



21  
2 eg.

# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Facultad de Estudios Superiores  
"CUAUTITLAN"

DOSIS OPTIMA Y EFICIENCIA DE LA FERTILIZACION NITROGENADA EN AVENA (Avena sativa L.) c.v. CHIHUAHUA EN LA F.E.S.-C.

T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO AGRICOLA  
P R E S E N T A :  
SAUL LEONEL MEDINA MENDEZ

Director de Tesis: M.C. Luis Ricardo Cázarez García

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Guautitlán Izcalli, Edo. de Méx.

1989



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## CONTENIDO

	Página
INDICE DE CUADROS . . . . .	V
INDICE DE FIGURAS . . . . .	IX
INDICE DE CUADROS DEL APENDICE . . . . .	X
RESUMEN . . . . .	XIII
I. INTRODUCCION . . . . .	1
II. REVISION DE LITERATURA . . . . .	3
2.1. Antecedentes históricos de la avena . . . . .	3
2.1.1. Origen geográfico . . . . .	3
2.1.1. Origen citogenético . . . . .	4
2.2. Clasificación taxonómica . . . . .	7
2.3. Crecimiento y desarrollo de la avena . . . . .	8
2.3.1. Germinación . . . . .	9
2.3.2. Emergencia de la plántula . . . . .	9
2.3.3. Crecimiento de raíces . . . . .	10
2.3.4. Amacollamiento . . . . .	11
2.3.5. Crecimiento de las hojas . . . . .	12
2.3.6. Aparición de la panícula . . . . .	13
2.3.7. Alargamiento del tallo . . . . .	14
2.3.8. Floración . . . . .	15
2.3.9. Madurez del grano . . . . .	16
2.4. Condiciones ecológicas . . . . .	17
2.4.1. Latitud . . . . .	17
2.4.2. Altitud . . . . .	17

	Página.
2.4.3. Clima . . . . .	17
2.4.4. Temperatura . . . . .	18
2.4.5. Humedad . . . . .	19
2.4.6. Suelos . . . . .	20
2.5. Prácticas de cultivo . . . . .	21
2.5.1. Preparación del terreno . . . . .	21
2.5.2. Siembra . . . . .	21
2.5.3. Trazo de bordos y canales . . . . .	22
2.5.4. Epoca de cosecha . . . . .	22
2.5.5. Fertilización . . . . .	23
2.6. Importancia de la fertilización <u>nitroge</u> nada . . . . .	23
2.6.1. El nitrógeno en la naturaleza . . . . .	25
2.6.1.1. Formas del nitrógeno en- el suelo . . . . .	25
2.6.1.2. El nitrógeno en las <u>plan</u> tas. . . . .	27
2.6.2. Funciones del nitrógeno en las -- plantas . . . . .	28
2.6.2.1. Deficiencia de nitrógeno en las plantas . . . . .	29
2.6.2.2. Exceso de nitrógeno en - las plantas . . . . .	30
2.6.3. Eficiencia de la fertilización <u>ni</u> trogenada . . . . .	31
III. OBJETIVOS E HIPOTESIS . . . . .	35

	Página.
IV. MATERIALES Y METODOS . . . . .	36
4.1. Antecedentes del sitio del experimento	36
4.1.1. Localización . . . . .	36
4.1.2. Condiciones climáticas . . . . .	36
4.1.3. Condiciones edafológicas . . . . .	37
4.2. Secuencia metodológica del experimento	39
4.2.1. Muestreo de suelos . . . . .	39
4.2.2. Preparación del terreno . . . . .	39
4.2.3. Delimitación de superficie ex- perimental . . . . .	39
4.2.4. Diseño experimental . . . . .	39
4.2.5. Fuentes de fertilizantes . . . . .	40
4.2.6. Establecimiento del experimento	40
4.2.7. Labores culturales . . . . .	42
4.2.8. Control de malezas . . . . .	42
4.2.9. Control de plagas y enfermeda- des . . . . .	43
4.2.10. Cosecha . . . . .	43
4.2.11. Observaciones de campo y regis- tro de datos. . . . .	43
4.2.12. Análisis estadístico . . . . .	45
4.2.13. Análisis económico . . . . .	46
V. RESULTADOS Y DISCUSION . . . . .	48
5.1. Condiciones climáticas . . . . .	48
5.2. Análisis de suelo . . . . .	49
5.3. Altura de planta . . . . .	52
5.4. Anchura de hoja . . . . .	57

	Página.
5.5. Longitud de hoja . . . . .	59
5.6. Rendimiento de materia verde . . . . .	61
5.7. Rendimiento de materia seca . . . . .	65
5.8. Porcentaje de nitrógeno en la planta . .	69
5.9. Eficiencia de la fertilización nitrogena da . . . . .	75
5.10. Análisis económico. . . . .	79
VI. CONCLUSIONES . . . . .	82
BIBLIOGRAFIA . . . . .	84
APENDICE . . . . .	90

INDICE DE CUADROS

CUADRO		Página
1	Clasificación taxonómica de la avena . . . .	7
2	Días requeridos para la germinación de semillas de avena a las temperaturas indicadas .	9
3	Transpiración de algunas gramíneas, determinada en Akron, Colorado (Transpiración en litros por kg de materia seca producida . . . .	19
4	Promedio de temperaturas y número de días con heladas para el municipio de Cuautitlán Izcalli, Méx. (1929-1974) . . . . .	37
5	Características fisico-químicas del área agrícola de la F.E.S.-C . . . . .	38
6	Tratamientos del diseño experimental para el estudio de la dosis óptima y eficiencia de la fertilización nitrogenada en avena, Cuautitlán-Izcalli, Méx. 1985-1986 . . . . .	40
7	Fracciones para aplicación de fertilizantes en el estudio de la dosis óptima y eficiencia de la fertilización nitrogenada en avena, -- Cuautitlán Izcalli, Méx. 1985-1986 . . . . .	41
8	Calendario de riegos en el estudio de la dosis óptima y eficiencia de la fertilización nitrogenada en avena, Cuautitlán Izcalli, Méx. 1985-1986 . . . . .	42

Cuadro	Página	
9	Temperaturas y número de días con heladas durante el ciclo de cultivo del estudio de la dosis óptima y eficiencia de la fertilización nitrogenada en avena, Cuautitlán -Izcalli Méx. 1985-1986 . . . . .	48
10	Resultados del análisis físico-químico del suelo del sitio experimental . . . . .	50
11	Análisis de varianza para la variable altura de planta en el estudio de la dosis óptima y eficiencia de la fertilización nitrogenada en avena forrajera en el Ciclo O-I(1985-1986) en la F.E.S.-C. . . . .	54
12	Comparación de medias para la variable altura de planta (Tukey, 5%) en el estudio de la dosis óptima y eficiencia de la fertilización nitrogenada en avena forrajera en el Ciclo O-I(1985-1986) en la F.E.S.-C . . . . .	54
13	Análisis de varianza para la variable anchura de hoja en el estudio de la dosis óptima y eficiencia de la fertilización nitrogenada en avena forrajera en el Ciclo O-I (1985-1986) en la F.E.S.-C.	58
14	Comparación de medias para la variable anchura de hoja (Tukey, 5%) en el estudio de la dosis óptima y eficiencia de la fertilización nitrogenada en avena forrajera en el Ciclo -	



	O-I (1985-1986) en la F.E.S.-C . . . . .	58
15	Análisis de varianza para la variable longitud de hoja en el estudio de la dosis óptima y eficiencia de la fertilización nitrogenada en avena forrajera en el Ciclo O-I(1985-1986) en la F.E.S.-C . . . . .	60
16	Comparación de medias para la variable longitud de hoja (Tukey, 5%) en el estudio de la dosis óptima y eficiencia de la fertilización nitrogenada en avena forrajera en el Ciclo O-I(1985-1986) en la F.E.S.-C. . . . .	60
17	Análisis de varianza para la variable rendimiento en materia verde en el estudio de la dosis óptima y eficiencia de la fertilización nitrogenada en avena forrajera en el Ciclo O-I(1985-1986) en la F.E.S.-C . . . . .	62
18	Comparación de medias para la variable rendimiento en materia verde (Tukey, 5%) en el estudio de la dosis óptima y eficiencia de la fertilización nitrogenada en avena forrajera en el Ciclo O-I(1985-1986) en la F.E.S.-C. . . . .	62
19	Análisis de varianza para la variable rendimiento en materia seca en el estudio de la dosis óptima y eficiencia de la fertilización nitrogenada en avena forrajera en el Ciclo O-I(1985-1986) en la F.E.S.-C. . . . .	66

20	Comparación de medias para la variable rendimiento en materia seca (Tukey, 5%) en el estudio de la dosis óptima y eficiencia de la fertilización nitrogenada en avena forrajera en el Ciclo O-I(1985-1986) en la F.E.S.-C...	66
21	Análisis de varianza para la variable porcentaje de nitrógeno total en el estudio de la dosis óptima y eficiencia de la fertilización nitrogenada en avena forrajera en el Ciclo O-I(1985-1986) en la F.E.S.-C. . . . .	70
22	Comparación de medias para la variable porcentaje de nitrógeno total (Tukey, 5%) en el estudio de la dosis óptima y eficiencia de la fertilización nitrogenada en avena forrajera en el Ciclo O-I(1985-1986) en la F.E.S.-C. . . . .	70
23	Coeficientes de correlación para las variables estudiadas . . . . .	74
24	Eficiencia de la fertilización nitrogenada en avena forrajera en el Ciclo O-I(1985-1986) en la F.E.S.-C . . . . .	76
25	Ingresos netos por tratamiento de fertilización nitrogenada en avena forrajera . . . . .	81

INDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1	56
<p>Altura de planta de avena forrajera c.v. Chihuahua bajo diferentes niveles de fertilización nitrogenada y condiciones de riego en el ciclo O-I 1985-1986 en la F.E.S.-C. . . . .</p>	
2	64
<p>Rendimiento de materia verde de avena forrajera c.v. Chihuahua bajo diferentes niveles de fertilización nitrogenada y condiciones de riego en el ciclo O-I 1985-1986 en la F.E.S.-C. . . . .</p>	
3	67
<p>Rendimiento de materia seca de avena forrajera c.v. Chihuahua bajo diferentes niveles de fertilización nitrogenada y condiciones de riego en el ciclo O-I en la F.E.S.-C. . . . .</p>	
4	73
<p>Porcentaje de nitrógeno en la planta de avena forrajera c.v. Chihuahua bajo diferentes niveles de fertilización nitrogenada y condiciones de riego en el ciclo O-I 1985-1986 en la F.E.S.-C. . . . .</p>	
5	77
<p>Eficiencia de la fertilización nitrogenada en avena forrajera c.v. Chihuahua bajo diferentes niveles de aplicación y condiciones de riego en el ciclo O-I 1985-1986 en la F.E.S.-C. . . . .</p>	

INDICE DE CUADROS DEL APENDICE

Cuadro	Página
1A Altura de planta de avena forrajera c.v. Chihuahua bajo diferentes niveles de fertilización nitrogenada y condiciones de riego en el ciclo O-I 1985-1986 en la F.E.S.-C . . . . .	91
2A Anchura de hoja de avena forrajera c.v. Chihuahua bajo diferentes niveles de fertilización nitrogenada y condiciones de riego en el ciclo O-I 1985-1986 en la F.E.S.-C . . . . .	91
3A Longitud de hoja de avena forrajera c.v. Chihuahua bajo diferentes niveles de fertilización nitrogenada y condiciones de riego en el ciclo O-I 1985-1986 en la F.E.S.-C . . . . .	92
4A Rendimiento de materia verde de avena forrajera c.v. Chihuahua bajo diferentes niveles de fertilización nitrogenada y condiciones de riego en el ciclo O-I 1985-1986 en la F.E.S.-C . . . . .	92
5A Porcentaje de materia seca en la planta de avena c.v. Chihuahua bajo diferentes niveles de fertilización nitrogenada y condiciones de riego en el ciclo O-I 1985-1986 en la F.E.S.-C . . . . .	93

Cuadro	Página
6A Rendimiento en materia seca de avena c.v. Chihuahua bajo diferentes niveles de fertilización nitrogenada y condiciones de riego en el ciclo O-I 1985-1986 en la F.E.S.-C . . . . .	93
7A Porcentaje de nitrógeno en la planta de avena c.v. Chihuahua bajo diferentes niveles de fertilización nitrogenada y condiciones de riego en el ciclo O-I 1985-1986 en la F.E.S.-C . . . . .	94
8A Porcentaje de proteína cruda en la planta de avena c.v. Chihuahua bajo diferentes niveles de fertilización nitrogenada y condiciones de riego en el ciclo O-I 1985-1986 en la F.E.S.-C . . . . .	94
9A Kilogramos de nitrógeno extraído del suelo -- por la planta de avena c.v. Chihuahua bajo diferentes niveles de fertilización nitrogenada y condiciones de riego en el ciclo O-I 1985 - 1986 en la F.E.S.-C . . . . .	95
10A Eficiencia de la fertilización nitrogenada en avena c.v. Chihuahua bajo diferentes niveles y condiciones de riego en el ciclo O-I 1985 - 1986 en la F.E.S.-C . . . . .	95

## Cuadro

Página

11A	Costos fijos de producción para el cultivo de avena forrajera c.v. Chihuahua para el ciclo O-I 1985-1986 bajo condiciones de riego en la F.E.S.-C . . . . .	96
12A	Costos por unidad de fertilizante nitrogenado utilizado en el cultivo de avena forrajera -- c.v. Chihuahua para el ciclo O-I 1985-1986 en la F.E.S.-C . . . . .	96
13A	Costos variables por tratamiento de fertilización nitrogenada de la avena forrajera c.v. -- Chihuahua para el ciclo O-I 1985-1986 en la -- F.E.S.-C . . . . .	97
14A	Número de pacas de avena forrajera c.v. Chihuahua obtenidas bajo diferentes niveles de -- fertilización nitrogenada y condiciones de -- riego en el ciclo O-I 1985-1986 en la F.E.S.-C . . . . .	97
15A	Clases y límites de los parámetros edáficos-- analizados, de acuerdo a la metodología empleada en el laboratorio de Edafología de FERTIMEX S.A. . . . .	98
16A	Cronograma de actividades realizadas en el estudio de la dosis óptima y eficiencia de la -- fertilización nitrogenada en avena forrajera-- en el ciclo O-I (1985-1986) en la F.E.S.-C --	99

## RESUMEN

La avena es considerada como uno de los forrajes más importantes en el área de influencia de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, debido a factores tales como la época de su establecimiento y cosecha, con su consiguiente resistencia al frío, rendimiento de materia seca y calidad bromatológica entre otros.

Se estima que uno de los renglones que mayormente influyen en su costo de producción es la fertilización nitrogenada, propiciado esto por los elevados costos de dichos productos, a la dinámica que presenta este nutrimento en el sistema agua-suelo-planta y a los altos requerimientos del mismo por parte de ésta gramínea.

En esta investigación se consideró como objetivo determinar la dosis óptima y la eficiencia de la fertilización nitrogenada, para lo cual se emplearon seis tratamientos en un arreglo estadístico de bloques al azar y cuatro repeticiones. Se evaluó el rendimiento de materia verde y seca, el contenido de nitrógeno en la planta y la eficiencia de la fertilización aplicada.

Dicho fertilizante produjo un incremento significativo en el rendimiento, en el contenido de nitrógeno y en la eficiencia de la recuperación del mismo hasta el nivel de

100 kg de nitrógeno/ha, a partir del cual se presentó una marcada disminución en los valores de los parámetros señalados, debido a que el exceso de nitrógeno provocó el acame de plantas y probables desbalances nutrimentales.

Los resultados indican que para las condiciones del ciclo en el cual se desarrolló el experimento, el nivel óptimo de fertilización nitrogenada se ubica en 100 kg / ha, ya que además de producir los mejores rendimientos de forraje, se clasificó como el tratamiento con mejor índice de eficiencia en la recuperación del producto fertilizante aplicado.



## I N T R O D U C C I O N

El cultivo de la avena forrajera es importante, ya que durante la temporada de invierno ayuda a satisfacer la deficiencia provocada porque disminuye considerablemente la producción de alfalfa y de otro tipo de forrajes, debido a los daños que provocan en éstos las heladas; la avena es una planta tolerante a ellas, por lo que, se cultiva en invierno como forraje sustituto, para satisfacer las necesidades alimenticias del ganado.

En nuestro país la avena se cultiva principalmente en regiones de clima templado y frío, para 1981 ocupó el segundo lugar en producción de forraje, cultivándose en más de 200,000 hectáreas.

La alta tasa de crecimiento de la población ha provocado graves problemas de alimentación en el mundo, lo cual, es motivo de preocupación por parte de numerosos investigadores, que, tratan de resolverlo aumentando la eficiencia de los cultivos, en lo que se refiere a su capacidad para aprovechar los factores que influyen en su crecimiento. También se hacen múltiples esfuerzos para aumentar la eficiencia de las prácticas de fertilización, mejorando el conocimiento que se tiene sobre el tipo de fertilizantes que debe usarse, forma y época de aplicación, dosis, etc. Esta iniciativa ha sido principalmente en respuesta a la escasez de fertilizantes y a los altos costos que éstos presentan en la actualidad.

Se estima que uno de los renglones que más influyen en-

el costo de producción de la avena forrajera es la fertilización nitrogenada, debido a los altos costos de este producto, a la dinámica que presenta este nutrimento en el sistema -- agua-suelo-planta y a los elevados requerimientos del mismo -- por parte de esta gramínea.

Si a lo anterior unimos las prácticas empíricas que en su aplicación siguen la mayoría de los agricultores, todavía resulta más incierta dicha producción. En la zona agrícola de Cuautitlán, la mayoría de los agricultores efectúan la -- fertilización inorgánica, por lo que se deduce que son grandes los volúmenes de fertilizantes inorgánicos utilizados -- por este cultivo.

## II.- REVISION DE LITERATURA

### 2.1. Antecedentes históricos de la avena.

#### 2.1.1. Origen geográfico.

No se conoce con certeza el área exacta donde se originó la avena cultivada, pero parece que fué en la región del Asia Menor. Desde esta región, la avena se extendió hacia el Norte y hacia el Oeste hasta Europa y a otras regiones favorables para su cultivo (44).

Según Hill (22), la avena (Avena sativa) no se ha encontrado en estado espontáneo, si bien fácilmente escapa de cultivo y puede parecer silvestre. Resulta complicado determinar su lugar de origen y la especie de que procede. Probablemente tuvo un origen múltiple; algunos tipos serían indígenas de Abisinia, de la región mediterránea y otros de China.

