

**DISTRIBUCIÓN DE MATERIA SECA EN MAÍZ FORRAJERO CON
DIFERENTES DOSIS DE FERTILIZACIÓN NITROGENADA**

ALEJANDRO MENDOZA GÓMEZ

T E S I S

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE**

MAESTRO EN CIENCIAS AGRARIAS



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
AGRARIA ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA**

DIRECCIÓN DE POSTGRADO

Asesor principal: Ph.D. ARTURO PALOMO GIL

Torreón, Coahuila, México

Junio de 2010

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA
DIRECCIÓN DE POSTGRADO

DISTRIBUCIÓN DE MATERIA SECA EN MAÍZ FORRAJERO CON
DIFERENTES DOSIS DE FERTILIZACIÓN NITROGENADA

TESIS

POR

ALEJANDRO MENDOZA GÓMEZ

Elaborada bajo la supervisión del comité particular de asesoría, y
aprobada como requisito parcial para obtener el grado de:

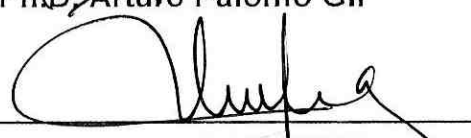
MAESTRO EN CIENCIAS AGRARIAS

Comité particular de asesoría:

Asesor principal


Ph.D. Arturo Palomo Gil

Co-Asesor


Ph.D. Uriel Figueroa Viramontes

Asesor


Ph.D. Vicente De Paul Alvarez Reyna


Dr. Jerónimo Landeros Flores
Director de Postgrado


M.C. Gerardo Arellano Rodríguez
Jefe del Departamento de Postgrado

Torreón, Coahuila, México. Junio de 2010.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por haberme prestado la vida y por tener la oportunidad de obtener un grado más de estudios.

A mi comité de asesores: **Dr. Arturo Palomo Gil** por darme la oportunidad de ingresar a la maestría como su asesorado; **Dr. Uriel Figueroa Viramontes** por permitirme trabajar en su proyecto de investigación y por los conocimientos que me transmitió durante la elaboración de este trabajo; **Dr. Vicente De Paul** por su importante colaboración en la revisión de la tesis. Estoy muy agradecido con ustedes doctores y espero seguir en contacto con ustedes por las distintas situaciones que nos depare la vida.

A la M.C. Esmeralda Ochoa Martínez por su importante apoyo en la realización del trabajo de campo y en los análisis de suelo y planta en el laboratorio.

A las autoridades del postgrado y profesores que me impartieron clase durante esta etapa de estudios; a las secretarías por el apoyo brindado durante mi estancia en la maestría; y a todos mis compañeros, en especial a mis amigos por todos los momentos inolvidables de convivencia y por el apoyo que de alguna u otra manera me brindaron, muchas gracias!

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por haberme otorgado el apoyo económico para poder estudiar este grado de Maestría.

AGRADECIMIENTO ESPECIAL

Al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), porque el presente estudio forma parte del proyecto de investigación "Manejo integral de la fertilización de cultivos forrajeros mediante análisis de suelo", realizado en el Campo Experimental La Laguna, del INIFAP, bajo la responsabilidad del Dr. Uriel Figueroa Viramontes y con financiamiento de la Fundación Produce Durango, A.C. y el Patronato para la Investigación Agropecuaria de la Laguna, A.C.

DEDICATORIA

.....

Dedico este trabajo a toda mi familia, especialmente a mis padres por el apoyo incondicional que siempre me han brindado, por sus palabras de aliento a superarme en todos los aspectos, y por los sabios consejos que siempre me han dado.

A todas mis hermanas y hermanos que a pesar de la distancia siempre los siento a mi lado siendo parte importante de mi fuente de inspiración para seguir adelante. A ti Aure, porque además de preocuparte siempre por apoyarnos económicamente, has sabido superarte cumpliendo siempre tus metas a base de esfuerzo y dedicación.

A mis abuelos que gracias a Dios y afortunadamente aún los tengo a todos en vida para escuchar sus experiencias y compartir con ellos mis logros.

Aprovecho la oportunidad para dedicar este trabajo también a las personas que han sido parte importante en mi vida, por todo el tipo de apoyo que en su momento me brindaron, especialmente a mi novia compañera actual de mi vida.

.....

La vida siempre nos presenta distintos caminos a seguir, antes de elegir alguno analiza y reflexiona cuál puede ser el mejor, y si te equivocas, tienes derecho a corregir el rumbo!



M.C. Alejandro Mendoza Gómez
e-mail: alejandro8_83@yahoo.com.mx

ÍNDICE

Página

COMPENDIO	viii
ABSTRACT	x
ÍNDICE DE CUADROS	xii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiv
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Problemática.....	3
1.2 Objetivos	5
1.2.1 Objetivos específicos	5
1.3 Hipótesis.....	5
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	6
2.1 Aspectos generales del maíz.....	6
2.1.1 Producción nacional y regional	9
2.1.2 Ensilado de maíz forrajero	10
2.1.3 Proteína cruda (PC)	11
2.2 Fertilidad del suelo	12
2.2.1 Propiedades físicas, químicas y biológicas.....	13
2.3 Nutrición mineral de plantas	18
2.3.1 Extracción de nutrientes.....	19
2.3.2 Importancia del N en la nutrición de las plantas.....	20
2.3.3 Fertilización nitrogenada.....	21
2.4 Ciclo del nitrógeno.....	22
III. MATERIALES Y MÉTODOS	24
3.1 Área geográfica donde se estableció el experimento.....	24
3.1.1 Tratamientos.....	25
3.2 Labores culturales	26

3.2.1 Preparación del terreno.....	26
3.2.2 Siembra.....	27
3.2.3 Riego y fertilización.....	27
3.2.4 Muestréos de suelo y planta	28
3.2.5 Control de plagas y malezas.....	29
3.2.6 Cosecha.....	30
3.3 Variables evaluadas	30
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	32
4.1 SUELO ARENOSO	32
4.1.1 Variables evaluadas en cosecha	32
4.1.1.1 Altura de planta y mazorca.....	32
4.1.1.2 Hojas verdes, secas y número de mazorcas por planta.....	32
4.1.1.3 Rendimiento total de forraje verde y materia seca (MS).....	33
4.1.1.4 Rendimiento de MS por órganos.....	34
4.1.1.5 Distribución de MS en los órganos de la planta	35
4.1.1.6 Concentración de nitrógeno (N) en órganos de la planta	35
4.1.1.7 Extracción de nitrógeno (N) por los órganos de la planta.....	36
4.1.2 Materia seca (MS) por órganos en muestréos intermedios de planta...	37
4.1.2.1 Acumulación de MS en tallos	37
4.1.2.2 Acumulación de MS en hojas.....	38
4.1.2.3 Acumulación de MS en mazorca y brácteas	38
4.1.3 Extracción de nitrógeno (N) en muestréos intermedios de planta.....	39
4.1.3.1 Extracción de N por tallos.....	39
4.1.3.2 Extracción de N por hojas	40
4.1.3.3 Extracción de N por mazorca y brácteas.....	40
4.1.4 Concentración de N en planta en los muestréos intermedios	41
4.1.4.1 Nitrógeno (N) en tallos.....	41
4.1.4.2 Nitrógeno (N) en hojas	42
4.1.4.3 Nitrógeno (N) en mazorca y brácteas.....	43
4.1.4.4 Nitrógeno total en planta por tratamiento	43

4.2 SUELO ARCILLOSO	47
4.2.1 Variables evaluadas en cosecha	47
4.2.1.1 Altura de planta y mazorca	47
4.2.1.2 Hojas verdes, secas y número de mazorcas por planta	47
4.2.1.3 Rendimiento total de forraje verde y materia seca (MS).....	48
4.2.1.4 Rendimiento de MS por órganos	49
4.2.1.5 Distribución de MS en órganos de la planta	49
4.2.1.6 Concentración de nitrógeno (N) en órganos de la planta	50
4.2.1.7 Extracción de nitrógeno (N) por órganos de la planta	50
4.2.2 Materia seca (MS) por órganos en muestreos intermedios de planta...	51
4.2.2.1 Acumulación de MS en tallos	51
4.2.2.2 Acumulación de MS en hojas	52
4.2.2.3 Acumulación de MS en mazorca y brácteas	53
4.2.3 Extracción de nitrógeno (N) en muestreos intermedios de planta.....	53
4.2.3.1 Extracción de N por tallos.....	53
4.2.3.2 Extracción de N por hojas	54
4.2.3.3 Extracción de N por mazorcas y brácteas	55
4.2.4 Concentración de N en planta en los muestreos intermedios	55
4.2.4.1 Nitrógeno (N) en tallos.....	56
4.2.4.2 Nitrógeno (N) en hojas	56
4.2.4.3 Nitrógeno (N) en mazorca y brácteas.....	57
4.2.4.4 Nitrógeno total en planta por tratamiento	58
CONCLUSIONES.....	61
RESUMEN	63
LITERATURA CITADA	64

COMPENDIO

DISTRIBUCIÓN DE MATERIA SECA EN MAÍZ FORRAJERO CON DIFERENTES DOSIS DE FERTILIZACIÓN NITROGENADA

POR

ALEJANDRO MENDOZA GÓMEZ

MAESTRO EN CIENCIAS AGRARIAS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA

Asesor: Ph.D. ARTURO PALOMO GIL

Torreón, Coahuila, México. Junio de 2010.

Palabras clave: *análisis de planta, extracción y concentración de N, etapas del cultivo.*

Los resultados del análisis de la calidad de ensilaje de maíz se utilizan para balancear las dietas de los animales que lo consumen y mejorar el manejo del cultivo. En la Región Lagunera es importante analizar la producción forrajera, ya que es el soporte alimenticio de la ganadería regional, sobre todo para el ganado lechero. La fertilización es un componente de la tecnología de producción de maíz forrajero, y los análisis de suelo y planta son herramientas importantes para tomar decisiones de qué y cuánto fertilizar. El nutriente que más comúnmente limita el rendimiento y que más requiere el maíz forrajero para su buen desarrollo, es el nitrógeno N (Núñez *et al.*, 2006).

Por lo anterior, en este estudio el objetivo fue analizar la distribución de la materia seca (MS) en los órganos de la planta (tallos, hojas, mazorcas y brácteas), la extracción y concentración de N en cada uno de ellos; en diferentes etapas del ciclo del cultivo.

El estudio se llevó a cabo en el Campo Experimental La Laguna (CELALA) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), en Matamoros, Coahuila, México. El cultivo se estableció en un suelo arenoso y otro arcilloso; durante el ciclo primavera-verano de 2008. La variedad utilizada fue SB-302 de maíz forrajero en ambos suelos.

Se evaluaron cinco dosis de fertilización de N en suelo arenoso (0, 57, 163, 270, 377 kg ha⁻¹) y cuatro en suelo arcilloso (70, 190, 310 y 430 kg ha⁻¹) en aplicación dividida. El diseño experimental utilizado fue bloques al azar con cuatro repeticiones.

De acuerdo a los resultados obtenidos, el rendimiento en verde y materia seca en el suelo arenoso se vio afectado significativamente. El mejor rendimiento se obtuvo con la aplicación de 270 y 377 kg de N ha⁻¹. En el suelo arcilloso las dosis de fertilización no indujeron diferencia estadística significativa en el rendimiento de forraje, ni en extracción y concentración de N en los órganos de la planta.

ABSTRACT

DRY MATTER DISTRIBUTION IN FORAGE CORN WITH DIFFERENT DOSE OF NITROGENATED FERTILIZATION

BY

ALEJANDRO MENDOZA GÓMEZ

MAESTRO EN CIENCIAS AGRARIAS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA

Adviser: Ph.D. ARTURO PALOMO GIL

Torreón, Coahuila, México. Junio de 2010.

Key words: *plant analysis, extraction and concentration of N, growth stages.*

The results of the analysis of the silage quality of corn maize are used to balance the diet of the animals that consume it and to improve the handling of the crop. In the Región Lagunera is very important to analyze the silage production because the regional cattle raising's nutritious support, most of all for the production of milk. The fertilization is an indispensable forage corn component of the technology of production, and the analyses of soil and plant are important tools to take suitable decisions of what and how much to fertilize. The nutrient that commonly limits the growth and that more requires the forage corn for his good development is the nitrogen N (Núñez *et al.*, 2006).

As result of previously mentioned, in this study the objective was analyze the distribution of dry matter in the corn plant (stems, leaves, ears of corn and bracts), extraction and concentration of N in each one of them; in different stages of the crop.

This study was carried out at the Campo Experimental La Laguna (CELALA) of the Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), in Matamoros, Coahuila, México. The corn maize was established on sandy soil and other clayey soil, during the spring-summer cycle of 2008. The used variety was the SB-302 of forage corn in both soils.

At the sandy soil, N fertilizer rates evaluated were five (0, 57, 163, 270, 377 kg of N ha⁻¹) and four at clayey soil (70, 190, 310 and 430 kg of N ha⁻¹) in divided application. The experimental design used was random blocks with four repetitions.

According to the results, the yield in green and dry matter at the sandy soil presented statistical significant difference. The best yield was obtained with 270 and 377 kg of N ha⁻¹. At the clayey soil the doses of fertilization did not induced statistical significant difference in the yield of forage, neither in extraction and concentration of N in plant's organs.

