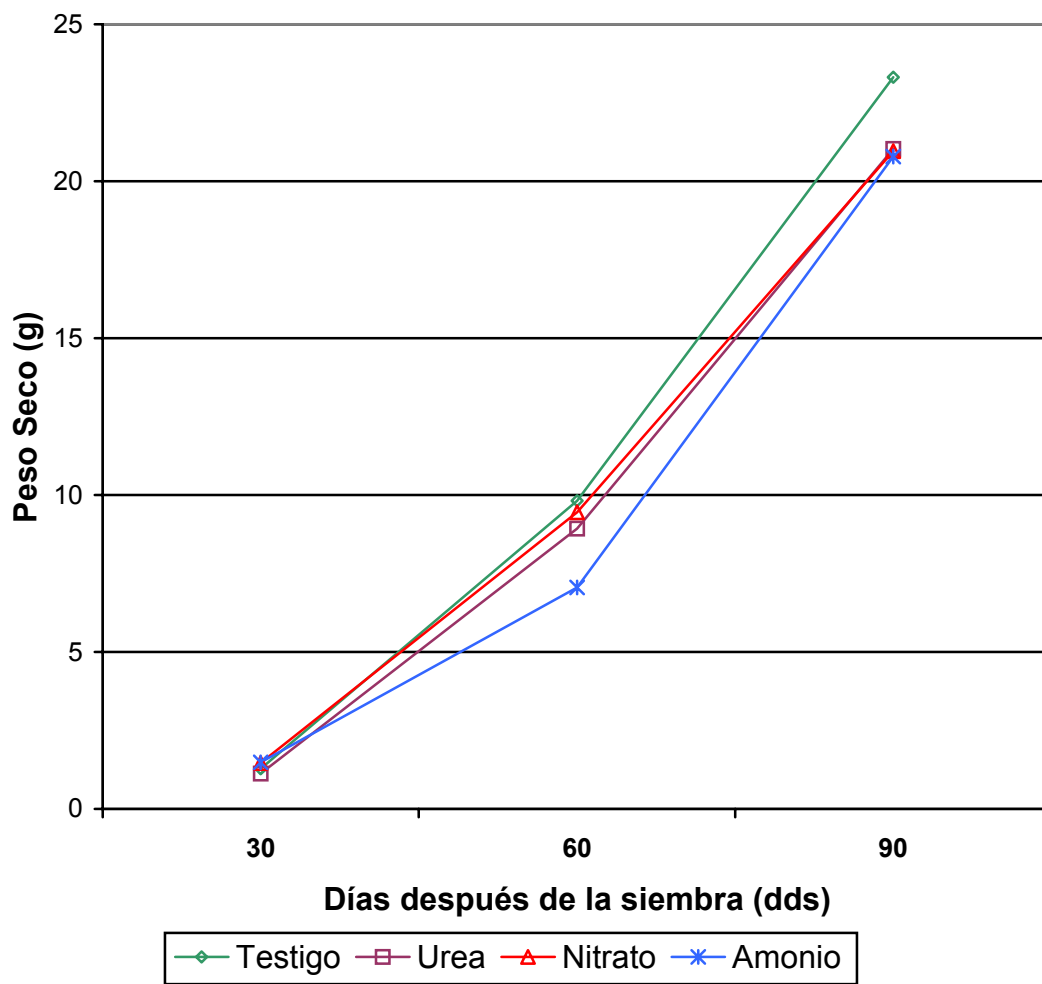
#### 6.2.5. Planta.

En la Figura 19, se observan los resultados obtenidos en cuanto a biomasa de la planta total, no habiendo diferencia significativa en ninguna de las etapas.

A los 30 dds, la similitud de los tratamientos es muy apreciable, pero destaca como mejor tratamiento el amonio. En esta etapa es poco el peso que se obtuvo, debido en gran parte al poco desarrollo que la planta pudo efectuar, posiblemente debido al periodo corto entre la fertilización y la primera cosecha.



**Figura 18.** Efecto de tres formas nitrogenadas sobre el peso seco de la espiga de trigo Var. Pavón F-76.



**Figura 19.** Efecto de tres formas nitrogenadas sobre el peso seco de la planta completa de trigo Var. Pavón F-76.

A los 60 dds, el crecimiento de la planta fue mayor en todos los tratamientos, estos se vieron superados por el testigo. Esta tendencia se observó hasta la última cosecha (90 dds), debido a que cuando el cultivo ha alcanzado un equilibrio en cuanto al crecimiento de cada una de sus partes vegetativas y ha efectuado un 50 por ciento de su crecimiento total, pudo haber absorbido hasta 75 por ciento o más del NT del suelo (Baldovinos, 1954; Domínguez, 1989). Esto se refleja en una disminución de la concentración de iones  $\text{NO}_3^-$  (Fig. 5) y  $\text{NH}_4^+$  (Fig. 6) en el suelo.