La avena puede contarse entre los cereales más ampliamente cultivados en América y Europa, y se adapta más fácilmente a diferentes tipos de suelo, técnicas de cultivo y rigores de clima que la mayoría de los cereales. Probablemente es de origen polifilético y se considera que se cultivó por primera vez en el Norte de Africa, próximo Oriente y la Rusia templada, hacia el año 2500 a.c. La especie cultivada comunmente, A. sativa, no se conoce silvestre, aún cuando se le encuentra con frecuencia en esta condición (52).

Actualmente se cultivan dos especies de avenas, estrechamente relacionadas: Avena sativa (avena común) y Avena byzantina (avena mediterránea). Antiguamente se pensó que -

esas dos especies se habían desarrollado en Europa, pero Vavilov estableció que evolucionaron a partir de varias especies silvestres, hace alrededor de 5000 años, en el Asia Central (Noroeste de la India y Afganistan) (11).

Comparada con el trigo, la avena es un cultivo reciente. En Europa, los hallazgos arqueológicos indican que la avena surgió como planta cultivada, al mismo tiempo que la cebada, hace cerca de 4000 años. La evidencia demuestra también que los moradores de las cavernas, en lo que es ahora Suiza, cultivaron la avena salvaje antes del año 1000 a.c., sin embargo, se tienen pocos datos sobre las avenas domesticadas antes de la Era Cristiana, ya que los escritos de los antiguos egipcios, hebreos, etc., no hacen mención alguna sobre el cultivo de la avena. Algunos historiadores agrícolas sostienen que la primera cita de la avena se encuentra en los trabajos de los filósofos y naturalistas griegos, entre los años 400-250 a.c. Datos fehacientes, indican que algunos tipos de avenas constituían plagas de malas hierbas en los campos de cebada y trigo al comienzo de la Era Cristiana; los escritores antiguos incluso llegaron a plantear la hipótesis de que tanto el trigo como la cebada, de alguna forma, degeneraban en avena (11).

#### 2.1.2. Origen Citogenético.

Existe en el género avena una serie poliploide; el número básico cromosómico es el de 7, presentándose formas diploides con 14 cromosomas; tetraploides con 28 y especies hexaploides con 42. El tamaño de la espiguilla se incrementa --

con el aumento en el número de cromosomas, encontrándose en cada grupo formas silvestres y cultivadas (20).

Como ocurre con el trigo, la clasificación botánica de las especies de avena es confusa. La avena común cultivada, A. sativa, proviene, según creen algunos, de A. fatua (la avena silvestre común); otras variedades comerciales provienen probablemente de A. sterilis (la avena roja silvestre). Estas tres especies son hexaploides ( $6n=42$ ), como lo son también A. byzantina (a veces considerada subespecie de A. sterilis) y A. nuda (la avena desnuda). Las avenas tetraploides ( $4n=28$ ) incluyen A. barbata (la avena fina) y A. abyssinica. Las avenas diploides ( $2n=14$ ) incluyen A. brevis (la avena corta); A. strigosa (la avena de arena); A. wiestii (la avena del desierto) y A. nudibrevis (52).

Las avenas diploides tienen poca importancia comercial, aunque se cultivan en extensión limitada en ciertas partes de Europa. De las especies tetraploides, la A. barbata es una hierba alta y débil del Oeste de los Estados Unidos; A. abyssinica se cultiva para forraje en extensión limitada en las zonas desérticas del Norte de Africa. La A. fatua es una mala hierba engorrosa en los campos de avena. La A. sterilis es similar a la A. fatua, pero con espiguillas mayores. Se considera que la A. byzantina desciende de la A. sterilis y se cultiva en zonas más cálidas que las otras avenas. La A. nuda tiene la lemma y la palea adheridas al grano de manera incompleta, y produce fácilmente una semilla desnuda al trillarse; sin embargo, esta especie no se cultiva mucho, fundamentalmente a causa de producción inferior.

La A. sativa (sus variedades) es la especie de avena más importante, a ella pertenecen la mayoría de las clases cultivadas actualmente (52).

Por otra parte, existe otra teoría defendida por Coffman (10), según la cual, A. sterilis es el progenitor de todas las avenas y que la A. sativa y la A. fatua, se originaron como formas aberrantes de A. byzantina.

Esta creencia se basa en el hecho de que frecuentemente y al parecer por mutación, se encuentran granos que se parecen a los de A. sativa, o fatuoides en variedades de A. byzantina. Los fatuoides son tipos aberrantes que se pueden reconocer por la presencia de largos filamentos en la base de la lemma y del raquis, así como una cavidad basal prominente en el grano y una barba larga retorcida o curvada. Estos tipos se desgranar fácilmente al madurar. La presencia de fatuoides se debe a irregularidades cromosómicas en la planta de avena (40).

## 2.2. Clasificación taxonómica.

La clasificación taxonómica de la avena es confusa, ---  
siendo la más aceptada la que se presenta en el siguiente --  
- Cuadro.

CATEGORIA	CLASIFICACION	CARACTER DISTINTIVO
Reino	Vegetal	Planta.
Subreino	Embryophyta	Forma embriones.
División	Tracheophyta	Sistema vascular.
Subdivisión	pteropsida	Hojas grandes y desarro- lladas, plantas con semi- lla.
Clase	Angiosperma	Semilla cubierta.
Subclase	Monocotiledonea	Embrión con un cotiledón.
Orden	Glumifloreae	Flores investidas de glu- mas.
Familia	Gramineae	Zacates, granos.
Subfamilia	Festucoideae	Espiguillas articuladas por encima de las glumas.
Tribu	Aveneae	Glumilla inferior más -- corta que las glumas de- la esguilla, con una aris- ta retorcida.
Género	<u>Avena</u>	Granos adheridos a las - glumas, espiguillas de - más de 1 cm de largo.
Especie	<u>sativa</u>	Blanca común.

(19, 27, 47).

### 2.3. Crecimiento y desarrollo de la avena.

El ciclo de vida de la planta de avena, desde la germinación hasta la madurez de grano, puede dividirse en cuatro etapas, que son: la vegetativa, la de transición, la reproductiva y la madurez de grano. Cada una de estas etapas puede distinguirse de las otras por sus características morfológicas y por los eventos del desarrollo que ocurren en ellas. En la etapa vegetativa se producen hojas, brotan retoños axialmente y el sistema permanente de raíces (raíces adventicias) inicia su desarrollo; el ápice del tallo principal brota primero y los demás tallos cortos alrededor de la punta; el sistema de entrenudos es usualmente muy corto. La etapa de transición es de corta duración y dificulta la identificación en avena, puesto que ésta consiste solamente de una ligera elongación del ápice del tallo que precede a la formación de la panícula. Durante la etapa reproductiva la panícula y sus partes se diferencian y desarrollan, y los entrenudos del tallo se alargan. La etapa de madurez del grano se inicia con la fecundación y termina con la maduración del mismo. Cada etapa termina parcialmente una vez que inició la otra etapa. Por ejemplo, la brotación de hojas, nudos y tallos termina con la etapa de transición, la cual, en su turno, es concluida por la iniciación de la panícula de la etapa reproductiva (10).

Una descripción detallada sobre algunos aspectos del crecimiento y desarrollo de la planta de avena se presenta a continuación:



### 2.3.1. Germinación.

La germinación es fundamentalmente el desarrollo de la raíz y de las regiones correspondientes a los brotes del embrión a expensas de las reservas alimenticias contenidas en el endospermo (20).

Conforme el agua penetra en la semilla, ésta se expande e incrementa su peso en alrededor de un 60%. La temperatura óptima para la germinación es de 25°C. aproximadamente; la mínima es de los 3.9 a los 5°C. Si la temperatura asciende considerablemente sobre el óptimo, se produce una germinación irregular. En el suelo, bajo condiciones favorables, la germinación se inicia en cuatro ó cinco días, pudiendo haber diferencias en la velocidad de germinación (41,60). Lo anterior puede observarse en el Cuadro 2.

Cuadro 2.- Días requeridos para la germinación de semillas de avena a las temperaturas indicadas.

	Temperatura (°C)			
	4.4	12.2	15.5	18.9
Días para germinar	7.0	3.75	2.75	2.0

Fuente: Wilsie (1966).

### 2.3.2. Emergencia de la plántula.

Cuando la plántula alcanza la superficie del suelo, la semilla se convierte rápidamente en una mera cápsula, conteniendo sustancias alimenticias; en la germinación, la plán-

tula se diferencia de la del trigo en que produce tres raíces embrionales; la plántula difiere igualmente de la del trigo, en el hecho de que la región inferior que origina el coleóptilo se alarga para formar el llamado mesocótilo; el coleóptilo crece hacia arriba y se proyecta por encima de la superficie del suelo. La primera hoja aparece y las hojas se despliegan en sentido contrario al de las manecillas del reloj (10,20,37).

La aparición de las hojas de la plántula es debida principalmente al crecimiento del tercer entrenudo, que contiene el punto de crecimiento cerca de la superficie del suelo. Las yemas en el cuarto y quinto nudo, que se han estado desarrollando gradualmente, se expanden y los entrenudos permanecen muy cortos. Esta área, en su totalidad, constituye la corona y se localiza justamente abajo de la superficie del suelo. Las raíces adventicias y los tallos secundarios se desarrollan a partir de los nudos de la corona (10,32).

### 2.3.3. Crecimiento de raíces.

Las raíces de la avena son fibrosas, más largas que las de la cebada. Como en otros cereales, el sistema principal de raíces brota adventiciamente de los nudos a nivel de la tierra (14,52).

Las raíces de la avena son de dos clases: seminales y adventicias. Las raíces seminales emergen del embrión. La raíz seminal primaria es la radícula, de cuyo margen se desarrolla un par de raíces laterales, para hacer un total de tres raíces embrionales (10,20). Algunos investigado-

res son de la opinión que las raíces seminales son temporales y rápidamente mueren, pero estudios realizados por un sinnúmero de investigadores comprobaron que las raíces seminales funcionan durante toda ó casi toda la vida de la planta (10).

Las raíces adventicias se desarrollan a partir de los nudos del tallo principal y de los tallos secundarios que se encuentran abajo de la superficie del suelo. Este proceso se inicia con la formación de un par de raíces que emerge del tallo principal. Las raíces adventicias son más largas y gruesas que las seminales. Al principio se encuentran sin ramificar y cubiertas en casi toda su longitud con pelos radicales. Posteriormente, aparecen numerosas ramificaciones y conforme éstas crecen, las raíces adultas se tornan más delgadas y de un color café, mientras que los pelos radicales desaparecen, excepto hacia el extremo de la raíz (10,27).

#### 2.3.4. Amacollamiento.

Bajo condiciones naturales cada planta de avena tiene de tres a cinco macollos, los que son huecos. El amacollamiento da comienzo en el momento que el tallo principal incrementa su tamaño y aumenta el número de hojas. El amacollamiento, es simplemente el desarrollo de las yemas en las axilas de las hojas para formar brotes, cuyos entrenudos permanecen muy cortos, al igual que aquellos del tallo de los que proceden. Se originan a su vez retoños o cañas secundarias en las axilas de las hojas, de estas cañas primarias, de manera que al poco tiempo se desarrolla un conjunto de --

vástagos foliáceos. Como cada caña se alarga, aparecen raíces adventicias en sus nudos más inferiores, de forma que el tamaño del sistema radicular guarda una relación con el de las partes aéreas (10,20,41).

Las siembras demasiado profundas pueden ser responsables de un reducido amacollamiento. Muchos otros factores pueden influir sobre el amacollamiento, como las características varietales; las bajas densidades de siembra promueven el amacollamiento, mientras que densidades elevadas lo reducen; las plantas provenientes de semillas grandes tienden a producir un mayor amacollamiento que aquellas que proceden de semillas pequeñas; la fertilidad y la humedad del suelo, en condiciones adecuadas estimulan el amacollamiento, al igual que las bajas temperaturas del suelo y del aire al principio del ciclo del cultivo (11,41).

#### 2.3.5. Crecimiento de las hojas.

Las hojas de la avena son lineales, lanceoladas, alternas y envainadoras, presentan una lígula de tamaño mediano, ovalada y terminada en dientes finos, desprovista de estípulas (14,37).

Las hojas están normalmente enrolladas en una espiral dispuesta en sentido contrario a las agujas del reloj y son portadoras de once a trece nervios (20). A diferencia del trigo y la cebada, la avena carece de aurículas (ganchitos que abrazan al tallo), particularidad que permite su diferenciación de la cebada y el trigo cuando ninguna de ellas ha empezado a florear (11,14,20). Las hojas de avena son de un

color verde oscuro intenso y miden más de 30.5 cm de largo y más de 1.3 cm de ancho (il,37).

La hoja normal de la avena se encuentra dividida en dos partes principales: la vaina y la lámina, las cuales se encuentran separadas por la lígula. Las vainas emergen del nudo y rodean el tallo. La parte inferior de la vaina aparece considerablemente abultada y es esto lo que da al nudo su apariencia engrosada. Cerca de la base, la vaina aparece completa en forma cilíndrica, mientras que en la parte superior se encuentra dividida. Cuando las plantas son jóvenes las vainas son muy cortas, aunque la correspondiente lámina haya alcanzado una longitud considerable. Las vainas empiezan a alargarse rápidamente cuando crecen los entrenudos (10).

#### 2.3.6. Aparición de la panícula.

Cerca del término del estado de amacollamiento, las puntas de crecimiento de la planta deja de producir hojas y cambia a la forma reproductiva. Cada planta tiene, durante el periodo del desarrollo vegetativo, un meristemo caulinar cónico, del cual continuamente se desarrollan nuevas hojas. Sin embargo, llega un momento en que el ápice caulinar cambia de esta condición vegetativa y produce en su lugar una inflorescencia rudimentaria. Después de este cambio, cesan de producirse nuevas hojas por la planta y la última que se origina es la llamada "hoja bandera". La panícula inicia su formación cerca de 22 a 36 días después de la siembra, dependiendo de la variedad, la fecha de siembra y las condiciones

después de la siembra. Aparentemente la precocidad de la v<sup>ar</sup>iedad, conjuntamente con el fotoperiodo y la temperatura -- son los factores principales que determinan la iniciación de la panícula. En algunos casos es necesaria una exposición -- previa a temperaturas bajas (22,41).

#### 2.3.7. Alargamiento del tallo.

El tallo de la avena es una caña herbácea y erguida, -- con nudos llenos y entrenudos huecos en número de 4 a 8; generalmente crecen de 0.6 a 1.5 m. y tiene de 3 a 5 tallos -- por mata, que varían de 0.32 a 0.64 cm. de diámetro (14,16,-52).

Una vez que ha tenido lugar el cambio de la condición -- vegetativa a la floral, su desarrollo posterior se caracteriza por un incremento de las estructuras ya existentes. Las hojas jóvenes se desarrollan hasta alcanzar su tamaño total; la panícula, que se encuentra en la vaina de la "hoja bandera", aumenta considerablemente su tamaño, hasta llegar a su tamaño máximo; al mismo tiempo se produce el alargamiento de los entrenudos inferiores; cada entrenudo comienza su desarrollo antes de que el de abajo haya cesado, de forma que -- normalmente se alargan al mismo tiempo 2 ó 3 entrenudos. La longitud final alcanzada por cada entrenudo, incrementa de -- una forma progresiva el tallo (22,41).

La elongación de los entrenudos superiores, empuja la -- cabeza fuera de la vaina de la "hoja bandera". El entrenudo más extremo (pedúnculo) del tallo, normalmente elonga considerablemente y eleva la panícula por encima de la "hoja ban-

dera". El pedúnculo en ocasiones iguala al resto del tallo en longitud. Una deficiencia de humedad durante la elongación puede limitar la elongación del pedúnculo. Bajo condiciones extremas de stress hídrico, las panículas pueden no emerger completamente del brote (22,41).

### 2.3.8 . Floración

La inflorescencia de la avena es una panoja compuesta ó panícula muy ramificada, unas veces condensada en un lado y otras bien extendida, de espiguillas erectas ó colgantes; éstas en número de 20 a 100 por panícula llevan de 1 a 5 flores (las superiores de ellas son con frecuencia estaminadas ó estériles), de las cuales solo 2 son fértiles -- las que llevan 3 estambres y un pistillo con 2 estigmas -- plumosos (14,22,40,44,52).

Las flores de la avena están protegidas por 2 brácteas, la lemma y la pálea. Las lemmas pueden tener ó no aristas, de acuerdo a la variedad, y con las paleas constituyen un porcentaje más elevado de fibra cruda que lo común en otros cereales (44,52).

Generalmente la avena tiene 3 tipos de flores; la florecilla primaria (produce grano grande), una secundaria -- (grano chico) y una terciaria (rudimentaria) (44) .

La inflorescencia inicial puede ser observada en un estado avanzado de plántula, pero la panoja no emerge de la vaina de la hoja envolvente sino hasta 6 ó 7 semanas después (10) . El tipo de floración está normalmente distribuido durante varios días (5 a 7 días) . La porción superior -

de la panícula es la primera en florecer, después, prosigue hacia abajo por la parte externa de la panícula, y la última parte en florecer son las flores inferiores e interiores de la inflorescencia. En algunas ocasiones la floración de la parte alta de la panícula se inicia antes que la cabeza ha emergido en su totalidad (41). La mayor parte de la floración tiene lugar entre las dos y las cinco de la tarde, aun cuando las espiguillas pueden florecer a otra hora. Durante la antesis, los estigmas se alargan, las anteras se abren y ocurre la fecundación. Lo normal en la avena es que se produzca la autopolinización y el cruzamiento natural rara vez excede de 0.5 a 1.5% (20,44).

#### 2.3.9. Madurez del grano.

El fruto de la avena es un carióspside, que está provisto, de una vaina formada por las brácteas internas ó glumelas, conteniendo dos capas de aleurona. El grano es parecido al del trigo, pero es más largo y puntiagudo en ambos extremos. En la madurez, una sola planta de avena, puede producir más de 100 granos viables, color amarillo claro ó blanco, con las envolturas amarillas, rojas ó negras. Dichas envolturas (glumela superior e inferior) no se desprenden del carióspside en la trilla y forman la cáscara, que constituye -- del 25 al 30% del peso total del grano (11,22,44).

Después de la polinización y fructificación correspondiente, el grano se desarrolla rápidamente y casi alcanza su tamaño máximo. El grano se va llenando con las sustancias nutritivas que provienen de hojas y tallos. La transloca---



ción de materiales de las partes vegetativas hacia el grano--  
cesa cuando el contenido de humedad de éste es inferior a un  
40%. Dado que en condiciones de campo la madurez y el seca--  
do no son uniformes, la materia seca del grano puede conti--  
nuar incrementándose hasta que el contenido promedio de hume--  
dad disminuye de un 30 a un 35% (10,41).