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Producción de maíz forrajero en México.....	10
Cuadro 2. Dosis de N y porcentaje aplicado en la siembra y en los riegos.....	25
Cuadro 3. Propiedades de suelo donde se estableció el cultivo.....	28
Cuadro 4. Muestreos de planta realizados en cada uno de los lotes.....	29
Cuadro 5. Número de hojas verdes, secas y mazorcas por planta en la cosecha de maíz forrajero cultivado en suelo arenoso.....	33
Cuadro 6. Rendimiento MS y forraje verde en la cosecha, suelo arenoso.....	34
Cuadro 7. MS por órganos en la cosecha, suelo arenoso.....	34
Cuadro 8. Distribución de MS en los órganos de la planta en la cosecha en el suelo arenoso.....	35
Cuadro 9. N en los órganos de la planta en la cosecha, suelo arenoso.....	36
Cuadro 10. Extracción de N por los órganos en la cosecha, suelo arenoso.....	36
Cuadro 11. Acumulación de MS en tallos en los muestreos intermedios, en el suelo arenoso.....	37
Cuadro 12. Acumulación de MS en hojas en los muestreos intermedios, en el suelo arenoso.....	38
Cuadro 13. Acumulación de MS en mazorca y brácteas a los 81 dds, en el suelo arenoso.....	38
Cuadro 14. Extracción de N por los tallos en los muestreos intermedios, en el suelo arenoso.....	39
Cuadro 15. Extracción de N por las hojas en los muestreos intermedios, en el suelo arenoso.....	40
Cuadro 16. Extracción de N por mazorcas y brácteas en el muestreo relizado a los 81 dds, suelo arenoso.....	41
Cuadro 17. Concentración de N en tallos en los muestreos intermedios, en el suelo arenoso.....	42

Cuadro 18. Concentración de N en hojas en los muestreos intermedios, en el suelo arenoso.....	42
Cuadro 19. Concentración de N en mazorcas y brácteas en los muestreos intermedios, suelo arenoso.....	43
Cuadro 20. Número de hojas verdes, secas y mazorcas por planta en la cosecha de maíz forrajero, cultivado en suelo arcilloso.....	48
Cuadro 21. Rendimiento MS y forraje verde en la cosecha, suelo arcilloso.....	48
Cuadro 22. MS por órganos en la cosecha, suelo arcilloso.....	49
Cuadro 23. Distribución de MS en los órganos de la planta en la cosecha, en el suelo arcilloso.....	49
Cuadro 24. N en los órganos de la planta en la cosecha, suelo arcilloso.....	50
Cuadro 25. Extracción de N por los órganos en la cosecha, suelo arcilloso.....	51
Cuadro 26. Acumulación de MS en tallos en muestreos intermedios de planta en el suelo arcilloso.....	52
Cuadro 27. Acumulación de MS en hojas en muestreos intermedios de panta en el suelo arcilloso.....	52
Cuadro 28. Acumulación de MS en mazorca y brácteas a 74 dds, en el suelo arcilloso.....	53
Cuadro 29. Extracción de N por los tallos en muestreos intermedios de planta en el suelo arcilloso.....	54
Cuadro 30. Extracción de N por las hojas en los muestreos intermedios de planta en el suelo arcilloso.....	54
Cuadro 31. Extracción de N por mazorcas y brácteas en el muestreo realizado a 74 dds en el suelo arcilloso.....	55
Cuadro 32. Concentración de N en tallos en muestreos intermedios de planta, suelo arcilloso.....	56
Cuadro 33. Concentración de N en hojas en muestreos intermedios de planta, suelo arcilloso.....	57
Cuadro 34. Concentración de N en mazorca y brácteas en muestreos intermedios, suelo arcilloso.....	57

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Ciclo del nitrógeno.....	23
Figura 2. N total en órganos de la planta a los 31, 52, 66, 81 y 100 días después de la siembra en suelo arenoso, tratamiento 1.....	44
Figura 3. N total en órganos de la planta a los 31, 52, 66, 81 y 100 días después de la siembra en suelo arenoso, tratamiento 2.....	44
Figura 4. N total en órganos de la planta a los 31, 52, 66, 81 y 100 días después de la siembra en suelo arenoso, tratamiento 3.....	45
Figura 5. N total en órganos de la planta a los 31, 52, 66, 81 y 100 días después de la siembra en suelo arenoso, tratamiento 4.....	46
Figura 6. N total en órganos de la planta a los 31, 52, 66, 81 y 100 días después de la siembra en suelo arenoso, tratamiento 5.....	46
Figura 7. N total en órganos de la planta a 38, 59, 74 y 105 días después de la siembra en suelo arcilloso, 1 ^{er} tratamiento.....	58
Figura 8. N total en órganos de la planta a 38, 59, 74 y 105 días después de la siembra en suelo arcilloso, 2 ^o tratamiento.....	59
Figura 9. N total en órganos de la planta a 38, 59, 74 y 105 días después de la siembra en suelo arcilloso, 3 ^{er} tratamiento.....	59
Figura 10. N total en órganos de la planta a 38, 59, 74 y 105 días después de la siembra en suelo arcilloso, 4 ^o tratamiento.....	60

I. INTRODUCCIÓN

El maíz es de los forrajes más utilizados en el mundo, ya que se desarrolla rápidamente, produce mucha biomasa, tiene buen nivel nutricional y se adapta a variedad de climas y regiones. En México, los ensilados de maíz tienen un valor de energía neta de lactancia bajo ($<1.5 \text{ Mcal kg}^{-1}$ de materia seca) en comparación con ensilados de maíz en Estados Unidos de América y Europa (Chalupa, 1995). Lo anterior se atribuye a que en el pasado se hizo énfasis, principalmente, en el rendimiento por hectárea, sin considerar su valor nutritivo, ya que no se disponía de información acerca de la importancia de este aspecto (Núñez *et al.*, 2006)¹. La eficiencia de removilización del N de las hojas se convierte en el principal determinante de la concentración de proteínas del grano al final del ciclo del cultivo (Caputo *et al.*, 2009). En la planta se conoce que el proceso de removilización está regulado por factores internos y externos.

Los estudios de absorción tratan de contabilizar, la extracción o consumo de nutrimentos que efectúa un cultivo para completar su ciclo de producción. Estudios que contribuyen en forma cuantitativa a dar solidez a los programas de fertilización a recomendar, pues permiten conocer concretamente la cantidad de nutrimento que es absorbida por el cultivo. Un buen punto de partida para planificar la fertilización de un cultivo, es contar con información sobre la absorción de nutrimentos que efectúa el mismo, durante su ciclo de producción (Bertsch, 2003).

¹ En "Maíz forrajero de alto rendimiento y calidad nutricional". Libro científico No. 3, p. 45.

Entender cómo se distribuye la biomasa entre los diferentes componentes de la planta de maíz forrajero proporciona las bases a considerar para mejorar los procesos fisiológicos de la planta (Pordesimo *et al.*, 2004). Otros estudios también señalan la contribución de las características nutritivas de hojas y tallos en la digestibilidad de híbridos de maíz.

La fertilización puede acelerar el crecimiento aéreo y radical de las plantas, modifica el contenido de nutrientes para luego cambiar la cantidad de reservas disponibles, mejorando el enraizamiento en el terreno y su crecimiento, resistencia al estrés hídrico, bajas temperaturas y enfermedades (Landis 1985, Van den Driessche 1991, 1992, Timmer y Aidelbaum 1996, Haase y Rose 1997, Shaw *et al.* 1998, Malik y Timmer 1998, Grossnickle 2000). La concentración de cada nutriente en la solución del medio de cultivo es el aspecto más importante en un programa de fertilización (Navarro y Pemán 1997, Peñuelas y Ocaña 2000). Una concentración demasiado baja reduce el crecimiento, mientras que concentraciones altas producen excesos de salinidad, afectando el crecimiento y calidad de las plantas. La fertilización con nitrógeno aumenta la tasa de crecimiento de las plantas incrementando la acumulación de forraje en un período determinado (aumento en la productividad) o disminuyendo el período para alcanzar un determinado nivel de producción (precocidad), (Lemaire, *et al.* 1982).

En la Comarca Lagunera la ganadería lechera es intensiva o tecnificada haciendo un uso intensivo de insumos, y dispone de un alto grado de mecanización. En esta región, la producción de alfalfa, sorgo y maíz forrajero, se destina principalmente a la alimentación del ganado bovino lechero. La amplia disponibilidad de forraje cultivado en la región, ha permitido el desarrollo de la cuenca lechera más importante del país, por lo cuál, analizar lo referente a la producción forrajera es importante, ya que es el soporte alimenticio de la ganadería regional.²

² Plan Rector del Sistema Producto Bovino-Leche en la Región Lagunera, 2001-2006.

1.1 Problemática

El manejo eficiente de cualquier cultivo se basa en el conocimiento adecuado de las diferentes etapas de crecimiento durante el ciclo del cultivo. Las características de estas etapas están determinadas por la constitución genética de la planta, y por condiciones climáticas y edáficas predominantes en el entorno. En el caso particular del manejo de la fertilización, es importante conocer cómo crece la planta y la dinámica de acumulación o requerimientos de nutrimentos esenciales en las diversas etapas del ciclo del cultivo (Solórzano, 1999). La fertilización es un componente importante de la tecnología de producción de maíz forrajero. Los análisis de suelo y planta son herramientas importantes para tomar decisiones adecuadas de qué y cuánto fertilizar. El nitrógeno es el nutrimento que más requiere el maíz forrajero y su escasez comúnmente limita el rendimiento. El nitrógeno que toman las plantas del suelo puede provenir de fertilizantes, estiércol o nitrógeno residual del suelo. Sin embargo, cuando se aplica nitrógeno en exceso, lo que la planta no absorbe puede perderse del suelo por diferentes procesos, como la volatilización de amonio (NH_4^+), lixiviación de nitrato (NO_3^-), el cual puede contaminar el acuífero. El N extraído es el N removido por el cultivo en la parte aérea. Trabajos de investigación realizados estiman que el maíz forrajero extrae del suelo un promedio de 14 kg de nitrógeno por hectárea por tonelada de materia seca producida (Núñez *et al.*, 2006)³.

El rendimiento de un cultivo depende de la capacidad de acumular biomasa (materia fresca y seca) en los órganos que se destinan a cosecha. Un incremento proporcional de la biomasa destinada a estos órganos garantiza un incremento del rendimiento. Así, la distribución de materia seca entre los diferentes órganos de la planta tiene un papel fundamental en la producción de un cultivo (Peil *et al.*, 2005).

³ En "nitrógeno". Folleto Técnico Núm. 13. p. 12 y 13.

El momento óptimo de corte del maíz para ensilaje, se sitúa entre el 30 y 35% de contenido en materia seca, tanto desde el punto de vista productivo como de calidad del forraje. En el primer caso, un contenido elevado en materia seca conlleva una planta cada vez más seca, donde el incremento en peso de la espiga y grano se contrarresta con la senescencia de las partes vegetativas de la planta, por lo que la producción se estabiliza para luego disminuir. En cuanto a la calidad, es indudable que con la madurez disminuye la digestibilidad de la materia seca de la fracción vegetativa y de la propia pared celular, pero esta disminución se compensa por el incremento en almidón de la fracción de la espiga, por lo que, se debe esperar hasta ese momento (FEDNA, 2004). Varios autores indican diferencias entre híbridos de maíz en contenidos de proteína, fibra y digestibilidad, tanto de materia seca como de fibra (Allen *et al.*, 1995). Otros estudios señalan la contribución de las características nutritivas de hojas y tallos en la digestibilidad de híbridos de maíz, e indican diferencias entre genotipos de 26.2 a 65.0% en digestibilidad de tallos y de 58.0 a 67.6% en hojas (Lundvall *et al.*, 1994).

La producción de maíz forrajero es una actividad agrícola importante en la Comarca Lagunera, ya que es la segunda fuente de forraje que abastece a la creciente demanda de la principal cuenca lechera de México (Salazar *et al.*, 2003). En el ciclo primavera-verano de 2009, en la Región Lagunera el maíz forrajero fue el de mayor producción agrícola con un total de 1,263,495 t en una superficie cosechada de 28,823 hectáreas sembradas (SAGARPA, 2009).

En base a las anteriores aportaciones, y necesidad de conocer más detalladamente el tema e importancia que tiene a nivel nacional y específicamente regional, se planteó la presente investigación con los siguientes objetivos.

1.2 Objetivos

⇒ El objetivo general de la investigación es: determinar el rendimiento de materia seca (MS) y extracción de nitrógeno (N) en maíz forrajero en dos tipos de suelo, de acuerdo a las dosis aplicadas de fertilización nitrogenada; y su distribución en los órganos de la planta en cada etapa en que se dividió el ciclo biológico del cultivo.

1.2.1 Objetivos específicos

→ Determinar el rendimiento en fresco, de materia seca y distribución en los órganos de la planta en la cosecha y en cada etapa definida del cultivo.

→ Determinar la extracción y concentración de N por tallos, hojas, mazorcas y brácteas en cosecha, y en cada muestreo de planta realizado durante el crecimiento del cultivo.

→ Analizar el comportamiento de variables secundarias como altura de planta, mazorca, número de hojas verdes, secas y número de mazorcas por la planta.