De manera general, en todo el experimento la urea fue el mejor tratamiento nitrogenado en cada uno de los aspectos evaluados. Este comportamiento se debe a que la urea se hidroliza y libera lentamente el nitrógeno para que sea transformado a iones  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NH}_4^+$ , durante un periodo prolongado (Meléndez, 1983). Además, la aplicación fraccionada de urea, como se realizó en este estudio, supera a la aplicación única al momento de la siembra (Pineda, 1980; Vlek y Fillery, 1985), por lo cual el efecto se manifestó a partir de la segunda etapa.

El nitrógeno aportado por la urea y absorbido por la planta completa, así como por cada uno de sus órganos, fue notoria (Martínez, 1974). Lo anterior se vio reflejado en la concentración de NT durante todo el experimento, debido probablemente a la cantidad de nitrógeno mineral que originó en el suelo o

posiblemente a menores pérdidas de nitrógeno en comparación con los demás fertilizantes nitrogenados.

Los tratamientos con nitrato y amonio no tuvieron el efecto que se esperaba en cuanto a la absorción por parte de la planta, ni en la estimulación de su crecimiento, debido a que, a pesar del carácter de universalidad de estos iones como nutrimentos, también están expuestas a una serie de cambios y transformaciones dentro del suelo (Ladha *et al.*, 1995; Reynolds y Wolf, 1988). Las diferencias entre estos dos tratamientos se atribuyen a que los nitratos manifestaron un equilibrio en cuanto a la absorción de NT y la producción de materia seca en la etapa intermedia del experimento (60 dds) en donde fueron más activos por la movilidad que caracteriza al ion  $\text{NO}_3^-$  dentro de la planta (Marshner, 1995). Pero, al final del experimento fue disminuyendo su actividad ya que se agotaron las reservas de  $\text{NO}_3^-$  en el suelo (Figura 5), por utilización directa de las plantas, pérdidas que el ion sufre en el suelo por lixiviación, volatilización y desnitrificación (Fillery y Vlek, 1982; Domínguez 1989 ; Alexander, 1991) y utilización de  $\text{NO}_3^-$  para brotación de macollos (Figura 8) y proliferación de espigas (Figura 9).

El tratamiento con amonio resultó ser el tratamiento nitrogenado más bajo, únicamente se hizo presente en la primera etapa (30 dds) cuando originó una buena producción de peso seco tanto en raíz como en hojas. A partir de ese periodo ya no mostró participaciones notorias dentro de la planta, probablemente

a que el ion  $\text{NH}_4^+$  puede causar una intoxicación ligera de las raíces (Hagin *et al.*, 1990) cuando se aplica como en nuestro estudio, cerca del sistema radical. Tisdale y Nelson (1988) reportan que el  $\text{NH}_4^+$  es fuertemente retenido por las partículas de arcilla y no es aprovechado por las plantas. Además, una gran cantidad de  $\text{NH}_4^+$  se encuentra en la fase de cambio y los iones añadidos no pueden oxidarse con facilidad debido a la ausencia de microorganismos que puedan transformarlo a nitratos (Mikkelsen *et al.* 1978).

Con respecto al testigo, que superó a los tratamientos con nitrato y amonio, se puede afirmar que el nitrógeno nativo del suelo no presentó disminuciones. Seniglagliesi (1973), observó un efecto similar en el cultivo de maíz el cual absorbió nitrógeno del suelo en forma muy lenta, lo concentró en las hojas y lo transformó a materia seca en la mayoría de sus partes vegetativas.

El sistema radical tuvo influencia en la absorción de nutrimentos, aunque probablemente por su corto periodo de crecimiento en este experimento, no fueron muy extensas. Al iniciarse la etapa de formación de los órganos florales, el crecimiento de la raíz se redujo notablemente y en algunos casos se detuvo por completo. Tal reducción en esta etapa fisiológica, puede originar disminución en la absorción de nutrimentos y agua.

Gregory (1979), menciona que los nutrimentos absorbidos por las raíces se acumulan en los diferentes órganos de la planta, para posteriormente trascolarse

a la espiga durante el llenado de grano. Simpson *et al.* ( 1983). reportan que cada órgano de la planta llega a aportar las siguientes cantidades de nitrógeno total: hojas, 40 por ciento; tejidos de la espiga que no son grano, 23 por ciento; el tallo, 23 por ciento y raíces, 16 por ciento.



## CONCLUSIONES

Después de analizar e interpretar los resultados obtenidos, se puede concluir lo siguientes:

1.- La hipótesis planteada se rechaza ya que el  $\text{NO}_3^-$  no manifestó el efecto que se esperaba en el crecimiento del trigo.