## 2.4. Condiciones ecológicas.

### 2.4.1. Latitud.

La distribución de la avena es entre los 65° latitud --  
Norte y 45° latitud Sur, exceptuando las regiones ecuatoria--  
les cálidas y/o húmedas (30).

### 2.4.2. Altitud.

La avena se cultiva desde una altitud de 0 a 3000 m so--  
bre el nivel del mar (44).

### 2.4.3. Clima.

La avena puede adaptarse fácilmente a una gran variedad  
de climas; prospera bien en los climas secos y tiene cierta--  
tolerancia al frío, pero su mejor adaptación se logra en los  
climas templados (14,16).

En general, la avena se siembra en regiones de clima --  
frio seco ó frio húmedo, pero en regiones donde las bajas tem--  
peraturas son un factor limitante, pueden sembrarse varieda--  
des resistentes al frío (44).

La avena su puede cultivar en climas semicálidos, templados y fríos. Contándose con agua en los climas semicálidos, se puede sembrar en cualquier mes del año; la desventaja de este clima es que se puede causar una prematura maduración del grano cuando éste se encuentra en desarrollo (en estado lechoso y masoso), además, si el clima es caliente y húmedo, favorece el desarrollo de enfermedades como la roya del tallo y de la hoja, disminuyendo la producción y la calidad del forraje; en los climas templados es posible llevar a cabo el cultivo durante el invierno, como en el caso del trigo, retrasando la fecha de siembra para que las heladas tardías no sorprendan al cultivo en plena floración, que es el estado crítico de la planta; en los climas fríos donde se presentan muchas heladas durante el otoño y el invierno se puede hacer la siembra cuando inicia la primavera (14,16,44).

#### 2.4.4. Temperatura.

Se ha encontrado una relación directa entre crecimiento y esta variable para el cultivo de la avena. Una temperatura moderada de 10 a 12°C permite un crecimiento continuo de la planta, el cual cesa a 4.4°C; cuando la temperatura asciende a 7.2°C se presenta un pequeño crecimiento de las avenas (16), sin embargo, aquellas por encima de 33°C, en la floración, dan lugar a la marchitez o a la caída de las flores, por lo que no se puede considerar tan tolerante al calor como el trigo y la cebada (11). La muerte de las plantas de avena de invierno, está asociada con la temperatura del suelo en los 2.5 cm de profundidad, ocurriendo una muerte parcial cuando -

ésta llega a  $-5^{\circ}\text{C}$  (44).

El límite de temperaturas para el cultivo de avena son - las siguientes: mínima:  $4.8^{\circ}\text{C}$ ; óptima  $25-31^{\circ}\text{C}$ ; máxima  $31-37^{\circ}\text{C}$  (44).

#### 2.4.5. Humedad.

La avena se adapta a regiones con 640 mm ó más de precipitación anual ó bien con riego (11). Es muy exigente en -- cuanto a la humedad, ya que requiere más agua que cualquier - otro cereal, excepto el arroz, para sintetizar un kilogramo de materia seca (16). Esta relación es llamada razón de transpi- ración, siendo su unidad de medida en litros de agua transpi- rados por kilogramo de tejido vegetal producido (6). En el -- Cuadro 3 se presentan las razones de transpiración de varias- gramíneas.

Cuadro 3 .- Razones de transpiración de algunas gramí- neas determinaeas en Akron, Colorado (trans- piración en litros por kg. de materia seca- producida).

CULTIVO	RAZON DE TRANSPIRACION
Avena	597
Trigo sarraceno	578
Cebada	534
Trigo	513
Maíz	368
Sorgo	322
Mijo	310

Fuente: Buckman y Brady (1977)

#### 2.4.6. Suelos.

La avena al igual que el centeno, es de los cereales-- menos exigentes en cuanto a suelo, si la temperatura y humedad son favorables. Simonson (1957) indicó que los mejores-- suelos para el cultivo de la avena en orden de importancia-- son: los podzoles (de clima templado y húmedo, incluyendo-- muchos suelos orgánicos), y chernozem (de clima templado se mihúmedo ó semirárido) y en tercer lugar los latosoles, que también son importantes (9).

Los requerimientos de suelo en el cultivo de la avena-- son menos específicos que para el trigo y la cebada; los mejores tipos de suelo para esta planta son los limosos y aluviones, por sus características físicas y químicas que rentienen más la humedad aunque también se puede cultivar en-- suelos arenosos y arcillosos, pero, es necesaria una buena-- preparación y profundidad del mismo, debido a que su sistema radicular es fibroso (16). Para esta especie el mejor pH - del suelo varía de 5 a 7, siendo muy sensible a la salini--dad del suelo (44). Para producir altos rendimientos, re--- quiere suelos moderadamente fértiles y por tanto los minerales han de estar cuidadosamente equilibrados, evitando el-- exceso de nitrógeno. La aplicación de más de 70 kilos de - nitrógeno por hectárea puede dar lugar a la acumulación de-- nitratos y/ó acamado, debido al crecimiento vegetativo exce--- sivo. En zonas húmedas, la falta de fósforo produce una maduración tardía y los rendimientos obtenidos son más bajos, por ello, la aplicación de fertilizantes fosfatados origina beneficios económicos (11).

## 2.5. Prácticas de cultivo.

### 2.5.1. Preparación del terreno.

Se requiere menos cuidado en la preparación del terreno para la avena que para los demás cereales, con la posible excepción del centeno. En suelos pesados, es necesario barbechar el terreno como primer paso en la preparación para la siembra. Generalmente se barbecha en el otoño y posteriormente se le dan 2 pasos de rastra de discos, culminando con una nivelación del terreno para que el agua de riego se distribuya uniformemente y así evitar encharcamientos (23,44).

### 2.5.2. Siembra.

El sistema de siembra puede ser en surcos ó al voleo. Cuando el propósito de la siembra es la producción de grano, el sistema en surcos es el más recomendado; cuando el propósito es la producción de forraje se utiliza el sistema al voleo con buenos resultados (30).

La profundidad de siembra debe ser de 3 a 5 cm y la distribución lo más uniforme posible. Esto se logrará con el uso de sembradoras; además si hay humedad, aereación y temperatura adecuada se logra una máxima germinación de la semilla viable (9).

En un experimento realizado en Apodaca, N.L., se encontró que la mejor fecha de siembra para avena es del 15 de noviembre al 15 de diciembre, cuando los fines son forrajeros (16).

Nieto citado por Elizondo (16), en un estudio comparativo de 8 densidades de siembra que variaron de 60 a 130 kilo-

gramos de semilla, encontró que la densidad de 90 kilos por -- hectárea fué la que produjo una mayor calidad de forraje y a la vez el mayor rendimiento.

### 2.5.3. Trazo de bordos y canales.

Después de realizada la siembra se forman melgas de 10 a 20 m de ancho y de 50 a 100 m de longitud (el ancho y la longitud de las melgas depende de la textura, estructura y del desnivel del terreno). Para delimitar las melgas se pueden utilizar discos borderos ó en su defecto canaleras. El trazo de bordos y canales es importante para distribuir de manera uniforme el riego y así evitar encharcamientos (44).

### 2.5.4. Epoca de cosecha.

La época de cosecha es un factor de mucha importancia -- que se debe de tomar en cuenta en la producción de avena forrajera, en base a que el rendimiento de forraje verde y heno se ven afectados por el estado en que se encuentra la planta al momento de realizar el corte (27).

Según Noller citado por Elizondo (16), a medida que se retrasa la época de cosecha, disminuye el porcentaje de proteínas, la digestibilidad, la vitamina A y el caroteno, afectando no sólo la producción sino también la calidad del forraje. Por tal razón se recomienda el corte cuando la planta se encuentra con un 50% de su grano en estado lechoso-masoso, pues es cuando se obtiene el equilibrio de máxima calidad y alto -- rendimiento (9,23,44).

En California y Arkansas, E.U.A. se ha demostrado que la-

producción total de materia seca aumenta rápidamente de la fase lechosa del grano a la madurez total. Además, la gran digestibilidad de la avena cortada en floración disminuye en las fases sucesivas de maduración (16).

#### 2.5.5. Fertilización.

La aplicación de fertilizantes es necesaria, ya que la avena tiene buena capacidad de respuesta a la aplicación de ellos, especialmente a los nitrogenados. Por lo general, la avena requiere más nitrógeno que el que pueda proporcionarle cualquier tipo de suelo, puesto que la mayor parte del nitrógeno del suelo no se encuentra mineralizado, razón por la cual, no se encuentra disponible para las plantas. Cuando se hacen aplicaciones de abonos nitrogenados, casi siempre conviene aplicar fertilizantes que contengan fósforo, a fin de equilibrar la fertilidad del suelo (44) y evitar problemas de interacciones negativas con este último.

El INIA, para el Valle de México, recomienda la dosis 120-40-00; de modo que se apliquen 40 kg/ha de nitrógeno al momento de la siembra y los 80 restantes después del amacollamiento (50).

#### 2.6. Importancia de la fertilización nitrogenada.

No existe duda respecto a la destacada importancia del nitrógeno en la producción agrícola. Es el elemento nutritivo cuya aplicación a los cultivos da una respuesta más clara y consistente en la producción. Después del agua, el nitrógeno es el factor limitante de mayor trascendencia en el creci-

miento vegetal (15).

Hay muchas razones importantes del porqué deben usarse - dosis adecuadas del fertilizante nitrogenado, y porqué deben seguirse prácticas apropiadas de aplicación. Es de gran significancia que el uso eficaz del nitrógeno resulta en cultivos de mayor rendimiento, calidad y un menor costo por unidad de superficie. Esto significa mayores ganancias para el agricultor y con este fin tendrán que aplicarse para cada caso -- cantidades suficientes, pero no excesivas de nitrógeno (3).

El nitrógeno como elemento esencial en la vida de las -- plantas, no sólo contribuye, cuando se aplica en dosis convenientes a incrementar sus rendimientos, sino que también favorece el aumento de su calidad proteica. Esto es importante -- especialmente, cuando se considera que la especie va a ser -- utilizada como forraje, ya que la calidad de los productos pecuarios ó sus derivados serán reflejo del tipo de material -- que sirve como alimento (2).

Alvarez, Ortega y Guajardo, además de Wagner citados por Barocio (2) han probado con sus investigaciones que el nitrógeno es una fuente importante del incremento proteico de las plantas.

En muchas ocasiones los agricultores consideran que tienen la experiencia necesaria para seleccionar el fertilizante y las dosificaciones más adecuadas, pero en general no toman en cuenta las variaciones ecológicas y agroclimáticas, que de hecho, existen como limitantes para la recomendación del tipo de fertilizantes y dosis más adecuadas (2).

Muchas veces, se realizan aplicaciones excesivas ó indis



criminadas de los fertilizantes nitrogenados. Los argumen--  
tos para ésto son que las fuentes de nitrógeno inorgánico --  
son baratas y que las aplicaciones elevadas de nitrógeno ase--  
guran económicamente rendimientos altos. En dichos casos, -  
las proporciones elevadas de nitrógeno probablemente compen--  
san en alguna forma las prácticas deficientes de adición, o--  
algunos otros factores que limitan la producción y que po---  
drían ser superados a través de otros medios, sin embargo, -  
el uso excesivo del fertilizante nitrogenado puede crear ---  
efectos nocivos sobre las plantas, además de aquellos que se  
reflejan en las ganancias (3).

#### 2.6.1. El nitrógeno en la naturaleza.

El nitrógeno está presente en la naturaleza en grandes-  
cantidades, sin embargo, la provisión de alimentos para el -  
hombre y otros animales está más limitada por el nitrógeno -  
que por ningún otro nutriente. En volumen, la atmósfera con-  
tiene 79% de nitrógeno en forma de gas inerte  $N_2$ ; este nitró-  
geno se caracteriza por la fuerte atracción que existe entre  
los átomos de nitrógeno y por su gran resistencia para reac-  
cionar con otros elementos y crear formas de nitrógeno que -  
puedan ser utilizadas por las plantas (18).

##### 2.6.1.1. Formas del nitrógeno en el suelo.

El contenido de nitrógeno en los suelos está íntimamen-  
te relacionado con su fertilidad; los cultivos son muy sensi-  
bles a las variaciones de la concentración del nitrógeno dis-  
ponible, por lo que su determinación tiene gran interés agrí-

cola (7).

En el suelo prácticamente todo el nitrógeno se encuentra en forma orgánica. El porcentaje de nitrógeno en la porción mineral del suelo varía de 0.02 a 0.4% (400-800 kg/ha) con un promedio de 0.14% (2,800 kg/ha) y de éste, la mayor parte, generalmente más del 98% se encuentra en forma orgánica (7,15). En forma orgánica el nitrógeno se encuentra presente como componente de los residuos orgánicos, el humus y otros compuestos más o menos complejos, como proteínas, nucleótidos, ácidos nucleicos, aminoácidos, aminas, amidas, bases de pirimidina y otros compuestos no identificables (7,15).

Aparte del nitrógeno de la atmósfera, existen en el suelo, formas minerales de nitrógeno, entre las que hay que destacar los iones nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) y amonio ( $\text{NH}_4^+$ ). Otras formas menos abundantes y que constituyen productos intermedios son el ión nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ), los gases óxidos nitroso (NO) y nítrico ( $\text{NO}_2$ ), la hidroxilamina ( $\text{NH}_2\text{OH}$ ) y cantidades no disociadas de amoníaco ( $\text{NH}_3$ ). De todas estas formas, la única que es retenida en el suelo de forma apreciable es el ión amonio (15).

En el suelo, las que se encuentran disponibles para las plantas son los nitratos y el amonio (7). Por largo tiempo dominó la idea de que la planta sólo podía absorber el ión nitrato y no el ión amonio. En la actualidad se sabe que las plantas de cultivo absorben ambas formas iónicas, y que en todo caso la absorción del nitrato depende mucho menos que la del amonio del pH del suelo. Sólo entre valores de pH de 5 a 7 es bien utilizado el ión amonio por la planta,

mientras que el ión nitrato obra favorablemente en el amplio intervalo de 3 a 8 (51). Según Kent citado por Martínez --- (30) también pueden ser utilizados los aminoácidos de bajo - peso molecular (glisina y alanina), urea y ácidos nucleicos, compuestos que son degradados en los suelos a amoniaco y pos- teriormente oxidados hasta el nivel de nitratos antes de ser absorbidos; dicha oxidación puede ser efectuada por 2 grupos de bacterias autotróficas: nitrosomonas y nitrobacter.

Las sales amoniacaes al oxidarse y convertirse en nitra- tos también pueden considerarse como disponibles para las -- plantas, incluso ciertos alcaloides como la brucina y estrig- nina, de los que, el 31% de su nitrógeno es asimilado des--- pués de su descomposición por los microorganismos del suelo- (1).

#### 2.6.1.2. El nitrógeno en las plantas.

El nitrógeno es un componente importante de la materia- viva, comprendiendo del 16 al 18% de las proteínas de las -- plantas, además de ser constituyente de la clorofila, de mu- chas enzimas, vitaminas y de algunas fitohormonas (2,7). El- nitrógeno en la planta está distribuido por todas partes --- cuando existe suficiente cantidad de este elemento en el sue- lo, pero siendo deficiente, se localizará principalmente en- las porciones jóvenes de la misma (39).

El contenido de nitrógeno en la planta varía, según la- parte de que se trate; las hojas son los órganos más ricos en nitrógeno; en la parte leñosa de algunas plantas, tales como los árboles, el contenido de nitrógeno es tan bajo como 0.2%;

en las porciones suculentas de otras plantas, como es el caso del tabaco, el contenido de nitrógeno generalmente varía de 0.5 a 5%; de otras especies, las leguminosas son las que tienen un mayor porcentaje de nitrógeno. Una planta joven es más rica en nitrógeno que una planta vieja, que resulta más rica en hidratos de carbono (1,7).

En las plantas, el nitrógeno se puede presentar en formas orgánicas e inorgánicas, pero estas últimas (en su mayor parte nitratos), generalmente forman una parte muy pequeña del porcentaje total. Una vez en el interior de las plantas, el  $\text{NO}_3^-$  se reduce primero a  $\text{NO}_2^-$  y después a  $\text{NH}_4^+$  y en esta forma se incorpora a las formas orgánicas. Es importante hacer notar que todo el nitrógeno inorgánico debe encontrarse en forma amoniacal dentro de la planta antes de que esta puede utilizarlo para la síntesis de proteínas, que es el fin primordial que tiene el nitrógeno en la nutrición vegetal. Es posible que bajo condiciones de altas cantidades de nitratos aprovechables y/o en ausencia de su reducción, éstos pueden acumularse en las plantas en cantidades tóxicas para los animales (7).

#### 2.6.2. Funciones del nitrógeno en las plantas.

Cuando el nitrógeno se encuentra en presencia de cantidades adecuadas de otros nutrientes en la planta, es responsable de un marcado incremento en el desarrollo del tallo y de la hoja; la presencia de una superior cantidad de nitrógeno queda detectada en la mayoría de los casos, por un excelente color verde exhibido por el cultivo vegetal, ya que el

nitrógeno junto con el magnesio es constituyente de la clorofila, que es la materia de color verde presente en las plantas. Las hojas tienen que estar provistas de cantidades adecuadas de clorofila, para poder utilizar la energía luminosa aportada por el sol y sintetizar los azúcares, por lo que -- constituye un factor de capital importancia en la planta. - La acción primordial que ejerce el nitrógeno, se traduce inmediatamente en la apreciación de un rápido desarrollo y de un follaje exuberante (2,38). El nitrógeno es un regulador que gobierna en grado considerable la utilización del potasio, fósforo y otros constituyentes (6).

En la etapa de amacollamiento es cuando la planta requiere más nitrógeno y la densidad de espigas está en función del nitrógeno que la planta tenga a su disposición en esta fase crítica (21). Por otra parte, este nutriente tiene influencia sobre el número de tallos formados, altura de planta; favorece el alargamiento de los entrenudos, siendo este efecto más notable cuanto más temprana sea su aplicación (1,21).

#### 2.6.2.1. Deficiencia de nitrógeno en las plantas.

Los efectos que causa en las plantas una deficiencia de nitrógeno asimilable en el suelo se resumen a continuación:

Una deficiencia de nitrógeno es indicada por una coloración verde-amarillenta de la planta, las proteínas de las -- partes más viejas se hidrolizan y en forma de aminoácidos se movilizan a los tejidos más jóvenes; las plantas quedan raquíticas, el peciolo se acorta y las nervaduras son más pro-

nunciadas, ya que el desarrollo de las plantas suculentas se retrasa (1,5,39). El encañado de las gramíneas es defectuoso, el sistema radicular se extiende anormalmente con relación al sistema aéreo, se presenta una baja relación corona:raíz (el crecimiento de las raíces es más alto y el desarrollo de la corona de la planta está restringido) (1,39).