1.3 Hipótesis

El rendimiento de materia seca (MS) en el cultivo de maíz forrajero y su distribución en los órganos de la planta (tallos, hojas, mazorca y brácteas), la extracción de nitrógeno (N) y concentración de N total en planta a lo largo del ciclo del cultivo y durante la cosecha, dependen de las dosis de fertilización aplicadas.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Aspectos generales del maíz

El maíz representa una larga tradición en la cultura alimentaria, económica y religiosa de los pueblos latinoamericanos en general y del mexicano en particular. La palabra "maíz" según algunos historiadores proviene de una lengua del Caribe; se cuenta que los españoles tomaron el vocablo de un dialecto de la isla de Haití, cuyos habitantes le llamaban "mahiz". Sin embargo, cuando los españoles llegaron a América en 1492 y a México en 1521, el maíz ya tenía varios siglos de cultivo e incluso ya se tenía una cultura muy desarrollada sobre este producto.

El origen del maíz sigue siendo hasta la fecha un enigma, debido a que no se sabe con precisión la época y lugar exacto de su aparición. Existen dos teorías sobre el origen geográfico: algunos estudios consideran que el maíz es nativo de Asia, mientras que otros piensan que es de América. De acuerdo a testimonios presentados se considera al Nuevo Mundo como el lugar de origen de dicho producto. Hay evidencias que indican que México fue el centro primario de origen, domesticación y dispersión del maíz, que ocurrió hace más de 6 mil años y que las migraciones humanas lo llevaron a Sudamérica, en donde tuvo lugar el centro secundario, hace aproximadamente más de 5 mil años.

Diversos factores favorecieron la variedad y evolución del maíz. Tales como las migraciones humanas, mutaciones, selección natural o artificial, aislamiento y endogamia, el cruzamiento entre variedades diferentes, etc. Sin embargo, destaca la amplia elasticidad de adaptación que tiene esta semilla, apenas igualada por el frijol. Se considera un cereal de la familia de las gramíneas, que se caracteriza por su alto contenido de almidones.⁴

El maíz es un cultivo remoto, de unos 7000 años de antigüedad, que se cultivaba en algunas zonas de México y América Central. Hoy su cultivo se ha extendido a muchos países y en especial a Europa donde ocupa una posición muy elevada. Estados Unidos de América es otro de los países que destaca por la superficie dedicada al cultivo de maíz. A continuación se describen sus características morfológicas.⁵

Nombre común: *Maíz*

Nombre científico: *Zea mays*

Familia: *Gramíneas*

Género: *Zea*

a) Descripción. La planta de maíz es de porte robusto de fácil desarrollo y producción anual; el tallo es simple, erecto, de elevada longitud pudiendo alcanzar los 4 m de altura, sin ramificaciones; hojas largas, de gran tamaño, lanceoladas, alternas, paralelinervias, y se encuentran abrazadas al tallo; raíces fasciculadas y su misión es aportar un perfecto anclaje a la planta.

⁴ BRIEF DE MERCADO. MAIZ. Consultado en octubre de 2009.
<http://www.economiachiapas.gob.mx/cicv/PDF/MAIZ.pdf>

⁵ InfoAgro.com. El cultivo de maíz. Consultado en 2009.
<http://www.infoagro.com/herbaceos/cereales/maiz.htm>

b) Clima. El maíz requiere temperatura de 25 a 30°C, así como bastante incidencia de luz solar, para que se produzca la germinación, en la semilla la temperatura debe situarse entre 15 y 20°C, llega a soportar temperatura mínima de 8°C y a partir de los 30°C, pueden aparecer problemas serios debido a mala absorción de agua y nutrientes minerales. En la fructificación se requiere temperatura de 20 a 32°C. El maíz es un cultivo exigente en agua en el orden de 5 mm al día. Las necesidades hídricas varían a lo largo del cultivo y cuando las plantas comienzan a nacer se requiere menor cantidad de agua manteniendo una humedad constante; en la fase de crecimiento vegetativo es cuando más cantidad de agua se requiere.⁶ Se adapta muy bien a todo tipo de suelo, pero suelos con PH de 6 a 7 son a los que mejor se adapta, también requiere suelo profundo, rico en materia orgánica, con buena circulación del drenaje para no producir encharque que origine asfixia radicular.

c) Siembra. La semilla del maíz permite que se siembre tanto en suelo bien preparado como en suelo con mínima labranza o siembra directa. La densidad de siembra para maíz forrajero va de 80,000 a 100,000 plantas por hectárea, con una distancia entre plantas de 15 cm y surcos de 65 a 80 cm. En la región lagunera la fecha de siembra recomendada para primavera es del 20 de marzo al 30 de abril y en verano del 20 de junio al 15 de julio. La mayoría de los híbridos disminuyen su producción de forraje en fechas tardías de primavera (Núñez *et al.*, 2006).⁷

d) Cosecha. Se cosecha toda la parte aérea de la planta, que se produce para alimento de ganado utilizándose el tallo, hojas, etc. Se puede cosechar verde para alimento de ganado en forraje verde, o se puede deshidratar para su comercialización en seco, a granel o achicalado, es decir, en pacas; otra forma es el ensilado, el cual es en una técnica en la que el maíz

⁶ Maíz forrajero. Consultado en 2008.

<http://w4.siap.sagarpa.gob.mx/AppEstado/monografias/Forrajes/MaizF.html>

⁷ En "fechas de siembra recomendadas". Folleto Técnico Núm. 13. p. 8.

u otros tipos de forraje se almacenan en un lugar o construcción (silo) con el fin de que se produzcan fermentaciones anaerobias, hay varios tipos: silo de campo, silo en depósito, silo en plástico y silo en torre.

2.1.1 Producción nacional y regional

En seis estados productores de leche (Jalisco, Chihuahua, Aguascalientes, México, Durango y Coahuila) se concentra el 80% del área de producción de maíz forrajero de riego como secano. El área de secano ha crecido más rápidamente que la de riego. La disponibilidad de agua para riego es baja en Jalisco donde 40% del maíz forrajero es de secano. El uso del riego en maíz forrajero depende de la cantidad y distribución de lluvia. En la mayoría de las localidades del norte con precipitación por debajo de 200 mm, el maíz es regado cuatro a seis veces durante la estación de crecimiento con una aplicación total de 600 mm. En la mayoría de las regiones lecheras el maíz forrajero es ensilado pero en la región lechera de Altos de Jalisco una alta proporción del maíz es secado en el campo con gran demanda de mano de obra y luego picado.⁸

En nuestro país, en los últimos 5 años (2005-2009) se reportan los datos de producción de maíz forrajero verde por año agrícola (riego y temporal) del Cuadro 1. A nivel nacional el estado con mayor producción de maíz forrajero en verde es Jalisco, donde en 2009 se cosecharon 1, 669,160 toneladas con un rendimiento de 20.27 toneladas por hectárea. Ese mismo año, Querétaro fue el estado que tuvo mayor rendimiento con 60.72 toneladas por hectárea.⁹

⁸ Pasturas y Cultivos Forrajeros. México II. Por Ricardo Améndola, *et al.* Consultado en 2009. http://www.fao.org/ag/AGP/agpc/doc/Counprof/spanishtrad/Mexico_sp/Mexico2_sp.htm

⁹ Fuente: Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP).

Cuadro 1. Producción de maíz forrajero en verde en México en los últimos 5 años.

Año	Total Nacional			Región Lagunera		
	Superficie cosechada (ha)	Producción (t)	Rendimiento (t ha ⁻¹)	Superficie cosechada (ha)	Producción (t)	Rendimiento (t ha ⁻¹)
2005	267,490	7,470,676	27.929	23,866	1,049,201	43.962
2006	314,817	8,423,660	26.757	28,144	1,269,230	45.097
2007	304,574	8,953,710	29.398	34,770	1,500,808	43.164
2008	466,489	11,925,708	25.565	28,627	1,251,882	43.731
2009	318,981	8,324,064	26.096	28,823	1,252,503	43.455

Situación al 31 de diciembre de cada año.

Fuente: Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP)

2.1.2 Ensilado de maíz forrajero

El uso de maíz para forraje, como planta en pié o ensilado es una práctica común en los países de agricultura avanzada, ya que contribuye a resolver el problema que plantea la estacionalidad de la producción forrajera frente a requerimientos animales de relativa constancia (Bertoia, 2007).

El valor nutritivo del ensilaje destaca por su valor energético tanto en proteínas como sales minerales. El contenido en materia seca del maíz ensilado se consigue con un forraje bien conservado. El momento oportuno para ensilar se encuentra en etapa de grano a 2/3 de masa y 1/3 de leche o bien cuando el contenido de humedad general de la planta es 70%, lo cuál se presenta entre 110 y 130 días después de la siembra, en función del ciclo vegetativo de la variedad utilizada (precoz, intermedia o tardía). La realización del corte para ensilar antes o después de esta etapa genera problemas al momento del ensilado que disminuyen la calidad del silo, actualmente hay maíz molido, al que se adicionan nutrientes para la alimentación integral del ganado.¹⁰

¹⁰ Cosecha de maíz forrajero. Consultado en 2008.

<http://w4.siap.sagarpa.gob.mx/AppEstado/monografias/Forrajes/MaizF.html>

Existe diferencia entre localidades en la etapa óptima de cosecha. En la Región Lagunera, para optimizar el rendimiento seco por hectárea y calidad nutricional, la cosecha se puede realizar entre grano duro y 1/3 de avance de la línea de leche en el grano de maíz entre 90 y 105 días después de la siembra (Núñez *et al.*, 2006)¹¹.

Los resultados del análisis del ensilaje de maíz son de poco valor si no se comprenden. Resultados que pueden usarse para: balancear dietas y mejorar el manejo de cosecha si el forraje actual es de calidad cuestionable. Los resultados del análisis se expresan en "tal como recibido" y en "100% base materia seca (MS)". "Tal como recibido" a menudo se llama también "tal como ofrecido" o "fresco". El material en base "tal como recibido" incluye el agua o humedad contenida en el alimento. Los nutrientes expresados en esta base representan el contenido en nutrientes del alimento al momento de ser recibido en el laboratorio. En base materia seca significa que toda la humedad ha sido removida. La concentración en nutrientes es contenida en la MS del alimento. Los valores que se reportan en base peso seco van a ser siempre mayores que los reportados en fresco (García *et al.*, 2005). En la conversión a materia seca (MS) se usa la siguiente fórmula:

$$\frac{\text{Nutrimento (tal como recibido)} \times 100}{\% \text{ MS}} = \text{Nutrimento (base MS)}$$

2.1.3 Proteína cruda (PC)

Las proteínas son compuestos químicos complejos que se encuentran en células vivas: sangre, leche, huevos y toda clase de semillas y pólenes. Hay ciertos elementos químicos que todas ellas poseen, pero los diversos tipos de proteínas los contienen en diferentes cantidades. En todas se encuentra un alto

¹¹ En "etapas de madurez a la cosecha". Folleto Técnico Núm. 13, p. 35.

porcentaje de nitrógeno, así como oxígeno, hidrógeno y carbono. En la mayor parte de ellas existe azufre, y en algunas fósforo y hierro.¹²

Las proteínas son sustancias complejas, formadas por la unión de ciertas sustancias simples llamadas aminoácidos, que los vegetales sintetizan a partir de nitratos y sales amoniacales del suelo. Los animales herbívoros reciben sus proteínas de las plantas. El hombre puede obtenerlas de las plantas o animales, pero las proteínas de origen animal son de mayor valor nutritivo que las vegetales. Esto se debe a que, de los 24 aminoácidos que se conocen, hay 9 que son imprescindibles para la vida, y se encuentran en las proteínas animales.

La proteína cruda es una estimación de la proteína total basada en el contenido de nitrógeno del alimento ($\text{Nitrógeno} \times 6.25 = \text{PC}$). La proteína cruda incluye la proteína verdadera y nitrógeno no proteico (NPN) tal como el nitrógeno ureico y amoniacal. El valor de la proteína cruda no suministra información acerca de la composición en aminoácidos, digestibilidad intestinal de la proteína o aprovechabilidad en el rumen (García *et al.*, 2005).

2.2 Fertilidad del suelo¹³

Suelo: ente natural, tridimensional, trifásico, dinámico, sobre el cual crecen y se desarrollan la mayoría de las plantas. Ente, porque tiene vida; tridimensional, porque es visto a lo largo, ancho y profundidad. Trifásico, porque existe fase sólida, líquida y gaseosa. Dinámico, porque dentro del suelo ocurren procesos que involucran cambios físicos y reacciones químicas constantemente. Además es el medio natural donde crecen las plantas, y sirve como soporte.

¹² Composición química. Monografias.com. Consultado en 2009.
<http://www.monografias.com/trabajos10/compo/compo.shtml>

¹³ Sánchez, V. J. Fertilidad del suelo -Conceptos Básicos- FERTITEC S.A.

La fertilidad del suelo es una cualidad resultante de la interacción entre las características físicas, químicas y biológicas del mismo y consiste en la capacidad de poder suministrar condiciones necesarias para el crecimiento y desarrollo de las plantas. La fertilidad del suelo no es suficiente para el crecimiento de las plantas; el clima juega un papel importante y determinante en muchos casos.

Respecto a su constitución, en general y en promedio, en volumen, una proporción ideal está dada por 45-48% de partículas minerales, 2-5% de materia orgánica, 25% de aire y 25% de agua.

2.2.1 Propiedades físicas, químicas y biológicas¹⁴

a) Propiedades físicas. La proporción de componentes del suelo determina una serie de propiedades que se conocen como propiedades físicas del suelo, las cuales definen la capacidad de infiltración y almacenamiento de agua y contribuyen a definir su erodabilidad y capacidad de uso.