2.- Ninguna de las formas nitrogenadas tuvo efecto sobre el contenido de NT en la planta en la etapa fenológica 5 (30 dds), pero en la etapa 9 (60 dds) el nitrato tuvo un mejor comportamiento que los demás tratamientos y en la etapa 10.5 (90 dds) la urea produjo mayor concentración de NT en la planta.

3.- El NT en tallo y hojas en la EF10.5 y hojas en la EF5 aumentó con la adición de urea. En espiga, el tratamiento que produjo la mayor concentración de NT fue el nitrato en la EF9.

4.- En cuanto a la producción de biomasa (materia seca) en la planta completa, sólo el tratamiento con amonio causó incremento en la EF5. En las dos etapas restantes, EF9(60 dds) y EF10.5(90 dds), no hubo respuesta por parte de los tratamientos nitrogenados.

5.- El tratamiento con nitrato influyó directamente en la producción de nuevas partes vegetativas como fueron número de macollos y número de espigas.

6.- Aparentemente la ausencia de microorganismos en las primeras etapas de desarrollo, no tuvieron influencia sobre la absorción del nitrógeno por la planta ya que en general ésta se comportó de forma muy similar a través de todo el experimento.

7.- La urea fue la forma nitrogenada mejor utilizada por el trigo, produciendo el mayor contenido de NT en raíz (60 dds), tallo (60 dds), hojas (30 dds) y biomasa en hojas (90 dds) de NT en suelo (30 dds),  $\text{NO}_3^-$  (60 dds),  $\text{NH}_4^+$  (90 dds); así como una mayor altura de la planta (90 dds).

8.- Es claro, que después de hacer las diferentes observaciones del nitrógeno en suelo y planta este elemento tiene una gran dinámica dentro del suelo y que el nitrógeno nativo (orgánico e inorgánico) y el aplicado en forma de fertilizante, sufren una gran cantidad de transformaciones al mismo tiempo y por diferentes vías, lo cual dificulta el estudio del mismo.

9.- En una forma general pudimos observar que hubo una disminución de nitrógeno total (NT) aunado al incremento de materia seca (biomasa) conforme aumentó la edad de la planta.

## **SUGERENCIAS**

De acuerdo a los resultados obtenidos y a los propósitos del cultivo del

trigo, se recomienda:

a) Si la finalidad es la producción de materia seca de la parte aérea, no es imprescindible aplicar un determinado tipo de fertilizante nitrogenado, en la clase de suelo evaluado.

b) Si se busca una mayor concentración de NT en la planta (buena calidad del forraje), se recomienda aplicar fertilizante nitrogenado en forma de urea.

c) Se recomienda hacer un análisis completo en cada una de las etapas fenológicas de las diferentes formas de nitrógeno presentes en la planta (% de  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NH}_4^+$ ) así como se realizó en el suelo, ya que son las dos formas mayormente asimiladas por la planta.

## LITERATURA CITADA

Alexander, M. 1991. Microbiología de suelos AGT. editor. México, D.F.

Baldovinos de la P.G. 1954. El desarrollo fisiológico y el rendimiento de cosechas,

Escuela Nacional de Agricultura Chapingo, México.

- Below, F.E. y Heberer, J.A. 1990. Time of availability influences mixed-nitrogen-induced increases in growth and yield of wheat. *J. Plant Nutrition*. 13(6), 667-676.
- Benavides, M.A. 1987. Fijación de dinitrógeno y su importancia como proceso en la ecósfera. Monografía. Licenciatura. ICCAC, Saltillo, Coahuila, México.
- Bidwell, R.G.S. 1990. Fisiología vegetal 1ª edición. Editorial A.G.T. México D.F.
- Boman, R.K.; Weternan, R.C.; Raund, W.R. y Jojola, M.E. 1995. Time of nitrogen application: Effects on winter wheat and residual soil nitrate. *Soil Science* 59:1364-1369.
- Boussingault, J.B. 1886. *Agronomie Chimie Agricole et Physiologie*. Paris.
- Burdan, K. 1978. Microbiología Editorial P.C. México.
- Cabrera, E.T. 1995. Respuesta de dos genotipos de trigo harinero a la fertilización nitrogenada y densidad de siembra para rendimiento y calidad de semilla en Muzquiz Coahuila. Tesis. Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Coahuila, México.
- Comisión de Estudios del Territorio Nacional (CETENAL). 1976. Saltillo, Carta topográfica G14 O33, Escala 1:50 000, colores varios. Secretaria de la presidencia, México. p 1.
- Cooke, G.W. 1992. Fertilización para rendimientos máximos. Compañía editorial continental, S.A.deC.V.México.
- Christensen, N.W., and V.W. Meint. 1982. Evaluating N fertilizer sources and timing for winter wheat. *Agron. J.* 74:840-844.
- De Datta, S.K.; Malabuyoc, J. 1986. Improving nitrogen fertilizer efficiency in lowland rice en tropical Asia. *Fertilizer Research (EE.UU)* 9: 171-186.
- Domínguez, A. 1989. Tratados de fertilización. 2ª de Mundi Prensa 179-198.
- Feil, B. 1994. Growth and ammonium:nitrate uptake ration of spring wheat cultivars