La carencia del nitrógeno produce una reducción del desarrollo potencial de las yemas embrionarias, poco desarrollo de ápices de crecimiento y tejidos primordiales por --- atraso en la división celular, disminuyendo las cosechas, --- ya que las yemas axilares o laterales no brotan o no crecen adecuadamente, además de que el número de flores es inferior a la media y existe un mal cuajado en los frutos provocando el desarrollo de frutos de tamaño y color anormal (1,2, 18,).

Otro efecto que causa la deficiencia de nitrógeno en plantas de tallos y hojas leñosas con alto contenido de fibra, además de una gran cantidad de células esclerenquimatosas en el desarrollo, que influyen en el crecimiento vegetativo y generativo, acortando esencialmente el período de --- crecimiento al anticipar la madurez (1,51).

#### 2.6.2.2. Exceso de nitrógeno en las plantas.

El exceso de nitrógeno causa los siguientes efectos en las plantas: las hojas son verde oscuras y muy grandes, --- las plantas son suculentas y digestibles, con pocas partes-leñosas; el alto contenido de nitrógeno provoca una baja en el contenido de carbohidratos de la planta, y a menudo, a -

causa de la carencia de carbohidratos no puede transformarse el nitrógeno en aminoácidos y proteínas, pudiéndose llegar a la intoxicación amoniacal. La asparagina y la glutamina se forman en mayor cantidad de lo normal y deterioran el sabor de las hortalizas, (1,51). También provoca un desarrollo -- exuberante de los tallos y las hojas con una alta relación de corona: raíz, lo cual ocasiona que las plantas no queden bien ancladas en el suelo (1,38,39). Los tallos al ser grandes son débiles por no estar suficientemente lignificados y muestran escasa resistencia mecánica. La consecuencia en -- los cereales es el acamado, al doblegarse bajo el peso de la espiga y hacer susceptibles a las plantas al ataque de plagas y enfermedades (5,38,39,51). Además, el exceso de nitrógeno estimula el crecimiento vegetativo en perjuicio de los órganos de reproducción, provocando retrasos en la madurez y, por tanto, en la cosecha (1,30).

### 2.6.3. Eficiencia de la fertilización nitrogenada.

La eficiencia con que las plantas absorben el nitrógeno del suelo es un tema poco estudiado. Se ha comprobado que la eficiencia de absorción del nitrógeno puede variar de 35- a 85%; pero esta eficiencia cambia en función del cultivo, la variedad, la altitud sobre el nivel del mar, la cantidad y distribución de las lluvias, la longitud de los días, el porcentaje de materia orgánica, la textura y estructura del suelo, etc. (59). Algunos ejemplos de estas diferencias de eficiencia se revisarán a continuación.

Killingsbaek y Simmelsgaard al estudiar la influencia --

que ejerce la humedad del suelo sobre la eficiencia de la fertilización nitrogenada, encontraron que la eficiencia varió de 75 a 90% en cereales cultivados bajo condiciones adecuadas de humedad, disminuyendo este porcentaje de eficiencia de 30 a 50% bajo condiciones de sequía.

En Chile, Vidal et al al comparar la eficiencia del fertilizante urea, aplicado con ó sin nitrapirina (2-cloro-6 (tricometil) piridina) en un cultivo de avena, utilizando -- una dosis de 90 kg de nitrógeno por hectárea encontraron -- que la aplicación conjunta de urea y nitrapirina aumentó la eficiencia de recuperación del nitrógeno de 37.9 a 74.2%.

En otra investigación realizada en el Norte de Grecia por Papanastasis y Alexandris, con pastos anuales (Triticum villosum y Avena sterilis), asociados con pastos perennes -- (Botrichloa ishemum y Chrisopogon grillus) la mayor cantidad de nitrógeno recuperado ocurrió con la dosis de 100 kg de nitrógeno por hectáreas (57.5%), el mayor rendimiento -- (4.66 ton. de materia seca por hectárea) se obtuvo con la -- dosis de 225 kg de nitrógeno por hectárea y la dosis óptima económica se encontró con la dosis de 71.5 kg de nitrógeno por hectárea (3.49 ton. de materia seca por hectárea).

Singh y Singh al observar el efecto de diferentes dosis y métodos de aplicación de nitrógeno sobre la eficiencia de recuperación del fertilizante nitrogenado, encontraron que se presentó un incremento significativo en este valor al aumentar el nivel de aplicación de nitrógeno, siendo esos incrementos de 27.3% a 43.6% y 55.1% de eficiencia nitrogenada para 30,60 y 90 kg de nitrógeno por hectárea res-



pectivamente cuando toda la fertilización se aplicó directamente al suelo; asimismo la eficiencia varió de 57.3% a 55.6% y 57.6% para los mismos niveles de fertilización cuando la mitad de la fertilización fué aplicada directamente al suelo y la otra parte se aplicó por aspersión foliar.

En un experimento realizado en 1984, en terrenos sembrados con arroz, Kumar y Singh encontraron que el régimen de humedad no tuvo un efecto significativo sobre el nitrógeno absorbido por el cultivo; el nitrógeno absorbido y la eficiencia de recuperación del fertilizante nitrogenado aumentaron al aplicar al terreno herbicidas a base de butacloro y de benzonato + propanil; también se observó que la eficiencia de recuperación aumentó hasta la aplicación de 100 kg de nitrógeno por hectárea, nivel después del cual disminuyó.

Traka et al al comparar la eficiencia de la fertilización nitrogenada en varios cultivos observaron que la mayor eficiencia se obtuvo con papa y remolacha, siguiéndoles en eficiencia trigo, arroz y maíz, obteniéndose la menor eficiencia con soya. Señalan que la eficiencia disminuyó al incrementar la aplicación del fertilizante nitrogenado por encima de los 100 kg por hectárea, disminución que fué bastante marcada en remolacha, ya que decreció de 63% a 42% y 34% para 100, 200 y 300 kg de nitrógeno por hectárea respectivamente; la disminución de la eficiencia en papa fué también significativa, de 65% a 54% y 48% para 100, 200 y 300 kg de nitrógeno por hectárea; para el cultivo de soya la eficiencia permaneció casi constante, ya que su variación fue de 15% a 16% y 15.5%, para los mismos niveles de nitrógeno.

Finalmente, en Chapingo, México. Núñez et al estudia--  
ron la respuesta del maíz en producción de grano, rastrojo,-  
materia seca y absorción de nitrógeno a diferentes niveles,-  
fuentes y oportunidades de aplicación. En los niveles de --  
aplicación, el tratamiento de 80 kg de nitrógeno por hectá--  
rea obtuvo la mayor absorción de nitrógeno y la mayor efi---  
ciencia de recuperación, observándose una marcada disminución  
en los niveles de 120,160 y 200 kg de nitrógeno por hectárea.  
En cuanto a las fuentes de nitrógeno, la mayor absorción y -  
eficiencia se obtuvo con la urea, presentándose la menor ab-  
sorción y eficiencia cuando el nitrógeno se aplicó en forma-  
de nitrato de amonio. En lo que respecta a la oportunidad -  
de aplicación, la mayor absorción y eficiencia se encontró -  
con el tratamiento en el que se aplicó la mitad del fertili-  
zante a la siembra y la otra mitad a los 50 días después de-  
la siembra, obteniéndose la menor eficiencia y absorción de-  
nitrógeno cuando se aplicó todo el fertilizante a los 30 ---  
días después de la siembra.

### III. OBJETIVOS E HIPOTESIS

#### OBJETIVOS:

- 1.- Evaluar el rendimiento en forraje de la avena c.v. Chihuahua bajo diferentes niveles de fertilización nitrogenada.
- 2.- Determinar la eficiencia de la fertilización nitrogenada en el cultivo de avena c.v. Chihuahua bajo diferentes niveles.

#### HIPOTESIS:

- 1.- El nitrógeno incrementa el rendimiento de forraje en avena.
- 2.- Al menor nivel de fertilización corresponderá el menor nivel de extracción de nitrógeno por la planta.

#### IV. MATERIALES Y METODOS

##### 4.1. Antecedentes del sito del experimento.

###### 4.1.1. Localización.

El experimento se realizó en la parcela 3 del área agrícola del Centro de Producción Agropecuaria (C.P.A.) de la -- F.E.S.-C, localizada en el municipio de Cuautitlán Izcalli, - México, durante el período comprendido entre el 18 de diciembre de 1985 y el 28 de abril de 1986. Este municipio se encuentra entre los 19°37' y 19°45' de latitud Norte, entre los 99°07' y 99°14' de longitud Oeste, y cuya altura sobre el nivel del mar es de 2,250 m (43).

###### 4.1.2. Condiciones climáticas.

Según la clasificación climática de Köppen modificada - por Enriqueta García, la región de Cuautitlán se clasifica - como C(wo) (w) b (i'), que es el templado subhúmedo más seco, con un régimen de lluvias de verano e invierno seco, con verano largo y fresco y una oscilación de la temperatura de 5 a 7°C. La temperatura media anual es de 15.7°C, siendo enero el mes más frío, con una temperatura promedio de 11.8°C y junio el mes más caliente con 18.3°C. Esta zona tiene una - precipitación anual de 605 mm, siendo julio el mes más lluvioso con 128.9 mm y febrero el más seco con 3.8 mm (43).

El el Cuadro 4 se presenta el promedio de temperaturas y días con heladas para el municipio de Cuautitlán Izcalli, México.

Cuadro 4.- Promedio de temperaturas y número de días con heladas para el municipio de Cuautitlán Izcalli, México (1929-1974).

MES	MAXIMA	MINIMA	MEDIA	HELADAS
Diciembre	21.9	3.1	12.5	15.1
Enero	21.7	2.3	11.8	17.4
Febrero	23.5	2.9	13.2	14.6
Marzo	25.4	5.5	15.5	5.7
Abril	26.5	6.9	16.7	1.3

FUENTE: Reyna (1978).

#### 4.1.3. Condiciones edafológicas.

Dentro del área, predominan los suelos del tipo Vertisol pélico, los cuales son de formación aluvial. que se originaron a partir de depósitos de material ígneo (andecitas, brechas volcánicas y areniscas tobas). Estos suelos son de textura arcillosa, pesados y difíciles de manejar por ser plásticos y adhesivos cuando están húmedos y duros, formando grietas cuando están secos.

Son suelos jóvenes, no presentan fenómenos de lluvia-ción, eluviación o intemperismo muy marcado; presentan un horizonte superficial oscuro relativamente grueso, con una estructura bien desarrollada, pH mayor de 6 y relación C:N- de 10 en suelos cultivados, con alto contenido de material-

amórfico como el alúfano en su fracción arcillosa (12).

En el Cuadro 5 se presentan los resultados de un análisis físico-químico de suelos, realizado en 1981, en el área agrícola de la F.E.S.-C.

Cuadro 5.- Características físico-químicas del área agrícola de la F.E.S.-C.

VARIABLE	VALOR OBTENIDO
Arena %	40
Limo %	26
Arcilla %	34
Textura	Migajón arcilloso
Color	Gris obscuro
pH	6.2
Materia orgánica %	2.11
C.I.C.T. meq/100 gr	30
Nitrógeno total meq/100 gr	14
Fósforo disponible kg/ha	250
Potasio Aprovech. kg/ha	2500

Fuente: de la Teja (1982).

Es importante señalar que en el sitio del experimento se realizaron aplicaciones de estiércol en el año de 1984, con el fin de mejorar las condiciones físico-químicas del suelo.

#### 4.2. Secuencia metodológica del experimento.

##### 4.2.1. Muestreo de suelos.

Antes de realizar la preparación del terreno se tomó - una muestra de suelo compuesta, a una profundidad de 0-20 cm, una vez colectadas las muestras, se secaron al aire y se desmenuzaron, para posteriormente enviarlas al laboratorio de - Edafología de FERTIMEX, S.A., en donde se realizó el análisis correspondiente.

##### 4.2.2. Preparación del terreno.

La preparación del terreno se realizó conforme el sistema rutinario del C.P.A. y constó de barbecho, rastreo y nivelación.

##### 4.2.3. Delimitación de superficie experimental.

Después de concluida la preparación del terreno se procedió a delimitar el área experimental, bordos y canales; -- utilizando para ello, cal, estacas, mecahilo y cinta métrica.

Delimitado el terreno, se trazaron los bordos que dividirían cada parcela experimental y los canales y drenes utilizados para el riego.

##### 4.2.4. Diseño experimental.

El diseño experimental utilizado en la presente investigación fue un arreglo en bloques al azar con cuatro repeticiones. Para los tratamientos se usaron seis niveles de dosificación de fertilizante nitrogenado, los cuales se presentan en el Cuadro 6.

La superficie individual por tratamiento fué de 24 m<sup>2</sup> - (6x4), de los cuales se consideró como parcela útil para fines de análisis estadístico una superficie de 8 m<sup>2</sup>. La superficie total incluyendo canales, drenes y pasillos fué de 1000 m<sup>2</sup>.

Cuadro 6.- Tratamientos del diseño experimental para el estudio de la dosis óptima y eficiencia de la fertilización nitrogenada en avena. - Cuautitlán Izcalli, Méx. 1986.

TRATAMIENTO	N	P	K
1	00	40	00
2	40	40	00
3	60	40	00
4	80	40	00
5	100	40	00
6	120	40	00

#### 4.2.5. Fuentes de fertilizantes.

Al momento de la siembra se utilizó como fuente de nitrógeno sulfato de amonio y como fuente de fósforo superfosfato de calcio triple. La segunda fertilización se efectuó antes del segundo riego, utilizando nitrato de amonio como fuente de nitrógeno.

La siembra se realizó el 18 de diciembre de 1985. Esta actividad consistió en distribuir bolsas de semilla de -



avena c.v. (variedad) Chihuahua, previamente pesadas y que --  
contenían 240 gr. cada una, con el objeto de aplicar una do-  
sis de 100 kg/ha. La siembra fué manual, distribuyéndose la  
semilla al voleo dentro de cada parcela.

Conjuntamente con la siembra se realizó la primera fer-  
tilización, usando bolsas con las cantidades que correspon-  
dían a cada tratamiento, de nitrógeno y fósforo. Los ferti-  
lizantes se mezclaron en la forma más uniformemente posible  
y se distribuyeron en cada parcela. Acto seguido se tapó --  
tanto el fertilizante como la semilla, con el auxilio de ras-  
trillos de cabo largo.

El pesaje de la semilla y el fertilizante se realizó --  
con una balanza granataria.

La aplicación de fertilizantes se llevó a cabo fraccio-  
nando en dos oportunidades, según se puede observar en el --  
Cuadro 7.

Cuadro 7.- Fracciones para aplicación de fertilizantes  
en el estudio de la dosis óptima y eficien-  
cia de la fertilización nitrogenada en ave-  
na. Cuautitlán Izcalli, Méx. 1986.

TRATAMIENTO	DOSIFICACION	
	SIEMBRA --	2o. RIEGO
1	00-40-00	00-00-00
2	17-40-00	23-00-00
3	25-40-00	35-00-00
4	34-40-00	46-00-00
5	42-40-00	58-00-00
6	50-40-00	70-00-00

Realizada la siembra se le dió a la parcela un riego - por gravedad, cuidando que fuera uniforme para todas las -- unidades experimentales.

#### 4.2.7. Labores culturales.

Los riegos se aplicaron por gravedad y se realizaron - en base al contenido de humedad que tenía el suelo de la -- parcela experimental y a la sintomatología visual que pre-- sentaba la planta. El total de riegos aplicados fué de cin- co en todo el ciclo de cultivo y se aplicaron en las fechas que se señalan en el Cuadro 3.

Cuadro 3.- Calendario de riegos en el estudio de la - dosis óptima y eficiencia de la fertiliza- ción nitrogenada en avena, Cuautitlan, Iz- calli, Méx. 1986.

NUMERO DE RIEGO	F E C H A
Primer riego	18 de diciembre de 1985
Segundo riego	15 de enero de 1986
Tercer riego	11 de febrero de 1986
Cuarto riego	8 de marzo de 1986
Quinto riego	7 de abril de 1986

#### 4.2.8. Control de malezas.

El control de malezas se llevó a cabo el día 26 de fe- brero mediante un deshierbe manual.

#### 4.2.9. Control de plagas y enfermedades.

No fue necesario realizar control de plagas y enfermedades; ya que en cuanto a las primeras sólo se presentó el pulgón verde (Schizaphis graminum), pero no provocó daño económico al cultivo, y en cuanto a enfermedades no se dieron las condiciones necesarias para que éstas aparecieran en el cultivo.

#### 4.2.10. Cosecha.

La cosecha se realizó el 28 de abril de 1986, cuando el 50% del grano de la planta se encontraba en estado lechoso - masoso. Para efectuar la cosecha, se seleccionó un día anterior la parcela útil de 8 m<sup>2</sup> (4x2) y se cosechó en forma manual, cortando la planta con ayuda de una hoz, a una altura del suelo de aproximadamente 5 cm.

#### 4.2.11. Observaciones de campo y registro de datos.

Para observar el efecto de los diferentes tratamientos se efectuaron revisiones periódicas del desarrollo de las plantas, notándose que había algunas diferencias entre las diferentes dosis de fertilización; además, éstas observaciones tenían la finalidad de determinar la necesidad de aplicar algún riego, verificar la presencia de maleza, plagas o enfermedades y establecer el momento adecuado para efectuar la cosecha.

Durante el tiempo que perduró el ciclo del cultivo se tomó el registro de los siguientes datos:

Altura de planta.- Se tomaron los datos a los 45 días.

posteriores a la siembra y al momento de la cosecha. Se escogieron diez plantas al azar de cada parcela experimental y se obtuvo el promedio de altura de cada tratamiento.

Longitud y anchura de hoja.- Se midió la anchura y la longitud de la hoja de diez plantas de cada tratamiento, 45 días después de la siembra y al momento de la cosecha y se obtuvo un promedio por tratamiento.

Rendimiento de materia verde.- Para este dato se cosecharon los 8 m<sup>2</sup> de parcela útil y se pesaron en una báscula de reloj. Con este dato se realizaron las conversiones necesarias y se obtuvo el rendimiento en ton/ha.

Rendimiento de materia seca.- Después de haber obtenido el peso en verde, se tomaron 500 gr. de cada tratamiento y se guardaron en bolsas de papel con perforaciones para -- permitir una buena aereación. Las muestras se secaron en una estufa con corriente de aire, a 70°C durante 48 horas y se volvieron a pesar para que por diferencia de peso se calculara el porcentaje de materia seca de cada tratamiento.