1. *Textura:* proporción de arena, limo y arcilla expresados en porcentaje. En la fracción mineral del suelo, son de interés edafológico solamente las partículas menores de 2 mm de diámetro. A las partículas mayores de 2 mm de diámetro se les denomina "modificadores texturales", dentro de este concepto también se incluyen los carbonatos, materia orgánica, sales en exceso, etc., consecuentemente:

$$\% \text{ arena} + \% \text{ limo} + \% \text{ arcilla} = 100\%$$

La textura, propiedad física primaria, guarda relación con la permeabilidad, capacidad retentiva del agua, porosidad, aireación, densidades real y aparente, capacidad de intercambio catiónico y estructura.

¹⁴ Sánchez, V.J. Propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.

De acuerdo a la proporción de arena, limo y arcilla, los suelos son agrupados en clases texturales. Clase textural es el nombre con que se designa a un suelo de acuerdo a la fracción o fracciones predominantes. El sistema USDA contempla 12 clases texturales:

- Arena - Arena franca - Franco arcillo limoso
- Limo - Franco arenoso - Franco arcillo arenoso
- Arcilla - Franco arcilloso - Arcillo limoso
- Franco - Franco limoso - Arcillo arenoso

2. *Estructura*: manera como se agrupan las partículas de arena, limo y arcilla, para formar agregados, no debe confundirse "agregado" con "terrón". El terrón es el resultado de las operaciones de labranza y no guarda la estabilidad que corresponde a un agregado.

3. *Densidad Aparente y Densidad Real*. La densidad aparente (DA) y la densidad real (DR) se expresan así:

$$DA = Ms/Vt; \quad DR = Ms/Vs$$

donde:

Ms = masa o peso de sólidos

Vs = volumen de sólidos

Vt = volumen total

La composición mineral es más o menos constante en la mayoría de los suelos, por lo tanto, se estima que la DR varía entre 2.6 a 2.7g/cc en todos los suelos. La DA depende del grado de soltura o porosidad del suelo, y es un valor variable que depende de la textura, contenido de materia orgánica y estructura. La DR, mide el grado de compactación de un determinado suelo cuando éste ha sido sometido a trabajos constantes de maquinaria pesada sobre la capa

arable, pudiendo mostrarse esa compactación en esa misma capa o en la subyacente.

4. *Porosidad*: porcentaje de espacios vacíos (o poros) con respecto al volumen total del suelo (volumen de sólidos + volumen de poros). La porosidad incluye macroporosidad (poros grandes donde se ubica el aire) y microporosidad (poros pequeños, que definen los capilares donde se retiene el agua).

5. *Coefficientes hídricos*. Los suelos tienen diferente capacidad de retención de agua para las plantas. Valores que se expresan a través de los coeficientes hídricos: capacidad de campo y punto de marchitez. La capacidad de campo es la máxima capacidad de agua que el suelo puede retener; el punto de marchitez es más bien un término fisiológico, que corresponde al contenido de humedad del suelo, donde la mayoría de las plantas, no compensan la evapotranspiración con la absorción radicular, mostrando síntomas de marchitez permanente.

b) Propiedades químicas: Contenido de diferentes sustancias importantes como macronutrientes y micronutrientes para las plantas o para dotar al suelo de diferentes características (carbono orgánico, carbono cálcico y fierro en diferentes estados). Son aquellas que permiten reconocer ciertas cualidades del suelo cuando se provocan cambios químicos o reacciones que alteran la composición y acción de los mismos.¹⁵ Las principales propiedades químicas son:

1. *Materia orgánica*. Residuos de plantas y animales descompuestos, da al suelo algunos alimentos que las plantas necesitan para su crecimiento y producción, mejora las condiciones del suelo para un buen desarrollo de los

¹⁵En "propiedades químicas del suelo". Consultado en 2009.
<http://pdf.rincondelvago.com/propiedades-quimicas-del-suelo.html>

cultivos. De la materia orgánica depende la buena constitución de los suelos. Un suelo de consistencia demasiada suelta (suelo arenoso) se puede mejorar haciendo aplicaciones de materia orgánica (compost); un suelo demasiado pesado (suelo arcilloso) se mejora haciéndolo mas suave y liviano mediante aplicación de materia orgánica.

2. *Fertilidad*. Propiedad que se refiere a la cantidad de nutrientes que posea el suelo.

3. *Acidez-alcalinidad*. En general las sustancias pueden ser ácidas, alcalinas y neutras.

Químicamente una sustancia es ácida porque hace cambiar a rojo el papel tornasol azul; alcalina o básica, porque hace cambiar a azul el papel tornasol rojo. Y una sustancia es neutra porque no provoca ninguno de estos cambios. Durante el proceso de humificación o de putrefacción del mantillo o materia orgánica para convertirse en humus, intervienen las bacterias y hongos que van elaborando sustancias ácidas, por esto las tierras negras y polvorosas generalmente son ácidas, pero para contrarrestar su acidez, los agricultores aplican cal, que en contacto con el agua forman sustancias alcalinas. En general los suelos ácidos son menos productivos.

Otras propiedades químicas son las siguientes:

4. *Reacción del suelo (pH)*. Propiedad que tiene influencia indirecta en los procesos químicos, disponibilidad de nutrientes, procesos biológicos y actividad microbiana. Definido como el logaritmo inverso de la actividad de iones hidrógeno en la solución suelo. Normalmente el rango de pH del suelo varía entre 3.5 a 9.0, la razón por la que no se alcanzan valores extremos de 0 ó 14 se debe a que la solución de los suelos no es una solución verdadera, sino una solución coloidal.

5. *Arcillas del suelo.* La fracción mineral del suelo lo constituyen las arcillas. Desde el punto de vista de su tamaño, adoptan ese nombre las partículas < 2 mm de diámetro, es mucho más trascendente el comportamiento coloidal que exhiben, es decir la capacidad de mostrar cargas negativas en donde se absorben los cationes que constituyen la posibilidad de reserva de nutrientes.

6. *Complejo arcillo-húmico.* El comportamiento coloidal no es exclusivo de las arcillas. Esta propiedad es compartida con el humus. Las arcillas y humus, forman un todo único, por lo que se denomina complejo arcillo húmico, complejo de cambio, etc.

7. *Capacidad de intercambio catiónico.* Propiedad química que determina los procesos de adsorción de cationes por el complejo de cambio desde la solución suelo y, liberación de cationes desde el complejo de cambio hacia la solución suelo.

c) Propiedades biológicas. Están asociadas a presencia de materia orgánica y formas de vida animal, tales como microorganismos, lombrices e insectos, contribuyen a definir su capacidad de uso y erodabilidad.

La cantidad de materia orgánica (MO), está ligada a la cantidad, tipo y actividad microbiana. El mantenimiento de la "fertilidad biológica" sugiere inalterabilidad del ambiente sobre todo microbiológico del suelo.

2.3 Nutrición mineral de plantas¹⁶

Las plantas necesitan del suelo para la absorción de nutrientes, así como aire, agua y luz; elementos que necesita el ser humano para sobrevivir, al eliminarle uno sólo de ellos mueren. Todas las plantas constan de diferentes órganos con una función específica:

- **Raíz:** órgano que absorbe el H₂O con nutrientes minerales procedentes del suelo. Este órgano consta del llamado cuello, que es la parte situada al nivel de la superficie del suelo, y que separa el tallo de la raíz. Después está la raíz principal o cuerpo, que es la parte subterránea de la que salen las raíces secundarias y finalmente están los pelos absorbentes, que es por donde penetran el H₂O y sustancias minerales para alimentar la planta.

- **Tallo:** contiene el principal sistema vascular de la planta, el cuál, transporta H₂O, nutrientes y productos fotosintéticos, además actúa como soporte de flores, hojas y frutos.

- **Hojas:** lugar principal de la fotosíntesis, respiración y transpiración. Las plantas usan: energía solar, CO₂ y H₂O para producir los carbohidratos que son la base energética de la planta. En las hojas se produce la transformación de compuestos inorgánicos a orgánicos.

- **Flores:** órganos que sirven para la reproducción de las plantas. La función de la flor es la de transferir el polen de la antera hasta el estigma.

- **El fruto:** ovario fecundado de las plantas con flor. La pared del ovario encorda al transformarse en la pared del fruto y se denomina pericarpio, cuya función es proteger a la semilla.

¹⁶ Curso de Nutrición Mineral. Diagnóstico nutricional. Por Dr. Luis Romero Monreal de la Universidad de Granada, España; en Delicias, Chihuahua. Abril de 2009.

Cuando la concentración de un nutriente alcanza, de manera normal, niveles altos o bajos en planta, aparecen síntomas característicos en hojas, tallos o frutos.

2.3.1 Extracción de nutrientes

La información sobre absorción y extracción de nutrientes en hortalizas, frutales y forrajes es esencial para la planificación del esquema de fertilización y toma de decisiones. Un concepto importante que se debe tener presente al momento de evaluar los requerimientos de los cultivos es la diferencia terminológica que se presenta entre las palabras, “absorción” y “extracción” de los cultivos. Se entiende por absorción la cantidad total de nutrientes absorbidos por el cultivo durante su ciclo de desarrollo. El término extracción, es la cantidad total de nutrientes en los órganos cosechados, grano, forraje u otros. La diferencia entre los términos es significativa al momento de recomendar la fertilización, bajo el criterio de reposición. La reposición utilizando la absorción del cultivo implica la aplicación de todos los nutrientes que fueron tomados por el cultivo presentes en sus tejidos y órganos, cosechables y no cosechables. Sin embargo, la práctica de fertilización por niveles de extracción de los cultivos, generalmente la más utilizada, sólo busca reponer los nutrientes que son absorbidos y depositados en tejidos y órganos cosechables.¹⁷

Los nutrientes son elementos que las plantas necesitan para crecer, mantenerse, producir fruto y semilla. Existen 16 nutrientes imprescindibles para la vida de las plantas denominados *nutrientes esenciales*¹⁸ y se clasifican en 2 tipos:

¹⁷ Archivo Agronómico. Ignacio A. Ciampitti y Fernando O. García. Requerimientos Nutricionales.

¹⁸ Nutrientes en las plantas. Botanical online. Consultado en 2009.
<http://www.botanical-online.com/nutrientesplantas.htm>

I. Nutrientes no minerales. En este grupo tenemos el oxígeno (O), el hidrógeno (H) y el carbono (C).

II. Nutrientes minerales. Elementos químicos que se encuentran en el suelo y que, debidamente disueltos en el agua, las plantas absorben a través de su raíz. Estos a su vez se clasifican en dos tipos:

- **Macronutrientes.** Denominados así porque las plantas deben absorberlos en grandes cantidades para su perfecto funcionamiento. Estos elementos son el nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y el azufre (S).

- **Micronutrientes.** Las plantas sólo absorben pequeñas cantidades para su buen desarrollo. Los micronutrientes son el hierro (Fe), cobre (Cu), Zinc (Zn), cloro (Cl), manganeso (Mn), molibdeno (Mo) y el boro (B).

2.3.2 Importancia del N en la nutrición de las plantas¹⁹

En el suelo el N puede concentrarse en tres fracciones principales: (a) materia orgánica; (b) iones amonio (NH_4^+) fijados sobre los lugares de intercambio de los minerales de la arcilla; y (c) como iones amonio y nitrato (NO_3^-) en la solución del suelo.

Las formas de N de importancia en la nutrición de las plantas son amonio (NH_4^+), nitrito (NO_2^-), y nitrato (NO_3^-). Nitrato y amonio, son las formas de N tomadas por las plantas y constituyen las formas importantes de aplicación de fertilizantes de N a los cultivos.

¹⁹ Generalidades de la Nutrición. Nitrógeno en el suelo. Curso impartido por Dr. Luis Romero Monreal de la Universidad de Granada, España. Delicias, Chihuahua. Abril 2009.

2.3.3 Fertilización nitrogenada

Las mejores prácticas de manejo (MPM) se pueden definir como acciones, aplicadas a los recursos, que han sido probadas con investigación y que permiten el mejor desempeño combinado de aspectos económicos, sociales y ambientales (IPNI, 2009). Las MPM son la manifestación de campo de los cuatro fundamentos (4Fs) de la nutrición de plantas: aplicación de la fuente correcta, en la dosis, época y localización correctas (Roberts, 2007; Bruulsema *et al.*, 2009).

Los fertilizantes nitrogenados son usualmente agrupados por la forma de nitrógeno (N) en:

- Fertilizantes de *Urea*. La urea es generalmente convertida rápidamente en amonio que puede ser absorbido por las plantas en forma de amonio o en forma de nitrato, si la nitrificación convierte el amonio a nitrato con anterioridad a la absorción por la planta.
- Los fertilizantes de *amonio*. El amonio puede ser absorbido por la planta o convertirse a nitrato antes de su absorción.
- Los fertilizantes de *nitrato*. El nitrato no se une fuertemente a los coloides del suelo, y por tanto puede correr el riesgo de perderse por lixiviación, por la lluvia o riego.
- Los fertilizantes que contienen *N orgánico*. Por ejemplo, composta de residuos orgánicos.

En la nutrición de la planta, el nitrato y amonio deben considerarse como dos nutrientes diferentes debido a sus reacciones dentro de la planta. Se reconoce generalmente que el amonio favorece el color verde de la planta, mientras que el nitrato la hace crecer.