- under a homogeneous and a spatially separated supply of ammonium and nitrate. *Journal of Plant Nutrition*, 17(5), 717-728.
- Fiez, T.E.; Pan, W.L. y Miller, B.C. 1995. Nitrogen use efficiency of winter wheat among Landscape Positions *Soil Sci. Soc. Am.* 59:1666-1671.
- Fillery, I.R.P.; Vlek, R.L.G. 1982. The significance of denitrification of applied nitrogen in follow an cropped rice soil under different flooding regimen. *Plant soil* 65:153-169.
- Flores, D.F. 1994. Evaluación de 17 genotipos criollos de trigo (*Triticum aestivum* L.) para rendimientos y sus componentes en la región de Navidad N.L. Tesis. Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista Coahuila, México.
- Foth, D.H. 1985. Fundamentos de la ciencia del suelo. Compañía editorial Continental, S.A. de C.V. México.
- Garman, H.W. 1995. Manual de fertilizantes, N.P.F.I. Editorial Limusa, S.A. de C.V. Grupo Noriega Editores México.
- Gibson, A.H. 1965. Physical environment and symbiotic nitrogen fixation of legumes.
- Gonde, H. y Jussiaux P.H. 1965. Lecciones de agricultura. Editorial Aguilar S.A. de ediciones Madrid España.
- Gregory, P.J.; D.V. Crauford y M. Mc Gowan. 1979. Nutrient relations of winter wheat. 1. Accumulation and distribution of Na, K, Ca, Mg, P,S and N. *Journal Agric. Sci. Camb.* 93, 485-449.
- Hagin, J.; Olsen, S.R. y Shaviv, A. 1990. Review of interaction of amonium-nitrate and Potassium nutrition of crops. *Journal of Plant Nutrition*, 13 (10): 1211-1226.
- Hanson, H.N.E., Bourlaug y R.G Anderson. 1982. Trigo en el tercer mundo Centro internacional de mejoramiento de maíz y trigo Publicación Westview E.U.A.
- Jacob, B.A. y Uexkull, H.B. 1966. Fertilización, nutrición y abonado de los cultivos tropicales y subtropicales Edit. Verlagsge Sellschaft Fur Ackerbau mbH, Hannover (UFA), Tercera edición Alemana; Pp 82-83 y 550.
- Ladha, J.K. 1996. Short-term effects of nitrogen fertilization on soil organic nitrogen availavility. *Soil. Sci. Soc. Am.* 60:1153-1159.

- Large, E.C. 1954. Estados de crecimiento de trigo. *Journal de Pathology* 3:128-129.
- Mahler, L.R.; Koehler, E.F. y Lutcher, L.K. 1994. Nitrogen source, timing of application and placement: Effects on winter wheat production. *Agronomy Journal*. 86:637-642.
- Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plant Academic Press Limited.
- Martínez, M.D.A. 1974. El análisis foliar de nitrógeno y fósforo en maíz de temporal como método para diagnosticar el estado nutricional del cultivo y sus correlaciones con el rendimiento. Resumen de tesis de maestría y doctorado, centro de edafología, colegio de postgraduados, Chapingo México.
- Melendez, G.R. 1983. Efecto de la fertilización con urea común, fluida y recubierta en maíz de temporal. Resumen de tesis de maestría y doctorado, centro edafología, Colegio de postgraduados, Chapingo México.
- Mikkelsen, D.S.; De Datta, S.K.; Obcemea, W.N. 1978. Amonia volatilization losses from flooded rice soil. *Soil Science Society of America Journal* 4:725-730.
- Morales, E.M. 1997. El pH y los materiales orgánicos. Monografía. licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista Coahuila, México.
- Moreno, C.C. 1997. Respuesta del trigo (*Triticum aestivum* L.) a la aplicación de diferentes fuentes nitrogenadas. Tesis. Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista Coahuila México.
- Ortiz, V.B. 1980. Edafología. 3ª edición. Chapingo, México.
- Palacios, P.A. 1982. Determinación de la dosis óptima económica de la fertilización nitrogenada y fosfatada bajo diferentes números de riegos para trigo de ciclo intermedio en la región Norte de Coahuila. Tesis. Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista Coahuila México.
- Peterson, R.F. 1965. Wheat, Botany, Cultivation and utilization. *WORLD CROPS BOOK* Great Britain.
- Pineda, M.J.R. 1980. La dinámica del nitrógeno en el suelo y el balance nitrogenado Suelo-Planta bajo cultivo de maíz. Resumen de tesis de maestría y doctorado, centro de edafología, colegio de postgraduados, Chapingo México.