Nitrógeno total.- Después de secadas las muestras, se procedió a molerlas en un molino Wiley y tamizarlas a través de una malla 40. Se determinó el nitrógeno total por el método de Kjeldhal, modificado para incluir nitratos. El principio básico de este método es la conversión del nitrógeno de las sustancias nitrogenadas en amonio, hirviéndolas en ácido sulfúrico concentrado (digestión), el material orgánico se oxida a dióxido carbónico y agua; el ácido sulfúrico se convierte en dióxido de azufre y el nitrógeno se fija en forma de sulfato de amonio, éste se diluye con agua

y se neutraliza con hidróxido de sodio, el amonio presente - se desprende y a la vez se destila y se recibe en una solución de ácido bórico que luego es titulado con HCl estandarizado. En esta forma indirecta conocemos el contenido de nitrógeno (33).

Eficiencia de la fertilización nitrogenada.- Para calcular la eficiencia de la fertilización nitrogenada se utilizaron los datos de rendimiento de materia seca y se multiplicaron por el porcentaje de nitrógeno, para así obtener los kg de nitrógeno extraídos por las plantas del suelo. Posteriormente se restaron los kg de nitrógeno extraídos por los tratamientos de 40,60,80,100 y 120 kg de nitrógeno menos los kg de nitrógeno extraídos por el tratamiento testigo; este resultado se dividió entre los kg. de nitrógeno agregados a cada tratamiento de fertilización y se multiplicó por cien para así obtener la eficiencia de la fertilización nitrogenada para cada tratamiento en términos de porcentaje (34).

#### 4.2.12. Análisis estadístico.

La información anterior se sometió a un análisis estadístico, que serviría para la discusión de resultados. El análisis estadístico constó de 2 partes: análisis de varianza y correlación entre variables.

Análisis de varianza.- El análisis de varianza para cada variable se utilizó para determinar las diferencias entre tratamientos y entre bloques, de acuerdo al siguiente modelo:

$$Y_{ij} = \mu + t_i + b_j + e_{ij}$$

i = 1,2,3,4,5,6. tratamientos.

j = 1,2,3,4. repeticiones.

Donde:  $Y_{ij}$  = Valor de variable estudiada.

$\mu$  = Efecto de la media general.

$t_i$  = Efecto del i-esimo tratamiento.

$b_j$  = Efecto del j-esimo bloque.

$e_{ij}$  = Efecto del error.

Las hipótesis a probar fueron:  $H_0 : t_1 = t_2 = t_3 = \dots t_i$

$H_a : t_1 \neq t_2 \neq t_3 \neq \dots t_i$

Com se encontraron diferencias significativas entre tratamientos se efectuó la prueba de Tukey de comparación múltiple de medias a un nivel de significancia del 5%.

Correlaciones.- Correlación es la tendencia de dos o más variables, a estar correlacionadas en una forma definida. El coeficiente de correlación r toma los siguientes valores:  $-1 \leq r \leq 1$ ; es decir,  $-1, -0.99, -0.98, \dots, 0, \dots, 0.98, 0.99, 1.0(42)$ .

#### 4.2.13. Análisis económico.

El análisis económico se realizó con la finalidad de determinar la dosis óptima económica de fertilizante nitrogenado para avena forrajera en materia seca (pacas). Para hacer esta determinación se obtuvieron los precios de cada uno de los insumos utilizados, además, se obtuvieron los costos por unidad de fertilizante. Con los datos anteriores se determinaron los costos variables por tratamiento, multiplicando el

tratamiento por el costo de cada unidad de fertilizante (Cuadros 12A y 13A).

Para el cálculo de los costos fijos se consideraron las labores e insumos que aparecen en el Cuadro 11A.

Otro aspecto importante en el análisis económico es el precio de la avena forrajera, siendo su precio en la época en que se desarrolló la presente investigación de \$ 650.00 - por paca. El número de pacas obtenido por el tratamiento se determinó dividiendo el rendimiento de materia seca entre un peso promedio de 20 kg por paca (Cuadro 14A).

Posteriormente se utilizó la siguiente fórmula para obtener los ingresos netos por tratamiento:

$$G = Yy - ( CF + CV )$$

Donde: G = Ingresos netos

Y = Rendimiento en materia verde o materia seca

y = Costo del forraje empacado

CF = Costos fijos

CV = Costos variables

## V.- RESULTADOS Y DISCUSION

### 5.1. Condiciones climáticas.

Las condiciones climáticas para el ciclo en el cual se estableció el experimento (0-I 1985-1986) se presentan en el Cuadro 9.

Cuadro 9.- Temperaturas y número de días con heladas - durante el ciclo de cultivo del estudio de la dosis óptima y eficiencia de la fertilización nitrogenada en avena, Cuautitlán Izcalli, Méx. 1985-1986.

MES	MAXIMA	MINIMA	MEDIA	HELADAS
	°C			
Diciembre	20.9	4.5	12.7	5
Enero	20.5	0.5	10.5	24
Febrero	23.3	3.4	13.4	12
Marzo	24.2	3.4	13.8	9
Abril	26.6	8.8	17.7	0

Fuente: S.M.N. (1987).

Al comparar los Cuadros 4 y 9 se puede observar que durante el ciclo de cultivo del experimento los días totales de heladas se presentaron en menor cantidad que el promedio, sin embargo, ocasionaron la muerte de gran cantidad de plantas. En este ciclo, el mes de enero fué el más problemá-



tico, ya que además de que se presentó una gran cantidad de heladas, estas se presentaron en forma consecutiva del día-12 al 22 del mismo mes (los días 13 y 14 se presentaron temperaturas menores a los  $-5^{\circ}\text{C}$ ), razón por la cual se tuvo -- que adelantar el segundo riego con la finalidad de disminuir los daños en las plantas. La muerte de plantas se debió -- probablemente a que se presentaron heladas con temperaturas inferiores a  $-5^{\circ}\text{C}$  que pudieron provocar una disminución en la absorción de agua del suelo y al seguir transpirando las plantas, murieron por deshidratación (57).

En cuanto a las temperaturas máximas, mínimas y medias se pudo constatar que fueron inferiores al promedio. Así mismo se puede observar en el Cuadro 9 que la temperatura máxima mensual fué muy uniforme en los meses de diciembre y enero ( $20^{\circ}\text{C}$  aproximadamente) y aunado esto al gran número de heladas que se presentaron en el mes de enero, provocaron que el crecimiento de la planta de avena en estos meses fuese muy lento, acelerándose la velocidad de crecimiento a partir del mes de marzo, en el cual ascendió la temperatura y las heladas se presentaron con menor intensidad.

## 5.2. Análisis de suelo.

Como puede observarse en el Cuadro 10, el suelo del sitio experimental fué tipificado según la clasificación textural de la Sociedad Americana de la Ciencia del Suelo como un suelo migajón arcilloso. Esta clase de textura, le confiere al suelo una buena capacidad de retención de humedad, a la vez que buen drenaje y aireación debido a que el tama-

no de sus poros es intermedio. Esta textura además de su alto contenido de materia orgánica confiere al suelo una densidad aparente y real baja (13,35).

Cuadro 11.- Características físicas y químicas del suelo correspondiente al sitio experimental.

Variable	Valor obtenido	Clasificación
Arena	38	
Limo	24	
Arcilla	38	
Textura	Medio	
Color	Grís claro	
pH	6.3	Neutro
Materia orgánica	3.7	Alto
C.E.	1.27	Medio
C.I.C.T.	56	Alto
Capacidad de intercambio catiónico	23	Alto
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	690	Alto
K <sub>2</sub> O	1,429	Alto
Calcio	1,500	Alto
Magnesio	1,712	Alto
Azufre	111	Alto
Boro	3.8	Alto
Zinc	0.7	Bajo
Hierro	23	Bajo
Molibdeno	1.7	Alto
Zinc	0.5	Medio

Laboratorio de edafología de Veracruz, Cuxtlián, México.

Estos suelos por su buena capacidad de retención de humedad, no se lavan en exceso, debido a lo cual, el suelo man tiene un pH neutro, que junto con la materia orgánica, proporcionan al suelo una capacidad de intercambio catiónico total elevada (C.I.C.T.). Estas tres características (M.O, pH y C.I.C.T.) coadyuvan para proporcionarle al suelo mejor ni-

vel de fertilidad; el pH, al estar dentro del rango en el -- cual la mayoría de los nutrientes estan disponibles (solu--- bles) para ser asimilados; la alta C.I.C.T., que proporciona elementos nutritivos a la planta a través del complejo de -- cambio y evita el lavado de estos nutrientes al retenerlos y la materia orgánica, porque mejora la porosidad del suelo y -- la retención del agua disponible, funciona como reserva de -- elementos nutritivos, regula el pH del suelo y aumenta la -- C.I.C.T., del suelo (13,35).

Debido a este elevado contenido de materia orgánica, el nitrógeno aprovechable pudo haberse presentado en grandes can-- tidades, debido al elevado grado de asociación que existe en -- tre ambas variables, aunque esto no quiera decir que todo es -- te nitrógeno se encontrara disponible, por lo cual es conve-- niente realizar aplicaciones de este elemento para producir -- incrementos en rendimiento. El fósforo y el potasio se en-- cuentran presentes en buena proporción debido a que el pH -- del suelo permite una buena solubilidad de estos dos elemen-- tos, razón por la cual, en un momento dado se podría prescin-- dir de su aplicación al suelo, sin que se produjeran grandes -- mermas en el rendimiento. En general se presentaron niveles -- altos de Calcio, Magnesio y Azufre, que parecen encontrarse -- equilibrados en su concentración, situación que favorece la -- existencia de una reacción del suelo neutra y que provoca -- que la mayor parte de los demás nutrientes se presenten dis-- ponibles, aunque algunos como el Cobre, el Hierro y el Zinc -- disminuyan su disponibilidad para las plantas, por no estar -- tan solubles a este valor de pH, además de que el alto conte

nido de materia orgánica provoca que estos últimos nutrientes queden inmovilizados en forma de compuestos orgánicos -- (6,13,35).

En términos generales podemos deducir del Cuadro 10 que la fertilidad del suelo, según Ortiz (35) es alta, lo que -- puede corroborarse con los resultados de otras investigaciones, como la realizada por López (29) en el ciclo 0-I (1985-1986), en la que utilizó la técnica de Chaminade y encontró que la fertilidad actual del suelo es favorable, ya que no se encontraron deficiencias graves en el suelo, que necesitan de forma inmediata una fórmula de fertilización como abonadura de corrección. El nutrimento que presentó mayores -- problemas de deficiencia fue el Calcio y su rendimiento final correspondió al 86% del testigo (abonadura completa), -- por lo que se puede decir que la diferencia entre la fertilidad actual y la potencial sólo es de un 14%. En otra investigación realizada en 1987, Cázarez (8) evaluó la fertilidad de los alfalfares del Valle de México y confirmó la alta fertilidad de los suelos del C.P.A.; encontró que el tratamiento de mayor rendimiento fue el -P y el de menor rendimiento lo constituyó el +K, con lo cual se comprueba la alta disponibilidad de estos dos elementos en dichos suelos, además de que los elevados niveles de estos nutrimentos pueden en un -- momento dado ser detrimentales en el rendimiento de la alfalfa.

### 5.3. Altura de plantas.

Como se puede observar en el Cuadro 11, la altura de ---

plantas presentó una alta diferencia significativa entre tratamientos, más no entre bloques. En el Cuadro 12 se presenta la comparación de medias ( $\alpha = 0.05$ ). Se definieron cuatro grupos de significancia, las dosis de 120 y 100 kg de nitrógeno por hectárea presentaron la mayor altura de plantas, siendo estadísticamente iguales entre sí, pero diferentes a los demás tratamientos. En este mismo Cuadro se puede observar que las menores alturas correspondieron a los tratamientos de 60, 40 y 0 kg de nitrógeno por hectárea, tratamientos que fueron estadísticamente iguales.

Los resultados de altura de planta concuerdan con la literatura, en la cual se encontró que a mayores dosis de nitrógeno se provoca un mayor desarrollo vegetativo; esto se explica debido a que el nitrógeno junto con el magnesio son constituyentes de la clorofila, la cual utiliza la energía luminosa del sol para sintetizar carbohidratos y al haber una mayor cantidad de nitrógeno en la planta, la cantidad de clorofila también es mayor, provocando con esto una mayor producción de carbohidratos que se traduce en un mayor desarrollo vegetativo y en la presencia de un follaje exuberante (1,38).

En la Figura 1 se presentan graficadas las alturas correspondientes a este experimento y se puede apreciar, que cualquier tratamiento aumenta la altura de planta en comparación con el tratamiento testigo, corroborándose de esta forma que el nitrógeno estimula el crecimiento vegetativo, además de la baja disponibilidad de este nutrimento para las plantas a través de su ciclo productivo por parte del suelo.

Cuadro 11.- Análisis de varianza para la variable altura de planta en el estudio de la dosis óptima y eficiencia de la fertilización nitrogenada en avena forrajera en el ciclo 0-I (1985-1986) en la F.E.S.-C.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	P.R.	F
Tratamientos	5	1108.84	221.76	26.65	0.0001	++
Bloques	3	58.35	19.45	2.33	0.1149	N.S.
Error	15	124.82	8.32			
Total	23	1292.02				

C.V. = 3.04 %

Cuadro 12.- Comparación de medias para la variable altura de planta (tukey, 5%) en el estudio de la dosis óptima y eficiencia de la fertilización nitrogenada en avena forrajera en el ciclo 0-I (1985-1986) en la F.E.S.-C.

NIVELES DE NITROGENO	MEDIAS	
120	105.95	A
100	100.25	A B
80	95.32	B C
60	92.15	C D
40	89.25	C D
00	85.57	D

Nota.- Las medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

En el Cuadro 23 se puede observar que la altura de planta se correlacionó positivamente y con una alta significancia con la anchura ( $r=0.78$ ) y la longitud de hoja ( $r=0.87$ ), el porcentaje de nitrógeno en la planta ( $r=0.72$ ) y el rendimiento en materia verde ( $r=0.64$ ), también se correlacionó positivamente ( $r=0.30$ ), pero sin significancia con el rendimiento en materia seca; estas correlaciones indican que cuando aumenta la altura de la planta ocasiona incrementos en la anchura y la longitud de la hoja, el porcentaje de nitrógeno en la planta y el rendimiento en materia verde, lo que debe considerarse como lógico porque el nitrógeno estimula el crecimiento vegetativo (altura de planta, longitud y anchura de hoja) y aumenta el contenido de proteínas, además de que la altura es una componente fundamental en el rendimiento del cultivo porque eleva la cantidad de material vegetal presente así como el peso seco de las plantas (5,38).

Con relación al coeficiente de variación (C.V.), que presentó un valor de 3.04%, se considera aceptable, siendo confiable la información que se obtuvo.

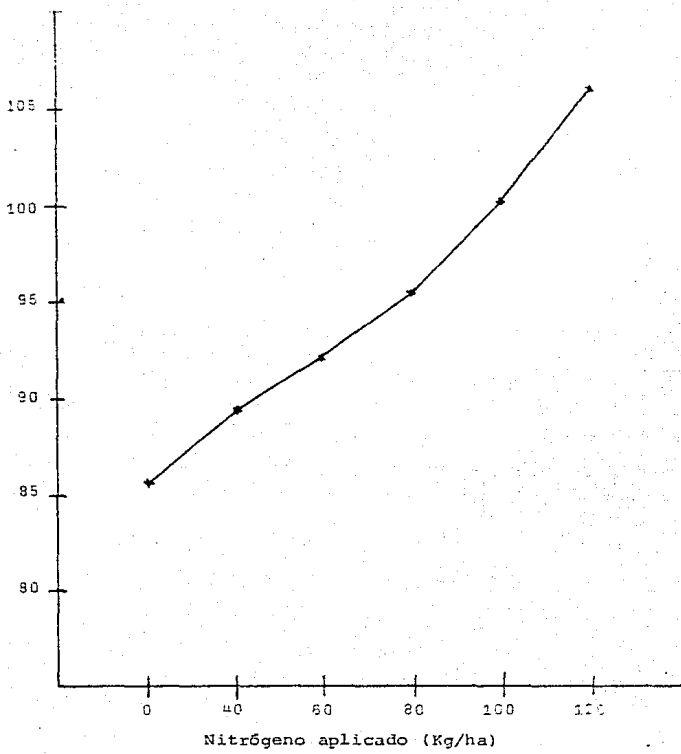


Figura 1.- Altura de planta de avena forrajera c.v. -- Chihuahua bajo diferentes niveles de fertilización nitrogenada y condiciones de riego en el Ciclo 0-I (1985-1986) en la F.E.S.-C.



#### 5.4. Anchura de hoja.

En lo que se refiere a la anchura de hoja, en los Cuadros 13 y 14 se puede observar que se presentó una diferencia significativa entre tratamientos, no siendo así entre bloques. La mayor anchura de hojas correspondió al tratamiento de 120 kg de nitrógeno por hectárea, el cual resultó estadísticamente igual a los tratamientos de 100,80 y 60 kg; la menor anchura de hoja se obtuvo en los tratamientos de 40 kg de nitrógeno por hectárea y el testigo, que fueron estadísticamente diferentes al tratamiento de 120 kg. Estos resultados se explican debido a que la aplicación de fertilizantes nitrogenados incrementa el área foliar de las plantas (17).

El C.V. de esta variable aparece en el Cuadro 13 y se puede observar que fue bajo (6.17%), por lo que se puede decir que no se presentó mucha variación en los datos de anchura de hoja.

Según lo observado en el Cuadro 23, la anchura de hoja se correlacionó en forma positiva y con alta significancia con la longitud de hoja ( $r=0.88$ ) y la altura de planta ( $r=0.78$ ); positivamente y sin significancia con el porcentaje de nitrógeno en la planta ( $r=0.48$ ) y con el rendimiento en materia verde ( $r=0.37$ ), siendo su correlación negativa y sin significancia con el rendimiento en materia seca ( $r=-0.02$ ); en esta correlación negativa se explica debido a que la elevada densidad de siembra utilizada en el experimento provoca un alto rendimiento, a la vez que una menor anchura de hoja por la competencia intraespecífica que se estableció entre las plantas de avena (46).

Cuadro 13.- Análisis de varianza para la variable anchura de hoja en el estudio de la dosis óptima y eficiencia de la fertilización nitrogenada en avena forrajera en el Ciclo 0-I (1985-1986) en la F.E.S.-C.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	P.R.	F
Tratamientos	5	0.3376	0.6075	5.22	0.0056	+
Bloques	3	0.1525	0.0508	3.93	0.0297	N.S.
Error	15	0.1939	0.129			
Total	23	0.6841				

C.V. = 6.17 %

Cuadro 14.- Comparación de medias para la variable anchura de hoja (Tukey, 5%) en el estudio de la dosis óptima y eficiencia de la fertilización nitrogenada en avena forrajera en el Ciclo 0-I (1985-1986) en la F.E.S.-C.