2.4 Ciclo del nitrógeno

El nitrógeno está presente en seres vivos como, plantas y animales. Es una parte importante para los no vivos como el aire y tierra. Los átomos de nitrógeno no permanecen en un lugar. Se desplazan lentamente entre seres vivos o muertos, por aire, tierra y agua. A este movimiento se le conoce como **ciclo del nitrógeno**.²⁰

La mayoría del nitrógeno que encontramos en la tierra se encuentra en la atmósfera. Aproximadamente 80% de las moléculas en la atmósfera de la tierra está compuesta de dos átomos de nitrógeno unidos entre sí (N_2). Todas las plantas y animales necesitan nitrógeno para elaborar aminoácidos, proteínas y DNA; pero el nitrógeno en la atmósfera no se encuentra en forma que lo puedan usar, por lo cuál, tiene que pasar por diversos procesos.

En las plantas la eficiencia de removilización del N de las hojas se convierte en el principal determinante de la concentración de proteínas del grano al final del ciclo del cultivo (Caputo *et al.*, 2009). En la planta se conoce que el proceso de removilización está regulado por factores internos como externos.

²⁰ Ciclo del nitrógeno, por Lisa Gardiner. Consultado en 2009.
http://www.windows.ucar.edu/tour/link=/earth/Life/nitrogen_cycle.sp.html&fr=t

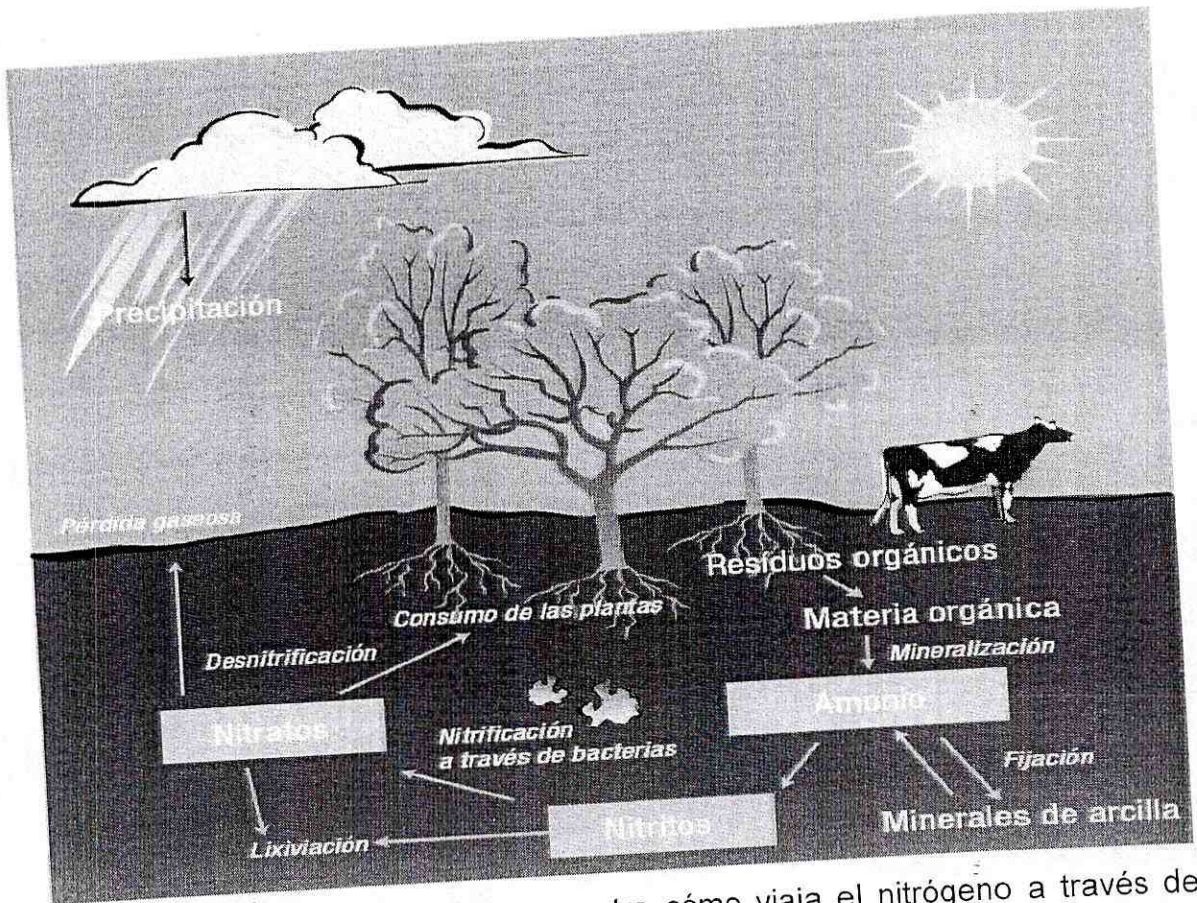


Figura 1. La ilustración superior muestra cómo viaja el nitrógeno a través de partes vivas y no vivas de los sistemas terrestres. NCAR (National Center for Atmospheric Research).

En el suelo, el N puede ser (1) transformado por mineralización (conversión de N orgánico en inorgánico), seguida por nitrificación (conversión del amoníaco en nitrato); (2) incorporado por fijación simbiótica (la conversión del nitrógeno de la atmósfera en el amoníaco o amonio); o (3) perdido por desnitrificación (transformación del nitrato en el nitrógeno gas), volatilización del amoníaco (cambio de amonio a nitrógeno atmosférico), reducción desasimiladora de nitrito (transformación del nitrito en óxido nitroso), o captación por la planta (principalmente como amonio y nitrato). Los niveles de estos naturalmente se ven alterados por transformaciones que pueden ser debidas a las condiciones aerobias/anaerobias, cambio de pH, temperatura, presencia de inhibidores químicos, o uso de fitosanitarios como fungicidas y plaguicidas (Romero, 2009).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Área geográfica donde se estableció el experimento

El estudio se realizó durante el ciclo primavera-verano de 2008 en el Campo Experimental La Laguna (CELALA) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), en Matamoros, Coahuila, México.

La Comarca Lagunera, región ubicada en el centro-norte de México, está integrada por 16 municipios: 11 del Estado de Durango y 5 del Estado de Coahuila. Su nombre se debe a los cuerpos de agua que se formaban alimentados por los ríos Nazas y Aguanaval, hasta antes de la construcción de las presas Lázaro Cárdenas y Francisco Zarco, que en la actualidad regulan su afluente.²¹ Esta región se localiza geográficamente en el paralelo 24° 22' de latitud norte y en el meridiano 102° 22' de longitud oeste, tiene una altitud de 1,120 metros sobre el nivel del mar, la precipitación pluvial media anual es de 215 mm y la temperatura media anual de 22.6°C, (INEGI, 2010).

²¹ Localización de la Comarca Lagunera. Consultado en línea en 2009.
<http://www.comarcalagunera.com/portal/laguna/comarca.php>

3.1.1 Tratamientos

El cultivo se estableció en dos lotes con diferente tipo de suelo. Un suelo franco arcillo arenoso (en el resto del texto se referirá como suelo arenoso), donde se evaluaron cinco dosis de N en combinación con diferentes épocas de aplicación; y otro de suelo de textura arcillosa, en el cuál, se evaluaron cuatro dosis de N también con diferentes épocas de aplicación. En ambos casos se utilizó un diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones. En el suelo arenoso el tamaño de la parcela experimental fue de 8 m de ancho por 14 m de largo, y en el suelo arcilloso fue de 10 m x 15 m.

Los tratamientos de N se estimaron para aportar el 33, 66, 100 y 133% del requerimiento del cultivo. Las dosis de N evaluadas, porcentaje y tiempo de aplicación, se presentan en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Dosis de N y porcentaje aplicado en la siembra y en los riegos de auxilio. Calculada CELALA-INIFAP-UAAANUL 2008.

Dosis de N (kg ha ⁻¹)		Siembra	1 ^{er} riego	2 ^o riego	3 ^{er} riego
Suelo arenoso	Suelo arcilloso	----- % aplicado de la dosis de N -----			
0	-				
57	70	15	85		
163	190	15	45	40	
270	310	15	40	35	10
377	430	15	40	35	10

En el Cuadro 2 se presenta la dosis de N fraccionada para su aplicación a la siembra y en los tres primeros riegos de auxilio en cada uno de los lotes.

3.2 Labores culturales

Las labores culturales realizadas en el experimento fueron las que comúnmente se realizan en el ciclo productivo agrícola que permiten la óptima germinación de la semilla, plantación o sembrado, desarrollo y cosecha del producto final.

3.2.1 Preparación del terreno

Es necesario hacer una adecuada preparación del terreno para que el cultivo tenga un medio propicio para su desarrollo y se utilicen con eficiencia los insumos aplicados como el fertilizante y el agua de riego, entre otros.

En la preparación del terreno donde se estableció el cultivo se realizaron las siguientes actividades:

a) **Barbecho.** Con el objeto de mejorar las condiciones del suelo destruyendo huevecillos, larvas y pupas de insectos que pudiera contener, al igual que semillas de maleza para disminuir su infestación.

b) **Rastreo.** Se realizó para desmenuzar los terrones que quedaron en el suelo después de haber ejecutado el barbecho.

c) **Nivelación con escrepa.** Se hizo para emparejar el terreno, deshaciendo terrones que pudieron haber quedado sobre el suelo.

d) **Surcado.** Los surcos se establecieron a una distancia de 76 cm para facilitar el uso de maquinaria agrícola durante el ciclo de cultivo.

3.2.2 Siembra

La siembra se realizó con sembradora de precisión calibrada para arrojar 10 semillas por metro lineal. En el suelo arenoso se obtuvo un promedio de población de 93,947 plantas por hectárea, y en el suelo de textura arcillosa la población promedio fue de 91,404 plantas por hectárea. La siembra en los dos lotes fue el 19 de mayo de 2008, y la variedad utilizada fue SB-302.

En el suelo arenoso se realizó un aporque al cultivo un mes después de la siembra, y en el suelo arcilloso el aporque se hizo a 35 días después de la siembra; el objetivo fue darle mayor consistencia a las plantas, para conseguir el crecimiento de nueva raíz y así asegurar una nutrición más completa, y conservar la humedad durante más tiempo.

3.2.3 Riego y fertilización

La aplicación del riego se realizó utilizando un sistema de tubería con multicompuertas. En ambos lotes se dio un riego de presiembra o aniego para humedecer el suelo con el fin de tener una buena germinación de la semilla. En el suelo arenoso se aplicaron cinco riegos de auxilio a los 17, 33, 53, 67 y 84 días después de la siembra; y, en el suelo arcilloso cuatro riegos de auxilio a los 23, 44, 60 y 78 días después de la siembra.

En el suelo donde se estableció el cultivo, antes del ciclo de producción, en otoño-invierno 2007-2008 se cultivó avena forrajera sin fertilizar con el objetivo de "blanquear" el suelo.

En lo referente a fertilización del cultivo todas las parcelas recibieron 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅, con ácido fosfórico como fuente (52 % de P₂O₅). La fuente de N fue sulfato de amonio (20.5 % de N) que se diluyó en agua antes de cada aplicación.

3.2.4 Muestras de suelo y planta

En ambos lotes se realizó un muestreo "inicial" de suelo para conocer sus propiedades al inicio del experimento. En cada una de las parcelas se muestreó a 30, 60 y 90 cm con una barrena manual.

Las propiedades del suelo de cada lote se presentan en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Propiedades de suelo donde se estableció el cultivo.
CELALA-INIFAP-UAAANUL 2008

Propiedad	Unidad	Suelo arenoso	Suelo arcilloso
pH		8.24	8.14
Conductividad eléctrica	dS m ⁻¹	0.41	0.42
Materia orgánica	%	1.2	1.05
Arena	%	51.69	20.4
Arcilla	%	27.91	48.6
Nitrato	mg kg ⁻¹	7.38	13.4
Clase textural		Franco arcillo arenoso	Arenoso arcilloso

En el suelo arenoso se realizaron 6 muestreos de planta, y 5 en el suelo arcilloso (antes de cada riego y en la cosecha) en las fechas que se presentan en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Muestreos de planta realizados en los dos lotes.
CELALA-INIFAP-UAAANUL 2008

<i>Suelo arenoso</i>		
No. de muestreo	Fecha	Edad del cultivo (dds)
1	03 junio 2008	15
2	19 junio 2008	31
3	10 julio 2008	52
4	24 julio 2008	66
5	08 agosto 2008	81
6	27 agosto 2008	100
<i>Suelo arcilloso</i>		
1	04 junio 2008	16
2	26 junio 2008	38
3	17 julio 2008	59
4	01 agosto 2008	74
5	01 septiembre 2008	105

dds = días después de la siembra.

Los muestreos se realizaron antes de cada riego y durante la cosecha. Se cortaron 5 plantas, 2 de las cuales se utilizaron para sacar muestras de planta completa y las 3 restantes se dividieron por órganos de acuerdo a la etapa fenológica del cultivo. En el primer muestreo sólo se obtuvieron muestras de planta completa debido al tamaño de la planta en los dos lotes. En el presente estudio sólo se utilizaron las muestras donde la planta se dividió en órganos (tallos, hojas, mazorcas y brácteas).

3.2.5 Control de plagas y malezas

a) Control de plagas. El control de plagas se realizó con las siguientes aplicaciones:

✓ A 12 días después de la siembra (dds) se aplicó un insecticida (*clorpirifos*, dosis = $\frac{3}{4}$ de litro por hectárea) preventivo para el gusano cogollero en los dos lotes.

✓ A 19 dds en el lote de suelo arcilloso se aplicó otro insecticida para combatir el gusano cogollero y pulgón verde.