- Potash and Phosphate Institute (PPI). 1988. Manual de fertilidad de suelos. Potash Phosphate Institute of Canada and Foundation for Agronomic Research Georgia USA. p. 231-235.
- Prianishnikov, N.D. 1954. El nitrógeno en la vida de las plantas. Trad. David Ibarra, Pablo Pelletier y Víctor Manuel Zapata, México VIASIF.
- Reynolds, C.M. y Wolf, D.C. 1988. Effects of field methods and soil cover on estimating ammonia loss from nitrogen-15-urea. Soil Sci. Soc. Am.J. 52:706-712.
- Richard, S.D. y L.A. Henry. 1985. Producción agrícola, Ed. Continental S.A. México.
- Rodríguez, S.F. 1992. Fertilizantes, nutrición vegetal. Editorial AGT editor, S.A.
- Robles, S.R. 1990. Producción de granos y forrajes. Ed. Limusa Wiley. 5ª edición. México.
- Russell, E.J. y Russell, G.W. 1968. Las condiciones del suelo y el crecimiento de las plantas. Edit. AGUILAR. 4ª edic. Madrid España.
- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH). 1980. Descripción de las variedades desarrolladas por el CIANO. Publicación especial. Centro de investigación Agrícola del Noroeste. Son. p-19. Trigo, triticale, cebada, maíz, soya, cártamo, ajonjolí y garbanzo.
- Secretaría de Educación Pública (SEP). 1989. Manual para la educación agropecuaria, Trigo, cebada y avena, Editorial Trillas México.
- Seniglagliesi, M.C.A. 1973. El análisis foliar como método de diagnóstico de necesidades de nitrógeno en maíz de temporal en la zona oriental del Valle de México. Resumen de tesis de maestría y doctorado, centro de edafología, colegio de postgraduados, Chapingo México.
- Simpson, R.L.; Hans Lambers, and Michael J. Dalling. 1983. Nitrogen redistribution grain growth in wheat (*Triticum aestivum* L.). Plant Physiol. 71, 7-14.
- Soldano, O.R. 1978. El trigo. Editorial Albatros. Buenos Aires, Argentina.
- Tisdale y Nelson. 1988. Fertilidad de los suelos y fertilizantes. Unión topográfica, editorial Hispano Americana S.A. de C.V.
- Vlek, L.G.; Fillery, I.R.P. 1985. Improving nitrogen efficiency in wetland rice soil. Fert. Soc. of London 230:2-35.





# APENDICE

**Cuadro A4.** Efecto de tres formas nitrogenadas en el contenido (%) de NT,  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NH}_4^+$  en el suelo después de cada cosecha de trigo Var. Pavón F-76.

Tratamiento	30 Días Amacollamiento			60 Días Espigamiento			90 Días Madurez		
	NT	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NT	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NT	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
Testigo	0.128	0.00905	0.00369	0.118	0.00202	0.00092	0.102	0.00095	0.00046
Urea	0.137	0.01400	0.00277	0.121	0.00480	0.00092	0.098	0.00000	0.00092
Nitrato	0.124	0.01590	0.00184	0.119	0.00355	0.00092	0.095	0.00000	0.00046
Amonio	0.126	0.00820	0.00462	0.125	0.00070	0.00046	0.101	0.00180	0.00046

**Cuadro 5.** Efecto de tres formas nitrogenadas sobre la brotación de macollos en cada una de las etapas fenológicas en el cultivo de trigo Var. Pavón F-76.

Tratamiento	30 Días Amacollamiento	60 Días Espigamiento	90 Días Madurez
	Número de macollos	Número de macollos	Número de macollos
Testigo	4.67* ab**	14.00 a	14.33 a
Urea	3.67 b	11.00 a	12.00 a
Nitrato	4.00 ab	14.00 a	18.67 a
Amonio	5.67 a	10.00 a	13.00 a

\* Valores promedio de tres repeticiones.

\*\* Los valores con la misma letra son estadísticamente iguales, DMS ( $p < .05$ )

**Cuadro 6.** Efecto de tres formas nitrogenadas sobre la producción de espigas en cada una de las etapas fenológicas en el cultivo de trigo Var. Pavón F-76.

Tratamiento	60 Días Espigamiento	90 Días Madurez
	Número de espigas	Número de espigas
Testigo	3.00* a**	11.00 a
Urea	3.00 a	10.00 a
Nitrato	3.33 a	11.33 a
Amonio	2.67 a	9.67 a

\* Valores promedio de tres repeticiones.

\*\* Los valores con la misma letra son estadísticamente iguales, DMS ( $p < .05$ )

**Cuadro 7.** Efecto de tres formas nitrogenadas sobre la altura de trigo Var. Pavón F-76 a los 90 días después de la siembra.