NIVELES DE NITROGENO	MEDIAS	
120	2.03	A
100	1.92	A B
60	1.88	A B
80	1.79	A B
40	1.75	B
00	1.67	B

Nota.- Las medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

### 5.5. Longitud de hoja.

Como se puede observar en los Cuadros 15 y 16, los resultados de longitud de hoja fueron similares a los correspondientes a la anchura de hoja. Existió alta diferencia significativa entre tratamientos. La mayor longitud de hoja se alcanzó con el tratamiento de 120 kg de nitrógeno por hectárea, que resultó estadísticamente similar a los tratamientos de 100, 80 y 60 kg, presentándose la menor longitud de hoja en el tratamiento testigo, que resultó estadísticamente igual a los tratamientos de 80, 60 y 40 kg de nitrógeno por hectárea.

El C.V. de la longitud de hoja presentó valores semejantes a los de anchura de hoja, por lo que se puede concluir lo mismo que para esta variable y que es que no existió mucha variación en las observaciones realizadas.

En cuanto a las correlaciones de esta variable, se puede observar en el Cuadro 23 que la longitud de hoja se correlacionó positivamente y con significancia con el porcentaje de nitrógeno en la planta ( $r=0.54$ ); con el rendimiento en materia verde ( $r=0.44$ ) y el rendimiento en materia seca ( $r=0.65$ ) se correlacionó en forma positiva, pero sin significancia; finalmente, obtuvo los valores de correlación más altos, además de altamente significativos con la altura de planta ( $r=0.87$ ) y la anchura de hoja ( $r=0.88$ ).

Cuadro 15.- Análisis de varianza para la variable longitud de hoja en el estudio de la dosis óptima y eficiencia de la fertilización nitrogenada en avena forrajera en el Ciclo 0-I (1985-1986) en la F.E.S.-C.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	P.R.	F
Tratamientos	5	98.977	19.795	6.788	0.0017	+
Bloques	3	25.011	8.337	2.859	0.0721	N.S.
Error	15	43.741	2.916			
Total	23	167.729				

C.V. = 6.06 %

Cuadro 16.- Comparación de medias para la variable longitud de hoja (tukey, 5%) en el estudio de la dosis óptima y eficiencia de la fertilización nitrogenada en avena forrajera en el Ciclo 0-I (1985-1986) en la F.E.S.-C.

NIVELES DE NITRÓGENO	MEDIAS	
120	31.475	A
100	29.500	A B
80	27.975	A B C
60	27.850	A B C
40	27.425	B C
00	24.800	C

Nota.- Las medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

#### 5.6. Rendimiento de materia verde.

En el Cuadro 17 se presenta el análisis de varianza para el rendimiento en materia verde, en el cual se encontró - que existe una alta significancia para tratamientos y bloques. La significancia observada para los tratamientos de fertilización aplicados se corrobora con la prueba de Tukey- (Cuadro 18), en la que se puede deducir que los mayores rendimientos fueron obtenidos con el tratamiento de 100 kg de nitrógeno por hectárea, que fue estadísticamente igual al -- tratamiento de 120 kg. Según esta misma prueba, se aprecia que los tratamientos de 120,80 y 60 kg. de nitrógeno por hectárea son estadísticamente semejantes, al igual que los tratamientos de 80,60 y 40 kg de nitrógeno por hectárea, presentándose los menores rendimientos de materia verde en el tratamiento testigo, que resultó estadísticamente igual al tratamiento de 40 kg de nitrógeno por hectárea.

Por otra parte, en el Cuadro 17 también aparece el C.V., que resultó ser bajo (2.78%), lo cual nos indica que se tuvo una buena conducción del experimento.

En la Figura 2 se encuentran graficados los rendimientos de materia verde; se puede apreciar una clara tendencia al incremento de los rendimientos de materia verde conforme el nivel de fertilización se elevó, tendencia que se cumple hasta el nivel de 100 kg de nitrógeno por hectárea y a partir del cual se observa una disminución en el rendimiento.

El hecho de que la media del tratamiento de 100 kg de nitrógeno por hectárea superara a la del tratamiento de 120 kg se puede explicar porque a pesar de que este tratamiento-

Cuadro 17.- Análisis de varianza para la variable rendimiento en materia verde en el estudio de la dosis óptima y eficiencia de la fertilización nitrogenada en avena forrajera en el Ciclo 0-I (1985-1986) en la F.E.S.-C.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	P.R.	F
Tratamientos	5	135.4189	27.0837	23.15	0.0001	++
Bloques	3	22.0519	7.3506	6.28	0.0056	+
Error	15	17.5438	1.1695			
Total	23	175.0147				

C.V. = 2.78 %

Cuadro 18.- Comparación de medias para la variable rendimiento en materia verde (tukey, 5%) en el estudio de la dosis óptima y eficiencia de la fertilización nitrogenada en avena forrajera en el Ciclo 0-I (1985-1986) en la F.E.S.-C.

NIVELES DE NITROGENO	MEDIAS	
100	42.527	A
120	40.480	A B
80	39.575	B C
60	38.140	B C
40	37.340	C D
00	35.060	D

Nota.- Las medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

presentó mayor altura de planta, longitud y ancho de hoja, - resultó estadísticamente igual en estas variables al tratamiento de 100 kg de nitrógeno por hectárea, además de que -- fue el tratamiento más afectado por el acame de plantas, disminuyendo por esta razón su rendimiento. El acame de plantas afectó más a este tratamiento porque el exceso de nitrógeno provoca probablemente una reducción en el crecimiento de la raíz, lo cual ocasiona un aumento en la relación ápice-raíz y en consecuencia un mayor acame de plantas según lo observado por varios investigadores (1,38,39).

Los resultados de este experimento fueron similares a los obtenidos por Clerici (9), el cual reportó que se presentaron incrementos negativos para la avena c.v. Compuesto-2 en dosis superiores a los 120 kg de nitrógeno por hectárea y que el menor rendimiento se presentó en la dosis de 160 kg de nitrógeno, debido al acame y a la mayor incidencia del -- chahuixtle de la hoja y del tallo.

En el Cuadro 18 se puede observar que los rendimientos de avena forrajera en materia verde, incluyendo al testigo, fueron mayores al promedio de la región. Estos altos rendimientos se explican por el hecho de que el sitio experimental recibió aplicaciones de estiércol en años anteriores, -- que aumentaron el porcentaje de materia orgánica en el suelo y le confirieron al mismo, nitrógeno disponible, al igual -- que otros nutrientes importantes para la planta, características de alta fertilidad. Esta situación es avalada por los resultados del análisis de suelos realizado a las muestras obtenidas del sitio del experimento (Cuadro 10), además de -

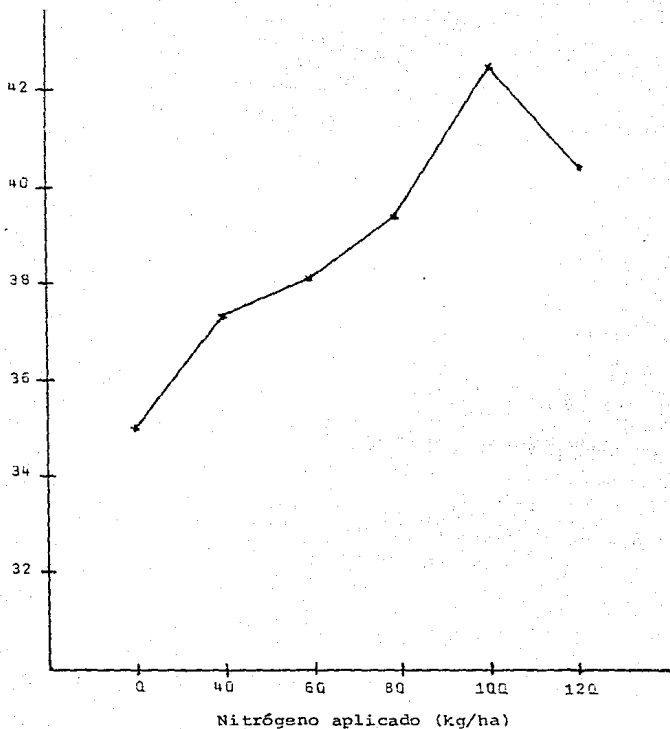


Figura 2.- Rendimiento de materia verde de avena forra  
jera c.v. Chihuahua bajo diferentes nive--  
les de fertilización nitrogenada y condicio  
nes de riego en el Ciclo 0-I (1985-1986) en  
la F.E.S.-C.



los análisis realizados por De la Teja (21), Cázarez (8) y López (28).

Otra cuestión importante es el señalar que se se le -- aplicaron 5 riegos a todos los tratamientos del experimento lo cual pudiera haber influenciado también los incrementos en rendimiento, además, del hecho de que en el cultivo no se presentaron problemas de maleza, plagas y enfermedades-- que ocasionan disminuciones en rendimiento.

Se puede observar en el Cuadro 23, que el rendimiento en materia verde está correlacionado positiva y con una alta significancia con el rendimiento de materia seca ( $r=0.82$ ), altura de planta ( $r=0.64$ ) y porcentaje de nitrógeno en la planta ( $r=0.90$ ), además, se correlacionó positivamente pero sin significancia con la longitud de la hoja ( $r=0.44$ ) y la anchura de la misma ( $r=0.37$ ). Estas correlaciones significan que a medida que aumenta el rendimiento en materia verde aumenta el rendimiento en materia seca, el porcentaje de nitrógeno en la planta, la altura de planta, la longitud y el ancho de hoja; estos resultados son lógicos debido a que los altos rendimientos de materia verde se explican por la presencia de tallos gruesos, de notable altura y buen vigor, hojas medianas y largas, dando como consecuencia un aumento en el área foliar (46).

#### 5.7 Rendimiento de materia seca.

En el Cuadro 19 se presenta el análisis de varianza de materia seca; en el que se puede observar que existió una alta diferencia significativa para tratamientos y bloques, En el cuadro 20 se presenta la prueba de Tukey, en la cual-

Cuadro 19.- Análisis de varianza para la variable rendimiento en materia seca en el estudio de la dosis óptima y eficiencia de la fertilización nitrogenada en avena forrajera en el Ciclo 0-I (1985-1986) en la F.E.S.-C.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	P.R.	F
Tratamientos	5	3.37	0.675	12.21	0.0001	++
Bloques	3	3.62	1.209	21.84	0.0001	++
Error	15	0.83	0.055			
Total	23	7.83				

C.V. = 2.30 %

Cuadro 20.- Comparación de medias para la variable rendimiento en materia seca (tukey, 5%) en el estudio de la dosis óptima y eficiencia de la fertilización nitrogenada en avena forrajera en el ciclo 0-I (1985-1986) en la F.E.S.-C.

NIVELES DE NITROGENO	MEDIAS	
100	10.907	A
80	10.322	B
120	10.235	B
60	10.110	B C
40	10.015	B C
00	9.665	C

Nota.- Las medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

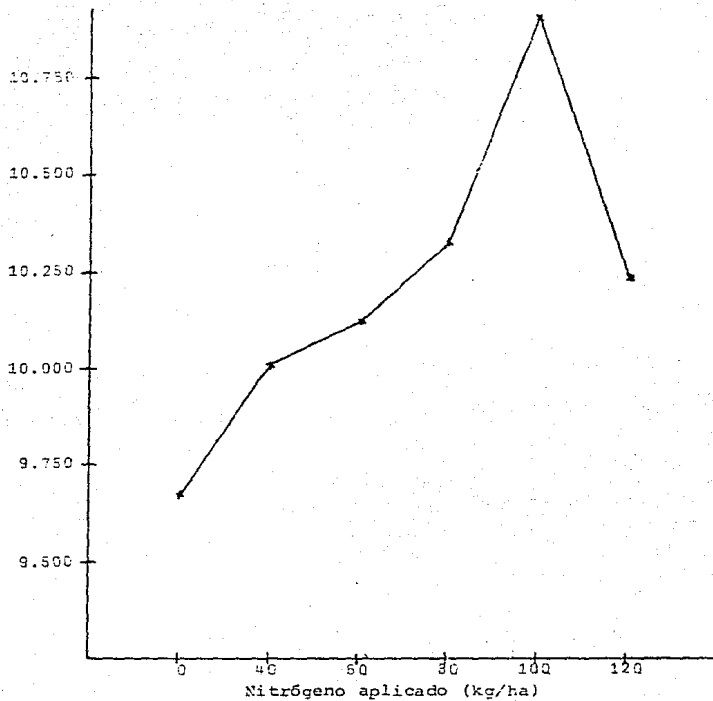


Figura 3.- Rendimiento de materia seca de avena forrajera c.v. Chihuahua bajo diferentes niveles de fertilización nitrogenada y condiciones de riego en el Ciclo 0-I (1985-1986) en la F.E.S.-C.

se puede deducir que los mayores rendimientos de materia seca fueron obtenidos con el tratamiento de 100 kg de nitrógeno por hectárea, que fue superior y estadísticamente diferente al tratamiento de 80 kg, el cual resultó superior en su media, aunque estadísticamente igual a los tratamientos de 120,60 y 40 kg de nitrógeno por hectárea. El tratamiento con menor rendimiento de materia seca resultó ser el testigo, el cual fue estadísticamente similar a los tratamientos de 40 y 60 kg de nitrógeno por hectárea.

Con respecto al C.V. se puede concluir que no existió mucha variabilidad en cuanto al manejo de la información correspondiente a esta variable.

En la figura 3 se puede observar que la gráfica resultante, es similar a la número 2 e indica que la respuesta en rendimiento está relacionada casi linealmente a la cantidad de nitrógeno aplicado, hasta los 100 kg de nitrógeno por hectárea, valor a partir del cual, al incrementarse la cantidad de nitrógeno aplicado empiezan a declinar los rendimientos.

La superioridad en rendimiento de los tratamientos de 100 y 80 kg de nitrógeno por hectárea en relación con el tratamiento de 120 kg de nitrógeno por hectárea es debido a que al aumentar la dosis de nitrógeno, se aumenta la succulencia de las plantas y al momento de convertir la materia verde del tratamiento de 120 kg a materia seca perdió una gran cantidad de agua presente en sus tejidos, que disminuyó en gran proporción su rendimiento en materia seca, es decir que existe coincidencia entre el rendimiento de materia verde y materia seca (4,5).

En lo que respecta a las correlaciones de esta variable estas aparecen en el Cuadro 23, en donde se puede observar - que el rendimiento de materia seca se correlacionó positivamente y con una alta significancia con el porcentaje de nitrógeno en la planta ( $r=0.68$ ), y con el rendimiento en materia verde ( $r=0.82$ ); con la altura de planta ( $r=0.30$ ) y la longitud de la hoja ( $r=0.065$ ) se correlacionó positivamente pero sin significancia, mientras que con la anchura de hoja ( $r=0.022$ ) se correlacionó negativamente, pero sin significancia.

#### 5.8. Porcentaje de nitrógeno en la planta.

Para el porcentaje de nitrógeno total en la planta se - encontró una diferencia altamente significativa, tanto para tratamientos como para bloques, situación que se puede observar en el Cuadro 21. En los resultados de la prueba de Tukey (Cuadro 22) se deduce que el mayor porcentaje de nitrógeno total se obtuvo en el tratamiento de 100 kg de nitrógeno por hectárea, que resultó superior y estadísticamente diferente al tratamiento de 120 kg; a éste tratamiento le siguió en porcentaje de nitrógeno total el tratamiento de 80 kg de nitrógeno por hectárea, que resultó estadísticamente similar al tratamiento de 60 kg. El tratamiento que obtuvo el menor porcentaje de nitrógeno total fue el testigo, que resultó ser estadísticamente igual al tratamiento de 40 kg de nitrógeno por hectárea.

El C.V. de este parámetro resultó ser el más bajo del - experimento, por lo que se puede decir que presentó la menor

Cuadro 21.- Análisis de varianza para la variable porcentaje de nitrógeno total en el estudio de la dosis óptima y eficiencia de la fertilización nitrogenada en avena forrajera en el Ciclo 0-I (1985-1986) en la F.E.S.-C.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	P.R.	F
Tratamientos	5	0.799	0.159	126.02	0.0001	++
Bloques	3	0.038	0.012	9.99	0.0007	++
Error	15	0.019	0.001			
Total	23	0.857				

C.V. = 2.26 %

Cuadro 22.- Comparación de medias para la variable porcentaje de nitrógeno total (tukey, 5%) en el estudio de la dosis óptima y eficiencia de la fertilización nitrogenada en avena forrajera en el Ciclo 0-I (1985-1986) en la F.E.S.-C.

NIVELES DE NITROGENO	MEDIAS	
100	1.8942	A
120	1.6997	B
80	1.5697	C
60	1.5017	C
40	1.4137	D
00	1.3487	D

Nota.- Las medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

variabilidad entre los parámetros estudiados.

Los mayores porcentajes de nitrógeno en la planta, en los tratamientos de 100 y 120 kg de nitrógeno por hectárea se deben probablemente a la mayor aplicación de nitrógeno, además de que estos dos tratamientos al momento de la cosecha todavía no se encontraban al 50% del estado lechoso macoso del grano, por lo cual su contenido de nitrógeno y consecuentemente de proteínas era mayor. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Noller, citado por Elizondo (16), el cual encontró que a medida que se atrasa la época de cosecha, disminuye el porcentaje de proteína, afectando la calidad del forraje.

La discusión sobre la influencia que tienen las aplicaciones de nitrógeno al suelo en el porcentaje de nitrógeno total que absorbió la planta se refleja mejor en la Figura 4 en donde se presenta la información en forma gráfica. En ella puede observarse que las líneas tienden hacia la verticalidad hasta el nivel de 100 kg de nitrógeno por hectárea, nivel después del cual el porcentaje de nitrógeno en la planta disminuye, resultados que coinciden con lo que varios autores han enunciado (1,4,5,38,51) y es que el exceso de nitrógeno en el suelo puede provocar desbalances nutrimentales, que afecten la absorción de otros elementos como el fósforo, el potasio y el azufre, que pudieran provocar disminuciones en el porcentaje de nitrógeno en la planta.

La superioridad en porcentaje de nitrógeno del tratamiento de 100 kg con respecto al tratamiento de 120 kg se pudo deber al antagonismo que existe entre el nitrógeno y el -.

azufre, razón por la cual el exceso de nitrógeno pudiera haber limitado la absorción de azufre por la planta. La absorción de azufre es importante para el porcentaje de nitrógeno total en la planta dado que el primero es componente de tres aminoácidos (cisteína, cistina y metionina) que son parte esencial de las proteínas (5).