✓ A 26 dds en el lote de suelo arenoso se hizo otra aplicación de *clorpirifos* (dosis = $\frac{3}{4}$ l/ha) para combatir el gusano cogollero. Además, se aplicó también este insecticida mezclado con *cipermetrina* (dosis = $\frac{1}{2}$ l/ha).

✓ A 31 dds, en el lote de suelo arenoso se aplicó *clorver granulado* (insecticida y/o acaricida) para el gusano cogollero. La aplicación se hizo en cada cogollo de la planta de maíz infectada.

✓ A 59 dds se aplicó el insecticida *azinfos metil* (1.5 litros por hectárea) en ambos lotes.

b) Control de malezas. En el control de malezas ayudó el aporque que se hizo al cultivo con *arado de vertedera*, y luego se dio un segundo paso con *rastra lillingston*. También se hizo la eliminación de malas hierbas manualmente utilizando herramientas como pala y azadón.

3.2.6 Cosecha

La cosecha en el suelo arenoso se realizó el 27 de agosto de 2008, a 100 días después de la siembra (dds) y, en el suelo arcilloso se hizo el 1° de septiembre de ese mismo año, a 105 dds. La cosecha del cultivo se realizó en la etapa de madurez de grano de un tercio de avance de la línea de leche.

3.3 Variables evaluadas

1) *Rendimiento total de forraje verde y materia seca (MS).* El rendimiento de forraje verde se estimó en una parcela útil de dos surcos centrales de 10 m de largo; para expresar el rendimiento en base peso seco, el

porcentaje de humedad se calculó en una muestra de tres plantas por parcela, las cuales fueron pesadas en fresco y luego secadas en estufa a una temperatura de 65°C, hasta peso constante para calcular el rendimiento en peso seco por hectárea. Las muestras fueron molidas para hacer el análisis de N total en el laboratorio por el método de Kjeldahl (Jones, 2001). Después de terminar los análisis correspondientes de las muestras en el laboratorio, se hicieron los análisis estadísticos utilizando el SAS versión 9.1 (SAS Institute, 2003). La comparación de medias se hizo con el método de Duncan al 0.05 de probabilidad.

2) *Distribución de materia seca (MS)*. La distribución de MS en los órganos de la planta (tallos, hojas, mazorcas y brácteas), durante las diferentes etapas del ciclo de vida del cultivo y finalmente en la cosecha.

3) *Extracción de nitrógeno (N)*. La extracción de N por los órganos de la planta (tallos, hojas, mazorcas y brácteas) en cosecha y en cada uno de los muestreos de planta realizados durante el crecimiento del cultivo.

4) *Concentración de nitrógeno (N)*. La concentración de N en cada uno de los órganos de la planta en cosecha y en las etapas del cultivo en que se hicieron los muestreos. En el análisis de N, a las muestras de planta de cada parcela se les analizó el N total en planta por el método de Kjeldahl (Jones, 2001).

5) *Altura de planta y mazorca, número de hojas verdes, hojas secas y número de mazorcas en la planta*. En la determinación de estas variables se tomaron 10 plantas al azar en dos surcos centrales dentro de la parcela útil; se midió la altura de la planta, altura de la mazorca, número de hojas verdes, número de hojas secas y número de mazorcas por planta.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 SUELO ARENOSO

Lote en que se aplicaron cinco tratamientos. El primero fue el testigo, al cuál, no se le aplicó ninguna dosis de N; los cuatro restantes fueron de 57, 163, 270 y 377 kg de N ha⁻¹.

4.1.1 Variables evaluadas en cosecha

4.1.1.1 Altura de planta y mazorca

Los resultados de los análisis de varianza para altura de planta y mazorca no muestran diferencia, por lo cuál, son estadísticamente iguales. Los promedios de altura de planta son de 1.90 a 2.20 m y la altura de mazorca de 0.92 a 1.18 m, de acuerdo a los tratamientos aplicados de fertilizante.

4.1.1.2 Hojas verdes, secas y número de mazorcas por planta

En número de hojas verdes y secas de la planta se detectó diferencia estadística entre dosis aplicada de N, pero no en número de mazorcas, como se observa en el Cuadro 5.

En número de hojas verdes las dosis de N de 270 y 377 kg ha⁻¹ son estadísticamente igual conteniendo los mayores valores, a diferencia de las tres dosis restantes cuyos resultados fueron menores. En el tratamiento testigo hubo mayor número de hojas secas que en las dosis donde se aplicó fertilizante.

Cuadro 5. Número de hojas verdes, secas y mazorcas por planta, en la cosecha de maíz forrajero cultivado en suelo arenoso. CELALA-INIFAP-UAAANUL 2008.

Dosis de N (kg ha ⁻¹)	Número de hojas verdes	Número de hojas secas	Número de mazorcas
0	9.8 b	6.8 a	1.05
57	11.1 b	5.5 ab	1.18
163	10.8 b	4.8 bc	1.08
270	12.9 a	3.6 c	1.23
377	12.7 a	3.7 c	1.28
C.V.	7.3	17.3	12.3

Letras distintas en cada columna indican diferencia estadística significativa, Duncan ($p \leq 0.05$).

4.1.1.3 Rendimiento total de forraje verde y materia seca (MS)

En rendimiento de forraje verde y seco se detectó diferencia estadística significativa entre dosis aplicadas de N. El mayor rendimiento de forraje verde y seco se obtuvo con la aplicación de 270 y 377 kg de N ha⁻¹ (Cuadro 6). Resultados que coinciden con el estudio de Cueto *et al.*, 1998, donde la mayor dosis de N que aplicó no fue la mejor.

Cuadro 6. Rendimiento total de forraje verde y materia seca (MS) en la cosecha de maíz forrajero, cultivado en suelo arenoso. CELALA-INIFAP-UAAANUL 2008.

Dosis de N (kg ha ⁻¹)	Forraje verde (t ha ⁻¹)	Materia seca (t ha ⁻¹)	% MS con respecto al peso verde
0	26.98 d	9.50 c	35.20
57	35.78 bc	12.90 ab	36.06
163	32.93 cd	12.33 bc	37.43
270	46.70 a	16.03 a	34.32
377	41.78 ab	14.19 ab	33.97
C.V.	13.2	15.5	

Letras distintas en cada columna indican diferencia estadística significativa, Duncan ($p \leq 0.05$).

4.1.1.4 Rendimiento de MS por órganos

El rendimiento de materia seca en tallo, hojas, mazorca y brácteas de la planta, bajo las diferentes dosis aplicadas de N, se presenta en el Cuadro 7. El análisis estadístico detecta diferencia estadística significativa en rendimiento de MS de hojas y mazorca. En rendimiento de MS de tallo y brácteas los tratamientos aplicados fueron estadísticamente iguales.

Cuadro 7. Rendimiento de materia seca (MS) por órganos, en cosecha de maíz forrajero cultivado en suelo arenoso. CELALA-INIFAP-UAAANUL 2008.

Dosis de N (kg ha ⁻¹)	Rendimiento de MS (t ha ⁻¹)			
	Tallo	Hoja	Mazorca	Bráctea
0	3.67	2.18 b	2.32 c	1.33
57	3.68	3.05 ab	4.58 b	1.59
163	4.15	3.10 ab	3.71 bc	1.37
270	4.48	3.15 a	6.77 a	1.63
377	4.43	3.61 a	4.61 b	1.55
C.V.	22.2	18.9	28.5	14.6

Letras distintas en cada columna indican diferencia estadística significativa, Duncan ($p \leq 0.05$).

4.1.1.5 Distribución de MS en los órganos de la planta

En porcentaje de distribución de materia seca en los órganos de la planta no se detecta diferencia estadística significativa entre tratamientos aplicados (Cuadro 8).

Cuadro 8. Distribución de materia seca (MS) en los órganos de la planta, en la cosecha de maíz forrajero cultivado en suelo arenoso. CELALA-INIFAP-UAAANUL 2008.

Dosis de N (kg ha ⁻¹)	Porcentaje de distribución de MS por órganos			
	Tallo	Hoja	Mazorca	Bráctea
0	38.6	23.6	23.7	14.1
57	28.8	23.5	35.3	12.5
163	34.0	25.4	29.5	11.2
270	27.7	20.1	41.9	10.3
377	30.7	26.0	32.1	11.2
C.V.	17.9	15.1	22.3	14.8

No hay diferencia estadística significativa en los valores de cada columna, Duncan ($p \leq 0.05$).

4.1.1.6 Concentración de nitrógeno (N) en órganos de la planta

Los resultados del porcentaje de N en planta durante cosecha sólo presentaron diferencia estadística significativa en hojas, en los demás órganos las dosis aplicadas de N no afectaron su concentración (Cuadro 9).

Cuadro 9. Concentración de nitrógeno (N) en los órganos de la planta, en la cosecha de maíz forrajero cultivado en suelo arenoso. CELALA-INIFAP-UAAANUL 2008.

Dosis de N (kg ha ⁻¹)	Porcentaje de N en planta			
	Tallo	Hoja	Mazorca	Bráctea
0	0.26	0.81 b	1.03	0.40
57	0.28	0.77 b	1.11	0.48
163	0.26	0.81 b	0.93	0.48
270	0.43	1.22 a	1.32	0.51
377	0.64	1.29 a	1.38	0.69
C.V.	51.0	23.6	18.4	22.8

Letras distintas en cada columna indican diferencia estadística significativa, Duncan ($p \leq 0.05$).

4.1.1.7 Extracción de nitrógeno (N) por los órganos de la planta

Los resultados de cantidad extraída de N por los órganos de la planta durante la cosecha presentan diferencia estadística significativa en hoja, mazorca y bráctea, mas no en tallo. En hoja y mazorca, las dosis de 270 y 377 kg de N ha⁻¹ fueron estadísticamente igual entre ellas superando al resto (Cuadro 10).

Cuadro 10. Extracción de nitrógeno (N) por los órganos de la planta, en la cosecha de maíz forrajero cultivado en suelo arenoso. CELALA-INIFAP-UAAANUL 2008.

Dosis de N (kg ha ⁻¹)	Cantidad extraída de N (kg ha ⁻¹)			
	Tallo	Hoja	Mazorca	Bráctea
0	9.2	17.9 c	25.5 c	5.2 c
57	10.1	23.9 bc	51.5 bc	7.7 bc
163	10.8	25.3 bc	33.6 bc	6.4 bc
270	19.0	38.1 ab	89.1 a	7.9 b
377	33.4	46.3 a	64.0 ab	10.7 a
C.V.	74.9	30.3	37.4	21.6

Letras distintas en cada columna indican diferencia estadística significativa, Duncan ($p \leq 0.05$).

En la dosis de 270 y 377 kg de N ha⁻¹ la hoja y mazorca extrajeron mayor cantidad de N que el resto. Al no obtenerse con la mayor dosis el mayor rendimiento de forraje, se considera una pérdida porque no es aprovechado por la planta, ya que la importancia de precisar la demanda de N radica en incrementar la eficiencia en el uso de N sin hacer aplicación excesiva que aumente el riesgo de contaminación por lixiviación de nitratos (Cox *et al.*, 1993).

4.1.2 Materia seca (MS) por órganos en muestreos intermedios de planta

4.1.2.1 Acumulación de MS en tallos

En tallos, los resultados de los análisis estadísticos no presentan diferencia estadística significativa, excepto en el muestreo realizado a los 66 días después de la siembra (dds), donde, sólo el tratamiento testigo fue estadísticamente diferente al de 270 y 377 kg de N ha⁻¹ (Cuadro 11).

Cuadro 11. Acumulación de materia seca (MS) en tallos, en muestreos de planta realizados a 31, 52, 66 y 81 días después de la siembra (dds) de maíz forrajero cultivado en un suelo arenoso. CELALA-INIFAP-UAAANUL 2008.

Dosis de N (kg ha ⁻¹)	Rendimiento de MS en tallos (t ha ⁻¹)			
	31 dds	52 dds	66 dds	81 dds
0	0.41	2.00	3.98 b	4.91
57	0.41	1.88	5.05 ab	6.13
163	0.58	1.72	4.70 ab	6.28
270	0.49	2.26	6.20 a	6.83
377	0.52	1.87	6.49 a	7.36
C.V.	35.0	33.4	20.5	26.3

Letras distintas en cada columna indican diferencia estadística significativa, Duncan ($p \leq 0.05$).

4.1.2.2 Acumulación de MS en hojas

En hojas, se detectó diferencia estadística significativa entre tratamientos en el muestreo realizado a los 66 días después de la siembra (Cuadro 12).

Cuadro 12. Acumulación de materia seca (MS) en hojas, en muestreos de planta realizados a 31, 52, 66 y 81 días después de la siembra (dds) de maíz forrajero cultivado en suelo arenoso. CELALA-INIFAP-UAAANUL 2008.

Dosis de N (kg ha ⁻¹)	Rendimiento de MS en hojas (t ha ⁻¹)			
	31 dds	52 dds	66 dds	81 dds
0	0.94	2.84	3.02 c	3.59
57	0.91	2.70	4.08 ab	3.83
163	1.06	2.64	3.61 bc	4.50
270	1.07	3.03	4.59 a	4.99
377	0.95	2.73	4.51 a	5.31
C.V.	29.4	24.1	13.6	28.7

Letras distintas en cada columna indican diferencia estadística significativa, Duncan ($p \leq 0.05$).