Tratamiento	90 Días Madurez
	Altura final (cm)
Testigo	59.8 * a**
Urea	61.10 a
Nitrato	59.30 a
Amonio	57.10 a

\* Valores promedio de tres repeticiones.

\*\* Los valores con la misma letra son estadísticamente iguales, DMS ( $p < .05$ )

**Cuadro 8.** Efecto de tres formas nitrogenadas sobre la producción de materia seca y nitrógeno total en raíz de trigo Var. Pavón F-76 en diferentes etapas fenológicas.

Tratamiento	30 Días Amacollamiento	60 Días Espigamiento	90 Días Madurez
-------------	---------------------------	-------------------------	--------------------

	Peso (g)	% N	Peso (g)	% N	Peso (g)	% N
<b>Testigo</b>	<b>0.43* a**</b>	<b>1.55 a</b>	<b>1.84 a</b>	<b>1.40 a</b>	<b>1.70 a</b>	<b>0.83 a</b>
<b>Urea</b>	<b>0.47 a</b>	<b>1.29 b</b>	<b>1.78 a</b>	<b>1.64 a</b>	<b>1.70 a</b>	<b>1.24 a</b>
<b>Nitrato</b>	<b>0.51 a</b>	<b>1.23 b</b>	<b>1.58 a</b>	<b>1.60 a</b>	<b>1.85 a</b>	<b>1.24 a</b>
<b>Amonio</b>	<b>0.53 a</b>	<b>1.49 a</b>	<b>1.44 a</b>	<b>1.33 a</b>	<b>1.31 a</b>	<b>1.26 a</b>

\* Valores promedio de tres repeticiones.

\*\* Los valores con la misma letra son estadísticamente iguales, DMS ( $p < .05$ )

**Cuadro 9.** Efecto de tres formas nitrogenadas sobre la producción de materia seca y nitrógeno total en tallo de trigo Var. Pavón F-76 en diferentes etapas fenológicas.

Tratamiento	60 Días Espigamiento		90 Días Madurez	
	Peso (g)	% N	Peso (g)	% N
<b>Testigo</b>	<b>1.53* a**</b>	<b>1.42 a</b>	<b>4.63 a</b>	<b>0.92 b</b>
<b>Urea</b>	<b>1.46 a</b>	<b>1.90 a</b>	<b>3.72 a</b>	<b>1.04 a</b>
<b>Nitrato</b>	<b>1.52 a</b>	<b>1.83 a</b>	<b>3.82 a</b>	<b>1.04 a</b>
<b>Amonio</b>	<b>1.12 a</b>	<b>1.56 b</b>	<b>3.85 a</b>	<b>1.00 b</b>

\* Valores promedio de tres repeticiones.

\*\* Los valores con la misma letra son estadísticamente iguales, DMS ( $p < .05$ )

**Cuadro 10.** Efecto de tres formas nitrogenadas sobre la producción de materia seca y nitrógeno total en hoja de trigo Var. Pavón F-76 en diferentes etapas fenológicas.

Tratamiento	30 Días Amacollamiento	60 Días Espigamiento	90 Días Madurez
-------------	---------------------------	-------------------------	--------------------

	Peso (g)	% N	Peso (g)	% N	Peso (g)	% N
<b>Testigo</b>	<b>0.85** a*</b>	<b>4.30 a</b>	<b>5.15 a</b>	<b>3.05 a</b>	<b>5.47 a</b>	<b>1.58 ab</b>
<b>Urea</b>	<b>0.66 a</b>	<b>4.35 a</b>	<b>4.48 ab</b>	<b>3.00 a</b>	<b>5.64 a</b>	<b>1.90 a</b>
<b>Nitrato</b>	<b>0.95 a</b>	<b>3.92 a</b>	<b>4.96 ab</b>	<b>2.98 a</b>	<b>5.38 a</b>	<b>1.56 b</b>
<b>Amonio</b>	<b>0.96 a</b>	<b>4.29 a</b>	<b>3.39 b</b>	<b>2.76 a</b>	<b>4.70 a</b>	<b>1.63 ab</b>

\* Valores promedio de tres repeticiones.

\*\* Los valores con la misma letra son estadísticamente iguales, DMS ( $p < .05$ )

**Cuadro 11.** Efecto de tres formas nitrogenadas sobre la producción de materia seca y nitrógeno total en la espiga de trigo Var. Pavón F-76 en diferentes etapas fenológicas.