Otra explicación de este resultado es que un abonado nitrógeno excesivo provoca una baja en el contenido de carbohidratos de la planta y a causa de esta carencia no puede transformarse el nitrógeno en aminoácidos y proteínas, pudiendo incluso provocar intoxicaciones amoniacales (1,51). Debido a lo anterior se explican los resultados obtenidos, que fueron similares a los encontrados por Clerici (9), con la avena c.v. Compuesto-2 en la cual los mayores porcentajes de proteína cruda y por lo tanto de nitrógeno, los obtuvo en el nivel de 120 kg de nitrógeno por hectárea, disminuyendo éste porcentaje con los niveles de 160 y 200 kg de nitrógeno respectivamente.

Como se puede observar en el Cuadro 23, el porcentaje de nitrógeno en la planta fue la característica que se correlacionó en mayor grado y positivamente con todas las demás características estudiadas, con significancia para anchura de hoja ( $r=0.48$ ) y con alta significancia para rendimiento en materia verde ( $r=0.90$ ); rendimiento en materia seca ( $r=0.68$ ), altura de planta ( $r=0.72$ ) y longitud de hoja ( $r=0.54$ ).

El coeficiente de correlación más elevado que se encontró fue para porcentaje de nitrógeno en la planta y rendimiento



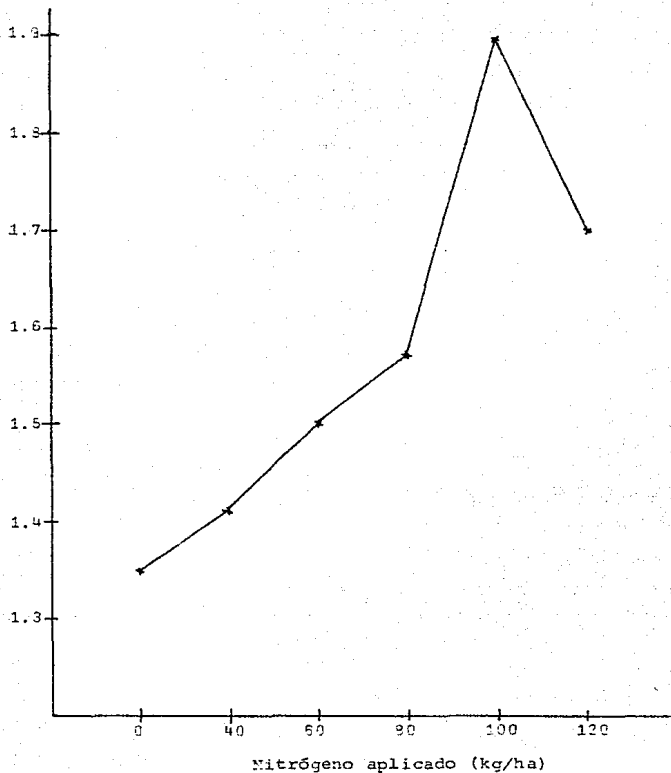


Figura 4.- Porcentaje de nitrógeno en la planta de ave  
na forrajera c.v. Chihuahua bajo diferentes  
niveles de fertilización nitrogenada y con-  
diciones de riego en el Ciclo 0-I (1985-1986)  
en la F.E.S.-C.

Cuadro 23.- Coeficiente de correlación para las variables estudiadas.

	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6
Y1	1.00000	0.82271++	0.64722++	0.37669	0.44544	0.90310++
	0.0000	0.0001	0.0006	0.0696	0.0292	0.0001
Y2		1.00000	0.30728	-0.02236	0.06571	0.68301++
		0.0000	0.1441	0.9174	0.7603	0.0002
Y3			1.00000	0.78461++	0.87228++	0.72020++
			0.0000	0.0001	0.0001	0.0001
Y4				1.00000	0.88565++	0.48664+
				0.0000	0.0001	0.0159
Y5					1.00000	0.54632+
					0.0000	0.0058
Y6						1.00000
						0.0000

Nomenclatura de las variables estudiadas:

Y1 = Rendimiento en materia verde.

Y2 = Rendimiento en materia seca.

Y3 = Altura de planta.

Y4 = Ancho de hoja.

Y5 = Longitud de hoja.

Y6 = Porcentaje de nitrógeno en la planta.

to en materia verde ( $r=0.90$ ) y una significancia del 0.01. - Esta correlación se explica porque en los forrajes el nitrógeno estimula el crecimiento vegetativo y hace aumentar el contenido de proteínas en la planta (5), además se ha encontrado que existe una relación entre la cantidad de nitrógeno absorbido y las cantidades de clorofila y proteínas producidas (1).

#### 5.9. Eficiencia de la fertilización nitrogenada.

Los resultados en cuanto a la eficiencia de la fertilización nitrogenada para el cultivo de avena forrajera aparecen en el Cuadro 24. En el que se puede observar que el uso más eficiente del nitrógeno aplicado se presentó en la dosis de 100 kg de nitrógeno por hectárea. Este resultado se explica porque este tratamiento fue el que obtuvo un mayor rendimiento en materia seca y contenido de nitrógeno, por lo cual, elevó significativamente el nitrógeno extraído por el cultivo (Cuadro 9A), traduciéndose esta mayor extracción en un aumento importante de la eficiencia de recuperación del nitrógeno aplicado por parte de la avena (58).

Cuadro 24.- Eficiencia de la fertilización nitrogenada en avena forrajera en el Ciclo 0-I (1985--1986) en la F.E.S.-C.

NIVELES DE NITROGENO (kg/ha)	EFICIENCIA (%)
40	26.78
60	36.86
80	39.46
100	75.58
120	36.22

Se considera que este alto nivel de eficiencia se debió a que se le aplicaron 5 riegos a todo el experimento, lo que propició que se incrementara tanto la mineralización del nitrógeno orgánico presente en el suelo, como la absorción por las plantas del nitrógeno total del suelo (nitrógeno mineralizado + nitrógeno fertilizado) (4,18), situación que redundó en un mayor rendimiento de materia seca, así como un mayor contenido de nitrógeno en la planta y en consecuencia -- una mayor extracción por parte de las plantas.

La influencia que ejerce la humedad del suelo sobre la eficiencia de la fertilización nitrogenada fue estudiada por Killingsbaek y Simmelsgaard y encontraron que la eficiencia varió de 75 a 90% en cereales cultivados bajo condiciones -- adecuadas de humedad, disminuyendo este porcentaje de eficiencia de 30 a 50% bajo condiciones de sequía.

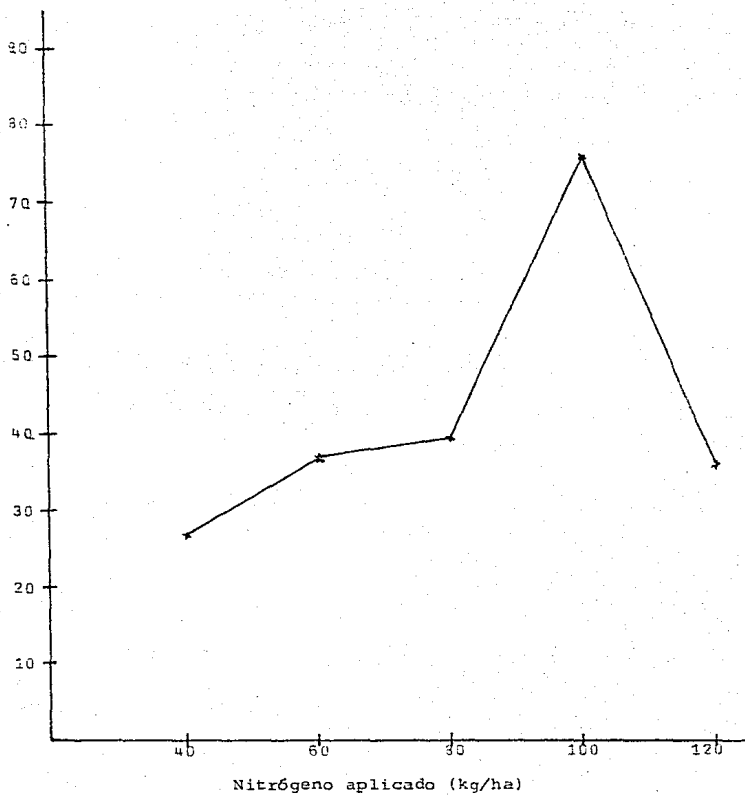


Figura 5.- Eficiencia de la fertilización nitrogenada en avena forrajera c.v. Chihuahua bajo diferentes niveles de aplicación y condiciones de riego en el Ciclo 0-I (1985-1986) - en la F.E.S.-C.

Otra investigación en la que se obtuvieron niveles elevados de eficiencia fue en la realizada por Vidal et al, --- quienes utilizando una dosis de 90 kg de nitrógeno por hectárea en forma de urea, evaluaron el efecto de la nitrapirina sobre la eficiencia de utilización de la urea, encontrando que la nitrapirina aumentó la eficiencia de recuperación del nitrógeno de 37.9 a 74.2%.

En el Cuadro 24 se puede observar otro hecho importante, consistente en que la eficiencia de la fertilización nitrogenada aumenta conforme se eleva el nivel de aplicación del fertilizante, hasta los 100 kg de nitrógeno por hectárea, disminuyendo ésta con el tratamiento de 120 kg siendo esta última menor, que los tratamientos de 80 y 60 kg por hectárea. Este resultado se pudo deber a que el tratamiento de 120 kg de nitrógeno por hectárea fue el más afectado por el acame de plantas, además de que las plantas de este tratamiento presentaron un alto porcentaje de humedad en sus tejidos, lo cual disminuyó en gran proporción su rendimiento en materia seca y consecuentemente en el nitrógeno extraído por el cultivo, reflejándose esta menor extracción en una disminución de la eficiencia de la fertilización nitrogenada.

Otros investigadores que obtuvieron resultados similares fueron Singh y Singh, quienes al estudiar el efecto de diferentes dosis y métodos de aplicación de nitrógeno sobre la eficiencia de la fertilización nitrogenada, encontraron que existió un incremento significativo en este valor al aumentar el nivel de aplicación de nitrógeno, variando de ---

ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA

27.3% a 43.6% y 55.1% de eficiencia nitrogenada para 30, 60 y 90 kg de nitrógeno por hectárea respectivamente.

Tanaka et al al estudiar la eficiencia de la fertilización nitrogenada en varios cultivos, observaron que la eficiencia se presentó en el orden de papa, remolacha > trigo, arroz, maiz > soya y que la eficiencia disminuyó al incrementar la aplicación del fertilizante nitrogenado por encima de 100 kg por hectárea; resultados que también son similares a los obtenidos en la presente investigación.

Otra investigación que coincidió con los resultados antes expuestos fue la realizada por Papanastasis y Alexandris, quienes al experimentar con pastos encontraron, que la mayor cantidad de nitrógeno recuperado (57.5%) se obtuvo con la dosis de 100 kg de nitrógeno por hectárea.

5.10. Análisis económico.

Este tipo de análisis sólo se realizó para el rendimiento en materia seca, por ser ésta la forma más común en que se comercializa la avena forrajera. En el Cuadro 25 se presentan los ingresos netos por tratamiento y se puede observar en función de los datos del experimento que la dosis óptima de fertilización nitrogenada, en la que se obtienen las mayores ganancias es la de 100 kg de nitrógeno por hectárea, dosis en la cual también se obtiene el equilibrio de máxima calidad y rendimiento. Lo anterior indica que la aplicación de una cantidad mayor de 100 kg es incosteable desde el punto de vista económico, ya que después de esta dosis se producen decrementos en el rendimiento y en la calidad del forra-

je debido a que el exceso de nitrógeno provocó el acame de - plantas, mayor succulencia en el tejido de éstas, probables - desbalances nutrimentales y quizas intoxicación amoniacal, -- causas que fueron discutidas anteriormente.

A pesar de que la dosis óptima fue la de 100 kg de ni-- trógeno por hectárea, es importante recalcar el hecho de que los ingresos netos que se obtuvieron en los demás tratamien- tos, incluyendo al testigo, fueron adecuados, ya que dejaron un buen margen de utilidad. Esto se debió a que los rendi-- mientos que se obtuvieron en todos los tratamientos del expe- rimento fueron superiores al rendimiento promedio de la re-- gión, lo que corrobora también el adecuado manejo, utiliza-- ción de semilla mejorada, además del elevado nivel de ferti- lidad original del suelo, producto de la correcta aplicación de nutrimentos y labores culturales que se realizan en la -- F.E.S.-C. U.N.A.M.



Cuadro 25.- Ingresos netos por tratamiento de fertilización nitrogenada en avena forrajera.

NIVELES DE NITROGENO	Y <sub>y</sub>	C.F.	S	C.V.	G
00	313,950	109,709		0	204,241
40	325,000	109,709		2,065	213,226
60	328,250	109,709		3,098	215,443
80	335,400	109,709		4,131	221,560
100	354,250	109,709		5,163	239,378
120	332,150	109,709		6,197	216,244

Y = Rendimiento en materia seca.

y = Costo del forraje empacado.

CF = Costos fijos.

CV = Costos variables.

G = Ingresos netos.

## VI.- CONCLUSIONES

De acuerdo a las condiciones bajo las cuales se realizó la presente investigación y en base a los resultados obtenidos se pueden formular las siguientes conclusiones:

1.- Los rendimientos en materia verde y materia seca presentaron diferencias significativas a causa de las aplicaciones de nitrógeno, entre los tratamientos estudiados.

2.- La mejor respuesta en rendimiento a la fertilización nitrogenada, tanto en forraje verde como en materia seca se obtuvo con la dosis de 100 kg de nitrógeno por hectárea.

3.- La mayor eficiencia de la fertilización nitrogenada se alcanzó con la dosis de 100 kg de nitrógeno por hectárea.

4.- El mayor porcentaje de nitrógeno y de proteína cruda en la planta de avena se obtuvo con la dosis de 100 kg de nitrógeno por hectárea.

5.- Al aumentar la cantidad de nitrógeno aplicado por encima de 100 kg/ha, disminuye el porcentaje de materia seca en la planta.

6.- A partir del nivel de 100 kg de nitrógeno por hectárea se presentan pérdidas en rendimiento por el acame de plantas.

7.- El análisis económico realizado, nos indica que la dosis óptima económica para la producción de materia seca de avena forrajera se encuentra en el nivel de 100 kg de nitrógeno por hectárea.

8.- Los rendimientos obtenidos en los tratamientos estudiados fueron en general mayores al promedio de la zona, - debido probablemente al adecuado manejo del cultivo y al elevado nivel de fertilidad original del suelo.

Las sugerencias en base a los resultados obtenidos son las siguientes:

1.- Es recomendable estudiar las interacciones negativas y desbalances nutrimentales que se pueden presentar debido a un exceso de nitrógeno en el suelo.

2.- Sería conveniente repetir este experimento, tratando de incrementar el número de variables a estudiar tales como: número de riegos, fertilización fosfatada y potásica, - interacciones N-P, N-S, P-S, etc., para integrar toda la información y poder dar recomendaciones con mayor precisión.

3.- Si no es posible realizar ésta segunda etapa de la investigación, sería conveniente continuar con el mismo manejo que se le ha dado al suelo, para evitar que se presenten deficiencias nutrimentales que pudieran disminuir los rendimientos de la avena forrajera y de los demás cultivos que se siembran en la F.E.S.-C. U.N.A.M.

## BIBLIOGRAFIA

- 1.- Baeyens, J. 1970. Nutrición de las plantas de cultivo. Edit. Lemus, Madrid, España.
- 2.- Barocio S., E. 1978. Influencia de la fertilización en la calidad y producción de la avena forrajera. Tesis Profesional. U.A.CH., Chapingo, México.
- 3.- Bartholomew, W. 1972. El nitrógeno del suelo. Boletín técnico No. 6 Departamento de Suelos Universidad de Carolina del Norte. Raleigh, Carolina, E.U.A.
- 4.- Black C., A. 1975. Relaciones suelo-planta. Edit. Hemisferio Sur, Buenos Aires, Argentina.
- 5.- Bonnet, L.J. 1968. La ciencia del suelo. Primera edición. Colegio de Ingenieros, Arquitectos y Agrimensores. San Juan, Puerto Rico.
- 6.- Buckman, H.O. y N.C. Brady. 1977. Naturaleza y propiedades de los suelos. Primera edición. Edit. Montaner y Simon, Barcelona, España.
- 7.- Cajuste, L.J. 1977. Química de suelos con enfoque agrícola. Primera edición. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- 8.- Cázarez G., L.R. 1988. Evaluación del estado nutricional de los alfalfares del Valle de México. Tesis de M.C. Especialista en Edafología. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- 9.- Clerici M., E. 1972. Determinación de la función-producción para forraje en avena. Tesis Profesional. I.T.E.S.M., Monterrey, México.
- 10.- Coffman, A.F. 1961. Oats: an oat improvement. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin, E.U.A.

- 11.- Chapman, S. y L. Carter. 1976. Crop production. Edit. W.H. Freeman y Co. San Francisco, California, E.U.A.
- 12.- De la Teja A.O. 1982. Estudio de las características - edáficas de los suelos de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlan. Mimeo-grafo. Departamento de Ciencias Agrícolas. F.E.S.-C., U.N.A.M. Cuautitlan, México.
- 13.- De la Teja A.O. 1984. Apuntes del curso de Suelos. F.E.S.-C., U.N.A.M. Cuautitlan, México.
- 14.- Díaz del Pino, A. 1953. Cereales de primavera. Primera edición. Edit. Salvat, Barcelona, - España.
- 15.- Domínguez V., A. 1984. Tratado de fertilización. Edit. Mundiprensa, Madrid, España.
- 16.- Elizondo G., F. 1976. Efecto y evaluación económica de la época de cosecha y fertilización nitrogenada en el rendimiento y calidad forrajera de una variedad de avena. Tesis Profesional. I.T.E.S.M. Monterrey, México.
- 17.- Evans, L.T. y I.F. Wardlaw. 1976. Aspectos de la fisiología comparativa del rendimiento de grano en cereales. Adv. in Agr. 28: 301-350. Traducción del M.C. José Luis Arellano V.
- 18.- Foth, O.H. 1985. Fundamentos de la ciencia del suelo. Tercera edición. Edit. C.E.C.S.A., México.
- 19.- Fuller, J.H. y D. Ritchie. 1984. Botánica. Edit. C.E.C.S.A. México.
- 20.- Gill, N.T. y K.C. Vear. 1965. Botánica agrícola. Edit. Acribia, Zaragoza, España.
- 21.- Gross, A. 1981. Abonos. Séptima edición. Edit. Mundiprensa, Madrid, España.