4.1.2.3 Acumulación de MS en mazorca y brácteas

En el muestreo realizado a 81 dds la planta se dividió también en mazorcas y brácteas. Los resultados son igual estadísticamente en todas las dosis aplicadas de N (Cuadro 13).

Cuadro 13. Acumulación de materia seca (MS) en mazorca y brácteas, a 81 días después de la siembra (dds) de maíz forrajero cultivado en suelo arenoso. CELALA-INIFAP-UAAANUL 2008.

Dosis de N (kg ha ⁻¹)	Rendimiento de MS a los 81 dds (t ha ⁻¹)	
	Mazorca	Brácteas
0	1.36	1.04
57	2.61	1.47
163	2.13	1.93
270	3.19	2.01
377	2.28	2.02
C.V.	53.2	33.3

No hay diferencia estadística en ninguno de los valores, Duncan ($p \leq 0.05$).

4.1.3 Extracción de nitrógeno (N) en muestreos intermedios de planta

La extracción de N en un cultivo durante su crecimiento es importante para saber a qué edad la planta necesita más fertilizante para mejor desarrollo sin que el nutrimento se pierda en otros procesos. En este caso se analizó la extracción de N por tallos, hojas, mazorcas y brácteas en maíz forrajero durante los muestreos intermedios de planta.

4.1.3.1 Extracción de N por tallos

En extracción de N por tallos, sólo en el muestreo realizado a 66 días después de la siembra se presentó diferencia estadística significativa entre tratamientos (Cuadro 14). La cantidad extraída de N por los tallos hasta 66 dds tiene una tendencia creciente en todos los tratamientos, pero a 81 dds la extracción de N desciende.

Cuadro 14. Extracción de nitrógeno (N) por los tallos, en muestreos de planta realizados a 31, 52, 66 y 81 días después de la siembra (dds) de maíz forrajero cultivado en suelo arenoso. CELALA-INIFAP-UAAANUL 2008.

Dosis de N (kg ha ⁻¹)	Cantidad extraída de N por los tallos (kg ha ⁻¹)			
	31 dds	52 dds	66 dds	81 dds
0	7.3	17.5	25.4 b	13.5
57	7.9	13.4	36.2 b	22.7
163	10.1	16.9	45.5 ab	23.5
270	10.0	31.7	68.0 a	45.8
377	9.2	19.9	69.4 a	42.7
C.V.	38.1	37.9	36.4	49.8

Letras distintas en cada columna indican diferencia estadística significativa, Duncan ($p \leq 0.05$).

4.1.3.2 Extracción de N por hojas

En la extracción de N por las hojas, 66 y 81 dds se detectó diferencia estadística significativa entre los tratamientos aplicados. En estas dos fechas las dos dosis más altas presentan mejores resultados (Cuadro 15).

Cuadro 15. Extracción de nitrógeno (N) por las hojas, en muestreos de planta realizados a 31, 52, 66 y 81 días después de la siembra (dds) de maíz forrajero cultivado en suelo arenoso. CELALA-INIFAP-UAAANUL 2008.

Dosis de N (kg ha ⁻¹)	Cantidad extraída de N por las hojas (kg ha ⁻¹)			
	31 dds	52 dds	66 dds	81 dds
0	20.7	41.5	34.5 b	28.7 b
57	21.5	35.3	53.4 ab	49.5 ab
163	25.4	41.7	53.8 ab	57.6 ab
270	29.2	65.3	83.4 a	85.2 a
377	22.9	49.7	79.9 a	82.8 a
C.V.	33.0	39.9	32.4	40.8

Letras distintas en cada columna indican diferencia estadística significativa, Duncan ($p \leq 0.05$).

4.1.3.3 Extracción de N por mazorca y brácteas

En el muestreo realizado a 81 días después de la siembra, donde se obtuvieron mazorcas y brácteas en la planta, en brácteas se presentó diferencia estadística significativa entre tratamientos, en mazorca son estadísticamente igual. En la extracción de N en brácteas, la dosis de 163, 270 y 377 kg de N ha⁻¹ son estadísticamente igual (Cuadro 16).

Cuadro 16. Extracción de nitrógeno (N) por mazorca y brácteas, en el muestreo de planta realizado a 81 días después de la siembra (dds) de maíz forrajero, cultivado en suelo arenoso. CELALA-INIFAP-UAAANUL 2008.

Dosis de N (kg ha ⁻¹)	Cantidad extraída de N a los 81 dds (kg ha ⁻¹)	
	Mazorcas	Brácteas
0	19.1	4.9 c
57	44.3	7.7 bc
163	26.6	10.1 abc
270	51.4	14.0 ab
377	39.1	17.3 a
C.V.	48.8	42.5

Letras distintas en cada columna indican diferencia estadística significativa, Duncan ($p \leq 0.05$).

4.1.4 Concentración de N en planta en los muestreos intermedios

La concentración de nitrógeno (N) en planta se analizó en 5 muestreos realizados durante el ciclo del cultivo a 31, 52, 66, 81 y 100 días después de la siembra (dds) dividiendo la planta de acuerdo a los órganos que tenía en cada etapa.

4.1.4.1 Nitrógeno (N) en tallos

El análisis estadístico detectó diferencia estadística significativa entre dosis en muestreos realizados a 66 y 81 dds. A los 66 dds la dosis de 163, 270 y 377 kg de N ha⁻¹ son estadísticamente igual, y a los 81 dds la de 270 y 377 kg de N ha⁻¹ son igual estadísticamente (Cuadro 17).

Cuadro 17. Concentración de N en tallos, en muestreos de planta realizados a 31, 52, 66, 81 y 100 días después de la siembra (dds) de maíz forrajero en suelo arenoso. CELALA-INIFAP-UAAANUL 2008.

Dosis de N (kg ha ⁻¹)	Porcentaje de N en tallos				
	31 dds	52 dds	66 dds	81 dds	100 dds
0	1.82	0.87	0.62 c	0.27 b	0.26
57	1.97	0.73	0.71 bc	0.35 b	0.28
163	1.77	0.97	0.92 abc	0.36 b	0.26
270	1.98	1.35	1.16 a	0.66 a	0.43
377	1.79	1.01	1.03 ab	0.57 a	0.64
C.V.	14.2	33.0	24.2	29.0	51.0

Letras distintas en cada columna indican diferencia estadística significativa, Duncan ($p \leq 0.05$).

4.1.4.2 Nitrógeno (N) en hojas

La concentración de N en hojas sólo presentó diferencia estadística significativa en el muestreo realizado a 81 dds, en el cuál, la mayor concentración de N se dio con la aplicación de la dosis de N de 270 y 377 kg ha⁻¹ (Cuadro 18).

Cuadro 18. Concentración de N en hojas, en muestreos de planta realizados a 31, 52, 66, 81 y 100 días después de la siembra (dds) de maíz forrajero en suelo arenoso. CELALA-INIFAP-UAAANUL 2008.

Dosis de N (kg ha ⁻¹)	Porcentaje de N en hojas				
	31 dds	52 dds	66 dds	81 dds	100 dds
0	2.20	1.44	1.15	0.76 c	0.81
57	2.35	1.32	1.27	1.22 b	0.77
163	2.40	1.54	1.43	1.24 b	0.81
270	2.73	2.09	1.82	1.72 a	1.22
377	2.45	1.76	1.74	1.56 ab	1.29
C.V.	8.2	25.3	24.7	22.2	23.6

Letras distintas en cada columna indican diferencia estadística significativa, Duncan ($p \leq 0.05$).

4.1.4.3 Nitrógeno (N) en mazorca y brácteas

El N en mazorca y brácteas se analizó en los muestreos realizados a 81 y 100 días después de la siembra (dds). En concentración de N en mazorca no hubo diferencia estadística significativa. En brácteas sí hubo pero sólo en el muestreo realizado a 81 dds, donde la dosis de 270 y 377 kg ha⁻¹ fueron estadísticamente igual.

Cuadro 19. Concentración de N en mazorca y brácteas a los 81 y 100 días después de la siembra (dds) de maíz forrajero, cultivado en suelo arenoso. CELALA-INIFAP-UAAANUL 2008.

Dosis de N (kg ha ⁻¹)	N en planta a los 81 dds		N en planta a los 100 dds	
	Mazorca	Bráctea	Mazorca	Bráctea
0	1.37	0.47 b	1.03	0.40
57	1.31	0.54 b	1.11	0.48
163	1.31	0.49 b	0.93	0.48
270	1.67	0.77 a	1.32	0.51
377	1.68	0.85 a	1.38	0.69
C.V.	15.5	21.3	18.4	22.8

Letras distintas en cada columna indican diferencia estadística significativa, Duncan ($p \leq 0.05$).

4.1.4.4 Nitrógeno total en planta por tratamiento

Se elaboraron las siguientes figuras que muestran gráficamente la tendencia de la concentración de N en los órganos de la planta durante el ciclo de cultivo, hasta llegar a la etapa de cosecha, en cada una de las dosis aplicadas de N. Se agregó la línea de tendencia a los datos de cada uno de los órganos de la planta, la ecuación polinómica de tallo y hojas y su respectivo coeficiente de determinación (r^2).

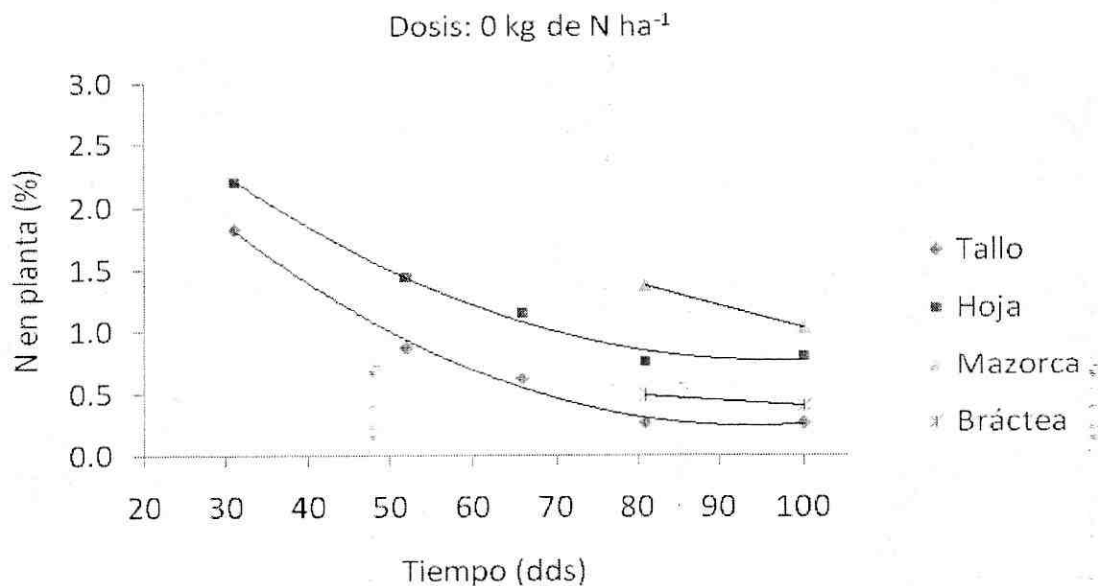


Figura 2. N total en los órganos de la planta a 31, 52, 66, 81 y 100 dds.

Ecuación polinómica y coeficiente de determinación (r^2) de la línea de tendencia de tallo y hojas de la Figura 2:

$$\text{Tallo } y = 0.0004x^2 - 0.0746x + 3.733 \quad R^2 = 0.9927$$

$$\text{Hoja } y = 0.0003x^2 - 0.0654x + 3.9178 \quad R^2 = 0.9901$$

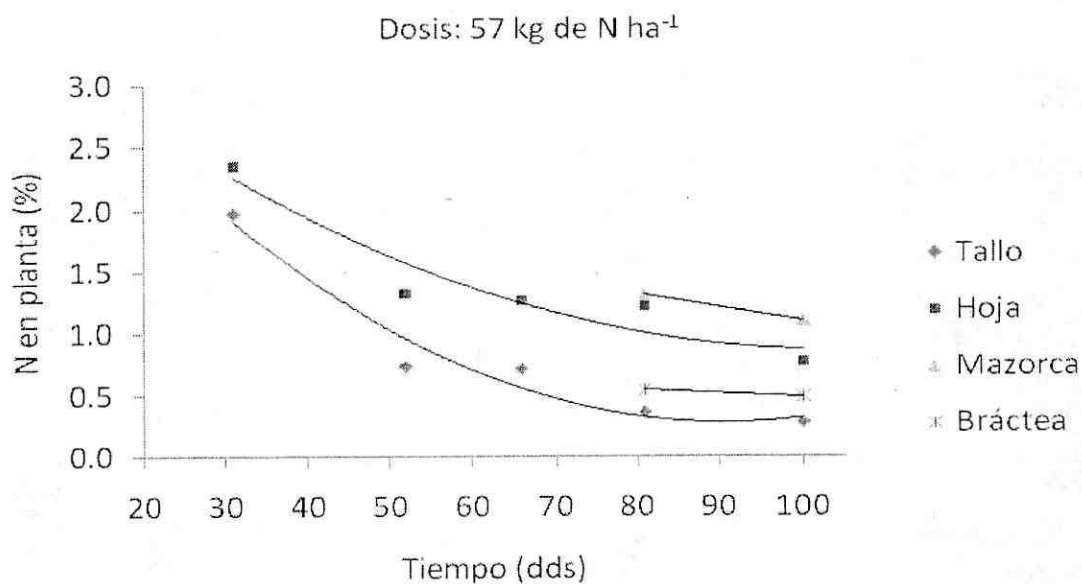


Figura 3. N total en los órganos de la planta a 31, 52, 66, 81 y 100 dds.