Tratamiento	60 Días Espigamiento		90 Días Madurez	
	Peso (g)	% N	Peso (g)	% N
<b>Testigo</b>	<b>1.30* a**</b>	<b>2.22 a</b>	<b>11.52 a</b>	<b>2.07 a</b>
<b>Urea</b>	<b>1.21 a</b>	<b>2.19 a</b>	<b>9.97 a</b>	<b>1.95 a</b>
<b>Nitrato</b>	<b>1.39 a</b>	<b>2.29 a</b>	<b>9.91 a</b>	<b>2.00 a</b>
<b>Amonio</b>	<b>1.12 a</b>	<b>2.14 a</b>	<b>10.92 a</b>	<b>2.02 a</b>

\* Valores promedio de tres repeticiones.

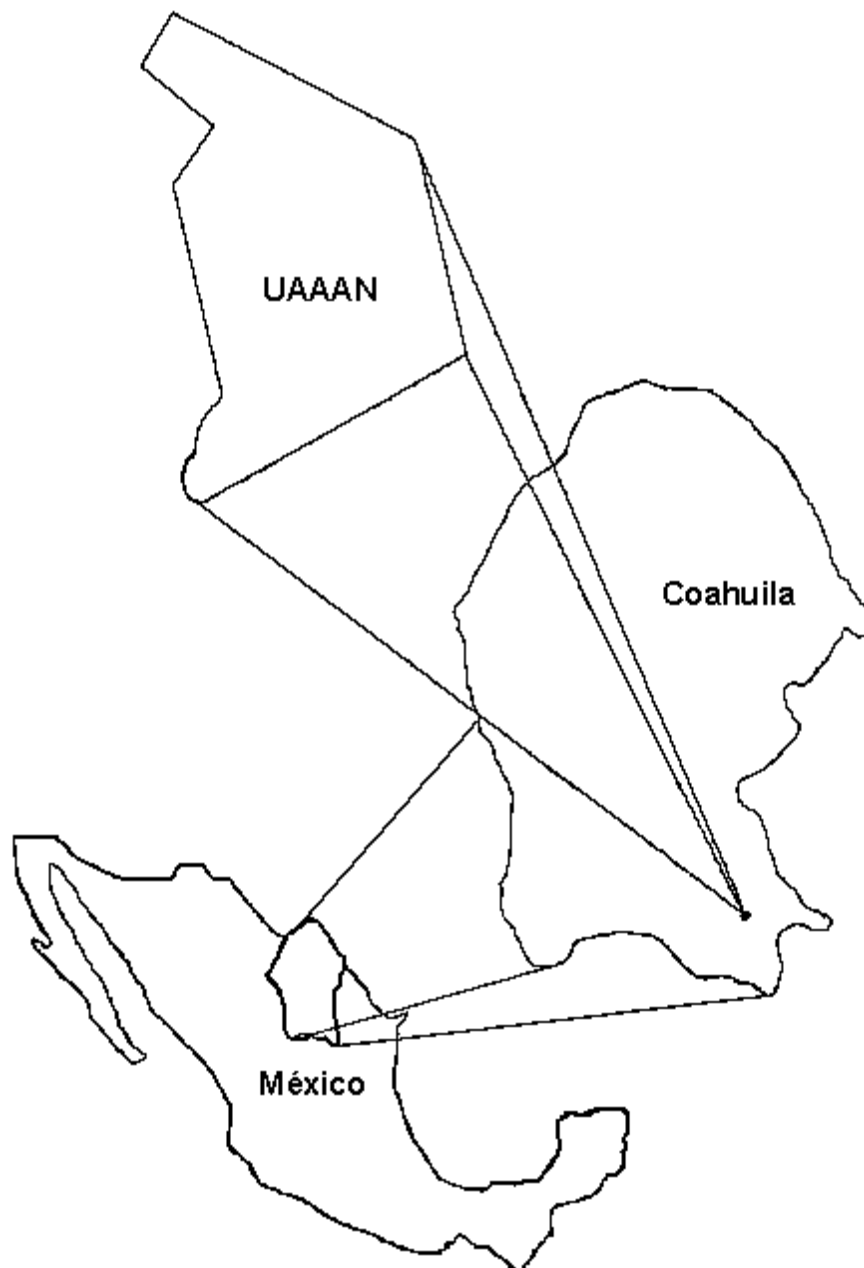
\*\* Los valores con la misma letra son estadísticamente iguales, DMS ( $p < .05$ )

**Cuadro 12.** Efecto de tres formas nitrogenadas sobre la producción de materia seca y nitrógeno total en la planta completa de trigo Var. Pavón F-76 en diferentes etapas fenológicas.

Tratamiento	30 Días Amacollamiento		60 Días Espigamiento		90 Días Madurez	
	Peso (g)	% N	Peso (g)	% N	Peso (g)	% N
Testigo	1.28* a**	2.93 a	9.82 a	2.12 ab	23.31 a	1.35 a
Urea	1.13 a	2.82 ab	8.93 a	2.18 a	21.03 a	1.53 a
Nitrato	1.47 a	2.58 b	9.45 a	2.18 a	20.96 a	1.46 a
Amonio	1.49 a	2.89 ab	7.06 a	1.95 b	20.78 a	1.48 a

\* Valores promedio de tres repeticiones.