- 22.- Hill, F.A. 1965. Botánica económica. Edit. Omega, Barcelona, España.
- 23.- Hlgreen, L.H. y J.R. Delorit. 1982. Producción agrícola. Edit. C.E.C.S.A., México.
- 24.- INEGI-S.P.P. 1986. Anuario estadístico del Estado de México. Tomo II.
- 25.- Kyllingsbaek, A. y S.E. Simmelsgaard. 1986. Nitrogen use efficiency and loss from sandy soils. Tidsskrift for planteavl, 90, (3), 267-268.
- 26.- Kumar, B.M. y K.N. Singh. 1984. Studies on nitrogen, water regimes an weed control in upland direct seeded rice. II. Nitrogen-its recovery and productive efficiency. Indian Journal of Agronomy, 29, (4), 453-458.
- 27.- Leonard, W. y J. Martin. 1967. Principles of field crop production. Tercera edición. Edit. McMillan Publishing Co. Inc. New-York, E.U.A.
- 28.- López S., R.P. 1986. Evaluación de la fertilidad del suelo mediante la producción de materia seca en ensayos de maceta, en el área agrícola de la F.E.S.-C. Tesis Profesional F.E.S.-C., U.N.A.M. Cuautitlan, México.
- 29.- Márquez C., A. 1985. Efecto de la densidad de siembra sobre el índice de cosecha de diez variedades de avena. Tesis Profesional. F.E.S.-C., U.N.A.M. Cuautitlan, México.
- 30.- Martínez E., A. 1981. Efecto de diferentes niveles de fertilización y densidades de siembra en avena. Tesis Profesional. U.N.A.M. Chapingo, México.
- 31.- Mendizábal, A.F. 1970. Superficie de respuesta de avena a la aplicación de nitrógeno y humedad aprovechable. Tesis M.C. Especialista en Edafología Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.

- 32.- Milthorpe, F.L. y J. Moorby. 1979. An introduction to -  
crop physiology. Segunda edición. ---  
Edit. Cambridge University press. New---  
York, E.U.A.
- 33.- Morfín, L. 1986. Apuntes del curso de bromatología ani-  
mal. F.E.S.-C., U.N.A.M. Cuautitlán, Mé-  
xico.
- 34.- Mgñez E.,R., J. Martínez y R. Pineda. 1982, Respuesta del  
maíz (Zea maiz) en producción de grano, -  
rastrajo, materia seca y absorción de ni-  
trógeno a diferentes niveles, fuentes y -  
oportunidades de aplicación de nitrógeno.  
En R.E. Mgñez y J. Martínez (Ed.). Sim-  
posio Internacional: Modelos de simula-  
ción aplicados a la dinámica del nitróge-  
no en el suelo. Colegio de Postgradua--  
dos. Chapingo, México.
- 35.- Ortíz V., B. y C.S. Ortíz. 1980. Edafología. Tercera -  
edición. Edit. U.A.CH. Chapingo, México.
- 36.- Papanastasis, B. y S. Alexandris. 1974. Efficiency of -  
nitrogen fertilization in the foothill -  
ranges of northern Greece. Deltion Ereu-  
non, Kentron Dasikon Ereunon Boreiou ---  
Ellados, No. 68.
- 37.- Parsons, D. 1984. Trigo, cebada y avena. Edit. S.E.P.---  
Trillas. México.
- 38.- Patterson, J. 1965. Fertilizantes agrícolas. Edit. ---  
Acribia, Zaragoza, España.
- 39.- Perdomo, R. y H. E. Hampton. 1970. Ciencia y tecnología  
del suelo. Primera edición. Edit. Uni-  
versidad San Carlos, Guatemala, Guatemala.
- 40.- Poehلمان L., J. 1981. Mejoramiento genético de las cose-  
chas. Edit. Trillas, México.
- 41.- Reeves, D.L. y S.H. Sraon. 1976. How an oat plant deve-  
lops. Bolletín 645 Agricultural experi-  
men station. South Dakota State Univer-  
sity. Dakota del Sur, E.U.A.

- 42.- Reyes C., P. 1978. Diseño de experimentos agrícolas. Primera edición. Edit. Trillas, México.
- 43.- Reyna T., T. 1978. Características climático-frutícolas en Cuautitlán, Estado de México. Boletín Instituto de Geografía. Vol. 8. U.N.A.M., México.
- 44.- Robles S., R. y C.H. Merlo. 1978. Cultivo de la avena. En R.S. Robles (Ed.). Producción de granos y forrajes. Segunda edición. Edit. LIMUSA, México.
- 45.- Rusell, J. y W. Rusell. 1968. Las condiciones del suelo y el crecimiento de las plantas. Cuarta edición. Madrid, España.
- 46.- Sánchez B., G. 1988. Estudio de densidades y variedades de avena forrajera en Juchitepec, México. Tesis Profesional. F.E.S.-C. U.N.A.M. - Cuautitlán, México.
- 47.- Sánchez S., O. 1980. La flora del Valle de México. Sexta edición. Edit. Herrero, México.
- 48.- SARH-DGEA. 1981. Anuario de la producción agrícola nacional, México.
- 49.- SARH-INIA. 1981. Guía para la asistencia técnica agrícola del Valle de México.
- 50.- SARH-INIA. 1982. Guía para cultivar avena forrajera en el Valle de México.
- 51.- Sharrer, K. 1960. Química agrícola. Primera edición. - Edit. UTEHA, México.
- 52.- Shery, W.R. 1972. Plants for man. Segunda edición. -- Edit. Prentice Hall. Englewood Cliffs, New Jersey. E.U.A.
- 53.- Singh, U.N. y R.A. Singh. 1979. Effect of nitrogen on - the yield of rainfed oat and its nitrogen uptake and moisture use. Indian Journal of Agricultural Science, 49, (12), - 945-949.



- 54.- S.M.N. 1987. Archivo de datos climáticos para la estación de San Martín Obispo, Cuautitlán - Izcalli. Período de diciembre de 1985-a abril de 1986.
- 55.- Tanaka, A., J. Yamaguchi, S. Miura y H. Tamaru. 1984. Comparison of fertilizer nitrogen efficiency among field crops. Soil Science and Plant Nutrition, 30, (2), 199-208.
- 56.- Thompson, L. y F. Troeh. 1980. Los suelos y su fertilidad. Cuarta edición. Edit. Reverte.- Barcelona, España.
- 57.- Torres R., E. 1984. Agrometeorología. 1a. edición. -- Edit. DIANA, México.
- 58.- Vidal, I., A. Herrera, M. Geldres y L. Longeri. 1985. Efecto de la nitrapirina en la eficiencia de utilización de la urea y rendimiento de la avena. Anales de edafología y agrrobiología, 44, (9/10) 1433-1938.
- 59.- Vilmorin D., F. 1986. Fertilidad del suelo. En agrosíntesis, 17, (3), 38-47.
- 60.- Wilsie P., C. 1966. Cultivos: Aclimatación y distribución. Edit. Acribia, Zaragoza, España.

A P E N D I C E

Cuadro 1A.- Altura de planta de avena forrajera c.v. Chihuahua bajo diferentes niveles de fertilización nitrogenada y condiciones de riego en el ciclo 0-I 1985-1986 en la F.E.S.-C. U.N.A.M.

TRATAMIENTOS	I	II	BLOQUES		SUMAS
			III	IV	
			Cm		
00	83.3	81.7	85.3	92.0	352.3
40	94.1	85.3	87.4	90.2	357.0
60	89.6	91.4	90.3	97.3	368.6
80	95.2	91.9	97.1	97.1	381.3
100	98.4	100.5	99.1	105.0	401.0
120	108.0	106.8	105.4	103.6	423.8
	568.6	557.6	564.6	583.2	2274.0

Cuadro 2A.- Anchura de hoja de avena forrajera c.v. Chihuahua bajo diferentes niveles de fertilización nitrogenada y condiciones de riego en el Ciclo 0-I 1985-1986 en la F.E.S.-C.

TRATAMIENTOS	I	II	BLOQUES		SUMAS
			III	IV	
00	1.61	1.42	1.71	1.95	6.69
40	1.86	1.53	1.70	1.91	7.00
60	1.87	1.80	2.01	1.84	7.52
80	1.78	1.65	1.80	1.94	7.17
100	1.84	1.98	1.94	1.92	7.68
120	2.16	1.90	2.05	2.03	8.14
	11.12	10.28	11.21	11.59	44.20

Cuadro 3A.- Longitud de hoja de avena forrajera c.v. - Chihuahua bajo diferentes niveles de fertilización nitrogenada y condiciones de riego en el ciclo 0-I 1985-1986 en la F.E.S.-C. Cuautitlán, U.N.A.M.

TRATAMIENTOS	BLOQUES				SUMAS
	I	II	III	IV	
	cm				
00	23.2	22.9	23.7	29.4	99.20
40	29.5	24.8	26.3	29.1	109.70
60	26.7	25.5	29.9	29.3	111.40
80	26.8	26.2	30.2	28.7	111.90
100	29.3	29.6	30.0	29.1	113.00
120	32.4	30.9	31.5	31.1	125.90
	167.9	159.9	171.6	176.7	676.10

Cuadro 4A.- Rendimiento de materia verde de avena forrajera c.v. Chihuahua bajo diferentes niveles de fertilización nitrogenada y condiciones de riego en el Ciclo 0-I 1985-1986 en la F.E.S.-C. U.N.A.M.

TRATAMIENTOS	BLOQUES				SUMAS
	I	II	III	IV	
	ton/ha				
00	34.00	34.68	37.81	33.75	140.24
40	38.75	38.12	38.43	34.06	149.36
60	37.91	39.50	39.00	36.25	152.56
80	40.62	40.50	39.68	37.50	158.30
100	42.18	42.81	43.12	42.00	170.11
120	39.68	40.93	41.00	40.31	161.92
	233.04	236.54	239.04	223.87	932.49

Cuadro 5A.- Porcentaje de materia seca en la planta de avena c.v. Chihuahua bajo diferentes niveles de fertilización nitrogenada y condiciones de riego en el ciclo 0-I 1985-1986 en la F.E.S.-C. U.N.A.M.

TRATAMIENTOS	BLOQUES				SUMAS
	I	II	III	IV	
00	28.12	28.38	26.51	27.40	110.41
40	26.29	27.90	26.13	27.04	107.36
60	25.96	27.52	25.94	26.48	105.90
80	25.32	27.35	25.77	25.94	104.38
100	25.05	26.82	25.20	25.56	102.63
120	24.86	26.68	24.98	24.63	101.15
	155.60	164.65	154.53	157.05	631.83

Cuadro 6A.- Rendimiento en materia seca de avena c.v.- Chihuahua bajo diferentes niveles de fertilización nitrogenada y condiciones de riego en el ciclo 0-I 1985-1986 en la F.E.S.-C. Cuautitlán U.N.A.M.

TRATAMIENTOS	BLOQUES				SUMAS
	I	II	III	IV	
	ton/ha				
00	9.56	9.84	10.02	9.24	38.66
40	10.18	10.63	10.04	9.21	40.06
60	9.81	10.87	10.16	9.60	40.44
80	10.28	11.07	10.22	9.72	41.29
100	10.56	11.48	10.86	10.73	43.63
120	9.86	10.92	10.24	9.92	40.94
	60.25	64.81	61.54	58.42	645.02

Cuadro 7A.- Porcentaje de nitrógeno en la planta de --  
 avena c.v. Chihuahua bajo diferentes nive-  
 les de fertilización nitrogenada y condi-  
 ciones de riego en el ciclo 0-I 1985-1986  
 en la F.E.S.-C. U.N.A.M.

TRATAMIENTOS	BLOQUES				SUMAS
	I	II	III	IV	
00	1.28	1.37	1.44	1.29	5.38
40	1.38	1.41	1.47	1.37	5.63
60	1.46	1.55	1.58	1.41	6.00
80	1.54	1.57	1.60	1.55	6.26
100	1.94	1.87	1.90	1.84	7.55
120	1.69	1.71	1.75	1.63	6.78
	9.29	9.48	9.74	9.09	37.60

Cuadro 8A.- Porcentaje de proteína cruda en la planta-  
 de avena c.v. Chihuahua bajo diferentes ni-  
 veles de fertilización nitrogenada y condi-  
 ciones de riego en el ciclo 0-I 1985-1986  
 en la F.E.S.-C. U.N.A.M.

TRATAMIENTOS	BLOQUES				SUMAS
	I	II	III	IV	
00	8.00	8.59	9.05	8.06	33.70
40	8.67	8.83	9.21	8.61	35.32
60	9.12	9.70	9.87	8.84	37.53
80	9.65	9.85	10.04	9.68	39.22
100	12.17	11.73	11.89	11.55	47.34
120	10.60	10.70	10.95	10.23	42.48
	58.21	59.40	61.01	56.97	235.59

Cuadro 9A.- Kilogramos de nitrógeno extraído del suelo por la planta de avena c.v. Chihuahua bajo diferentes niveles de fertilización nitrogenada y condiciones de riego en el ciclo 0-I 1985-1986 en la F.E.S.-C. U.N.A.M.

TRATAMIENTOS	BLOQUES				SUMAS
	I	II	III	IV	
	kg				
00	122.36	135.30	145.18	119.28	522.12
40	141.29	150.30	148.09	126.91	566.59
60	143.22	168.70	160.52	135.84	608.28
80	158.82	174.57	164.23	150.66	648.28
100	205.70	215.47	206.66	198.39	826.22
120	167.22	187.05	179.50	162.39	696.16
	938.61	1031.39	1004.18	893.47	3867.65

Cuadro 10A.- Eficiencia de la fertilización nitrogenada en avena c.v. Chihuahua bajo diferentes niveles y condiciones de riego en el ciclo 0-I 1985-1986 en la F.E.S.-C. U.N.A.M.

TRATAMIENTOS	BLOQUES				SUMAS
	I	II	III	IV	
	%				
40	47.32	37.50	7.27	19.07	111.16
60	34.76	55.66	25.56	27.60	143.58
80	45.57	49.08	23.81	39.22	157.68
100	83.34	80.17	61.48	79.11	304.10
120	37.38	43.12	28.60	35.92	145.02
	248.37	265.53	146.72	200.92	861.54

Cuadro 11b.- Costos tipo de producción para el cultivo de  
avena forrajera c.v. Chihuahua para el ciclo  
G-I 1985-1986 bajo condiciones de riego en la  
F.E.S.-C. U.N.A.M.

Actividad	Cantidad	Costo/Unidad	T. total
I.- Preparación de suelos		\$	\$
Barbecho	1	10,000.00	10,000.00
Pastoreo	2	5,000.00	10,000.00
Siembra	2	4,000.00	8,000.00
II.- Siembra			
Semilla de avena	100 kg	64.00	6,400.00
Substrato de calcio triple	87 kg	12.00	1,044.00
Moltrato 2.5 kg	25 kg	50.00	1,250.00
Maquila	1 jornada	5,000.00	5,000.00
Mano de obra	1 jornalero	2,000.00	2,000.00
III.- Trazo de surcos y canales			
Maquila	1 jornada	4,000.00	4,000.00
M.O. tiempo			
Costo	1	500.00	1,500.00
Mano de obra	2 jornaleros	2,000.00	20,000.00
V.- Cosecha			
Botas de alambre	1 pieza	13,175.00	13,175.00
Maquila	1 jornada	5,000.00	5,000.00
Mano de obra	1 jornalero	2,000.00	2,000.00
Acarreo mano de obra	1 jornalero	2,000.00	6,000.00
Acarreo (trasmontar)	1 jornada	5,000.00	5,000.00
			<u>100,704.00</u>

Cuadro 12A.- Costos por unidad de fertilizante nitroge-  
nado utilizado en el cultivo de avena fo-  
rajera c.v. Chihuahua para el ciclo G-I  
1985-1986 en la F.E.S.-C. U.N.A.M.

FUENTE	PRECIO/kg	PRECIO/Kg DE N	PRECIO/UNIDAD DE FERTILIZANTE
	\$	\$	\$
Sulfato de amonio	10.50	51.21	512.10
Nitrato de amonio	17.15	51.96	519.60



Cuadro 13A.- Costos variables por tratamiento de fertilización nitrogenada de la avena forrajera c.v. Chihuahua para el ciclo 0-I 1985-1986 en la F.E.S.-C. U.N.A.M.

NIVELES DE NITROGENO	SULFATO DE AMONIO	NITRATO DE AMONIO	COSTOS VARIABLES
			\$
00	0	0	0
40	870	1,195	2,065
60	1,280	1,818	3,098
80	1,741	2,390	4,131
100	2,150	3,013	5,163
120	2,560	3,637	6,197

Cuadro 14A.- Número de pacas de avena forrajera c.v. - Chihuahua obtenidas bajo diferentes niveles de fertilización nitrogenada y condiciones de riego en el ciclo 0-I 1985-1986 en la F.E.S.-C. U.N.A.M.

NIVELES DE NITROGENO	NUMERO DE PACAS
00	483
40	500
60	505
80	516
100	545
120	511

Cuadro 15A.- Clases y límites de los parámetros edáficos analizados, de acuerdo a la metodología empleada en el laboratorio de edafología de FERTIMEX, S.A.

VARIABLE	C L A S E S		
	BAJO	MEDIO	ALTO
C.E. mmhos/cm	0.5-1.0	1.1-2.5	2.6-4.0
M.O. %	0.5-1.0	1.1-3.0	3.1-5.0
N. Aprov. kg/ha	12.5-25.0	27.5-75.0	77.5-125.0
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Kg/ha	8.0-20.0	21.0-50.0	51.0-100.0
K <sub>2</sub> O kg/ha	150 -- 365	366 -- 750	751 -- 1200
Ca kg/ha	450 - 1200	1201- 3000	3001-5000
Mg kg/ha	75 - 150	151- 550	551-850
S kg/ha	20 - 40	41-125	126-250
Fe kg/ha	10 - 30	31-85	86-150
Mn Kg/ha	6 - 20	21-75	76-125
Cu kg/ha	0.8 -1.2	1.3-3.0	3.1-5.0
Zn kg/ha	1.0-3.0	3.1-8.0	8.1-15.0
B kg/ha	0.8-1.2	1.3-2.5	2.6-4.0

Cuadro 16A.- Cronograma de actividades realizadas en el estudio de la dosis óptima y eficiencia de la fertilización nitrogenada en avena forrajera en el Ciclo 0-I (1985-1986) en la F.E.S.-C. U.N.A.M.

ACTIVIDADES	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL
-Preparación del terreno.	X				
-Siembra y Fertilización.	X				
-Primer riego.	X				
-Emergencia de la planta.	X				
-Segundo riego y 2a. fertilización.		X			
-Amacollamiento		X			
-Medición de plantas.			X		
-Tercer riego.			X		
-Deshierbe manual.			X		
-Cuarto riego.				X	
-Floración.				X	
-Quinto riego.					X
-Selección de parcela útil y 2a. medición de plantas.					X
-Cosecha.					X