\*\* Los valores con la misma letra son estadísticamente iguales, DMS ( $p < .05$ )



**Figura 3. Localización del sitio experimental. UAAAN. Buenavista Saltillo Coahuila.**

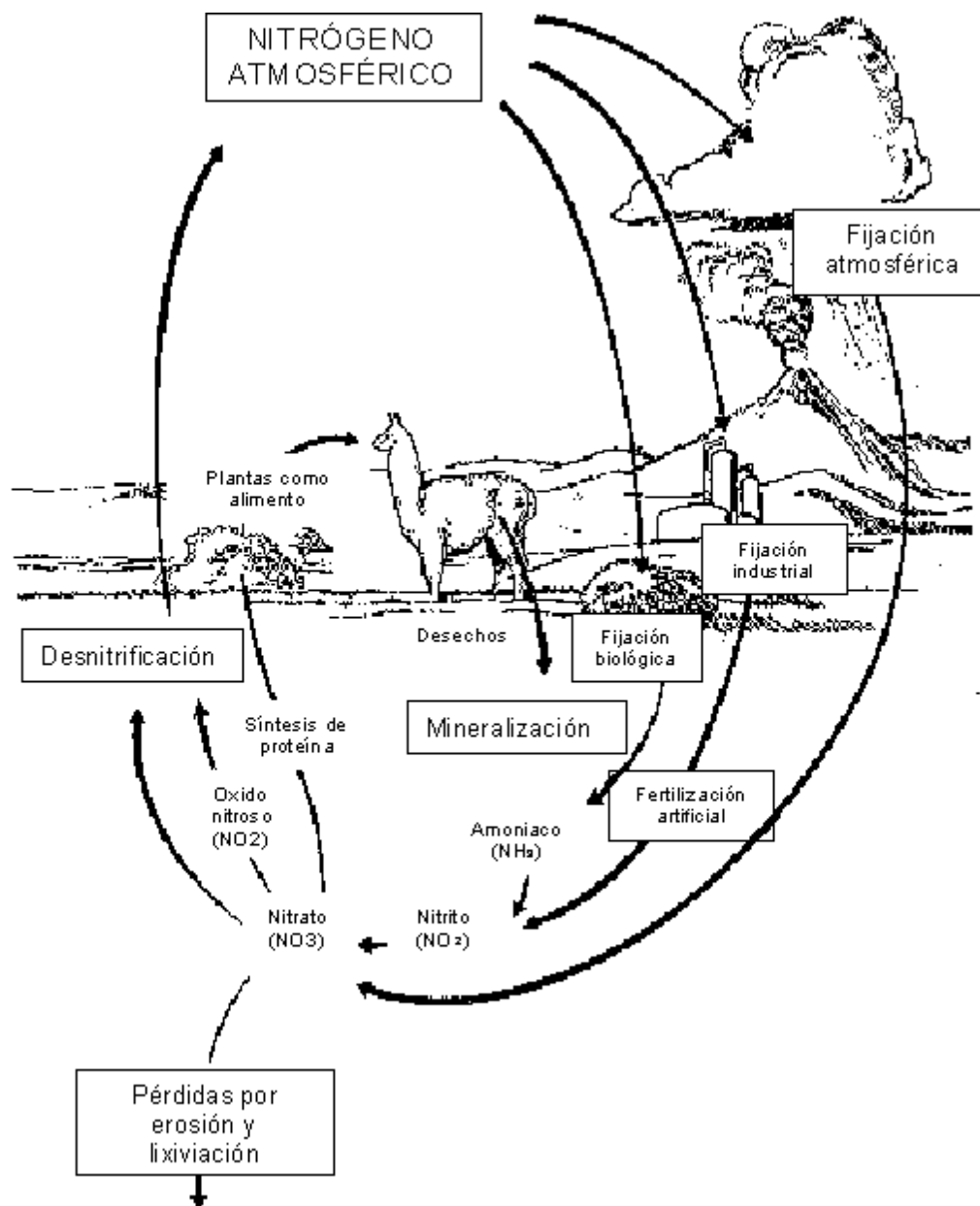


Figura 2. Ciclo del nitrógeno.



EN CASO DE NO ENCONTRAR LAS FIGURAS INSERTADAS EN EL TEXTO EN LAS PÁGINAS 14 Y 33, ÉSTAS SE ENCUENTRAN EN LOS SIGUIENTES ARCHIVOS:

ARCHIVO

(CICLO) .

LA FIGURA 2. CICLO DEL NITRÓGENO .

(UAAAN)

LA FIGURA 3. LOCALIZACIÓN DEL SITIO EXPERIMENTAL.