Ecuación polinómica y coeficiente de determinación (r^2) de la línea de tendencia de tallo y hojas de la Figura 3:

$$\text{Tallo } y = 0.0005x^2 - 0.083x + 4.0337 \quad R^2 = 0.9558$$

$$\text{Hoja } y = 0.0003x^2 - 0.0547x + 3.7 \quad R^2 = 0.9043$$

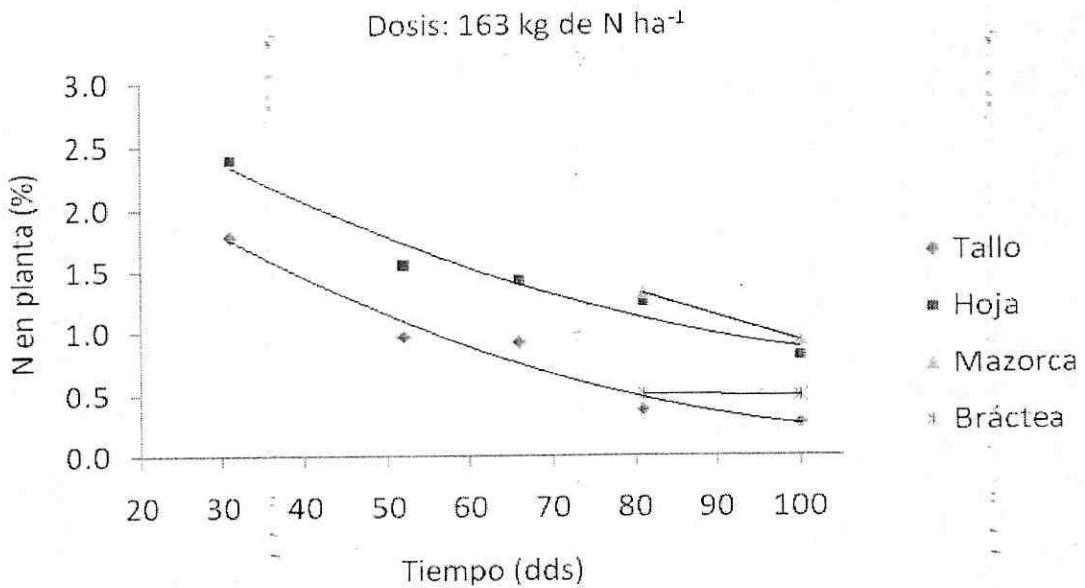


Figura 4. N total en los órganos de la planta a 31, 52, 66, 81 y 100 dds.

Ecuación polinómica y coeficiente de determinación (r^2) de la línea de tendencia de tallo y hojas de la Figura 4:

$$\text{Tallo } y = 0.0002x^2 - 0.0487x + 3.0616 \quad R^2 = 0.9625$$

$$\text{Hoja } y = 0.0002x^2 - 0.044x + 3.5309 \quad R^2 = 0.9568$$

Ecuación polinómica y coeficiente de determinación (r^2) de la línea de tendencia de tallo y hojas de la Figura 5:

$$\text{Tallo } y = 0.0001x^2 - 0.0365x + 3.004 \quad R^2 = 0.9868$$

$$\text{Hoja } y = 9E-05x^2 - 0.0319x + 3.5938 \quad R^2 = 0.975$$

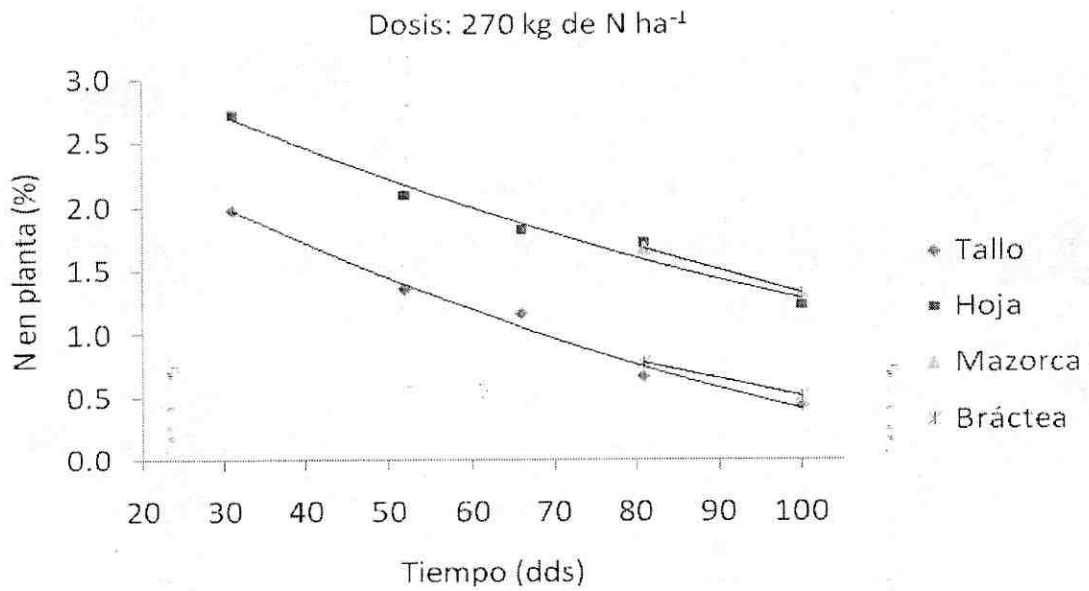


Figura 5. N total en órganos de la planta a 31, 52, 66, 81 y 100 dds.

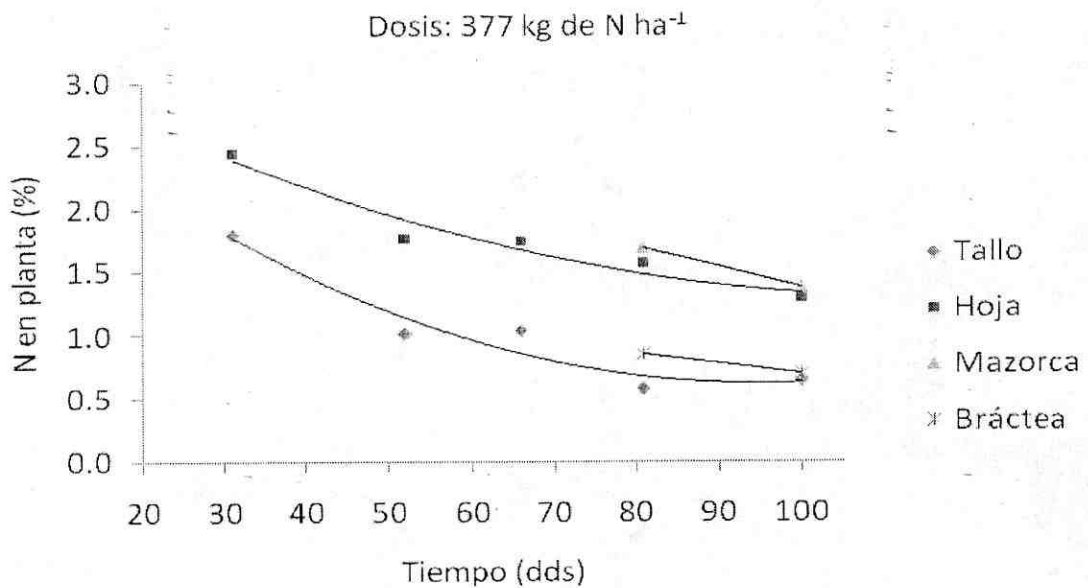


Figura 6. N total en órganos de la planta a 31, 52, 66, 81 y 100 dds.

Ecuación polinómica y coeficiente de determinación (r^2) de la línea de tendencia de tallo y hojas de la Figura 6:

$$\text{Tallo } y = 0.0003x^2 - 0.0538x + 3.1644 \quad R^2 = 0.9376$$

$$\text{Hoja } y = 0.0002x^2 - 0.0356x + 3.3512 \quad R^2 = 0.9449$$

En todas las figuras presentadas anteriormente se observa una tendencia decreciente en la concentración de N para todos los órganos de la planta. En los muestreos realizados a 31, 52 y 66 días después de la siembra (dds) la planta sólo tenía tallo y hojas, hasta las dos últimas fechas fue cuando se dividió mazorca y brácteas.

La ecuación polinómica y r^2 sólo se obtuvieron en la línea de tendencia de tallo y hojas porque en mazorca y brácteas sólo se cuenta con dos puntos de la línea, lo cuál, quiere decir que es una recta que los une y que no tiene ningún sesgo.

4.2 SUELO ARCILLOSO

En este suelo se aplicaron cuatro tratamientos (70, 190, 310 y 430 kg de N ha^{-1}) con cuatro repeticiones, la aplicación dividida de la dosis de N se presenta en el Cuadro 2 incluido en materiales y métodos.

4.2.1 Variables evaluadas en cosecha

4.2.1.1 Altura de planta y mazorca

En altura de planta y mazorca no hubo diferencia estadística significativa entre las dosis aplicadas de N. La altura de planta fluctuó entre 2.31 y 2.46 m y la altura de mazorca entre 1.12 y 1.23 m.

4.2.1.2 Hojas verdes, secas y número de mazorcas por planta

En número de hojas verdes y hojas secas las dosis de N fueron estadísticamente igual. En número de mazorcas sí hubo diferencia estadística significativa, siendo la dosis de 430 kg ha^{-1} que superó a las otras (Cuadro 20).

Cuadro 20. Número de hojas verdes, secas y mazorcas por planta en la cosecha de maíz forrajero, cultivado en suelo arcilloso. CELALA-INIFAP-UAAANUL 2008.

Dosis de N (kg ha ⁻¹)	Número de hojas verdes	Número de hojas secas	Número de Mazorcas
70	10.4	5.7	1.05 b
190	10.4	4.9	1.08 b
310	10.9	4.4	1.03 b
430	11.8	4.2	1.23 a
C.V.	15.3	35.6	7.1

Letras distintas en cada columna indican diferencia estadística significativa, Duncan ($p \leq 0.05$).

4.2.1.3 Rendimiento total de forraje verde y materia seca (MS)

Los resultados de rendimiento total de forraje verde y seco no presentan diferencia estadística entre dosis aplicadas de N: Los resultados variaron de 40.38 a 50.58 t ha⁻¹ de rendimiento en verde, y de 16.07 a 19.45 t ha⁻¹ de rendimiento en seco (Cuadro 21).

Cuadro 21. Rendimiento total de materia seca (MS) y forraje verde en la cosecha de maíz forrajero, cultivado en suelo arcilloso. CELALA-INIFAP-UAAANUL 2008.

Dosis de N (kg ha ⁻¹)	Forraje verde (t ha ⁻¹)	Materia seca (t ha ⁻¹)	% MS con respecto al peso verde
70	42.70	16.19	37.90
190	41.75	17.13	41.04
310	40.38	16.07	39.79
430	50.58	19.45	38.45
c.v.	17.7	22.2	

No hay diferencia estadística significativa en los valores de cada columna, Duncan ($p \leq 0.05$).

4.2.1.4 Rendimiento de MS por órganos

Los resultados de rendimiento de materia seca en los órganos de la planta para el suelo arcilloso se presentan en el Cuadro 22. No existe diferencia estadística entre dosis aplicadas de N para ninguno de los órganos.

Cuadro 22. Rendimiento de materia seca (MS) por órganos en la cosecha de maíz forrajero, cultivado en suelo arcilloso. CELALA-INIFAP-UAAANUL 2008.

Dosis de N (kg ha ⁻¹)	Rendimiento de MS (t ha ⁻¹)			
	Tallo	Hoja	Mazorca	Bráctea
70	5.09	3.13	6.76	1.21
190	4.61	3.63	7.27	1.62
310	5.61	2.82	6.15	1.49
430	6.02	3.28	8.56	1.59
C.V.	19.0	25.0	33.2	26.7

No hay diferencia estadística significativa en los valores, Duncan ($p \leq 0.05$).

4.2.1.5 Distribución de MS en órganos de la planta

En el Cuadro 23 se presentan los porcentajes de distribución de materia seca (MS) de los órganos de la planta en la cosecha, que cubren el 100% del rendimiento de MS total de cada dosis aplicada de N.

Cuadro 23. Distribución de materia seca (MS) en los órganos de la planta en la cosecha de maíz forrajero, cultivado en suelo arcilloso. CELALA-INIFAP-UAAANUL 2008.

Dosis de N (kg ha ⁻¹)	Porcentaje de distribución de MS por órganos			
	Tallo	Hoja	Mazorca	Bráctea
70	31.6	19.4	41.6	7.4
190	27.2	21.1	42.2	9.6
310	36.1	17.4	37.2	9.3
430	31.0	17.2	43.7	8.1
C.V.	16.3	14.9	15.3	17.7

No hay diferencia estadística significativa en los valores de cada columna, Duncan ($p \leq 0.05$).

4.2.1.6 Concentración de nitrógeno (N) en órganos de la planta

El porcentaje de N en planta no presentó diferencia estadística significativa en ninguno de los tratamientos aplicados (Cuadro 24). En todos los tratamientos, en mazorca se concentró mayor cantidad de N. La concentración de N en hojas tendió a incrementarse a medida que aumentó la cantidad de N aplicado, en los demás órganos no se muestra tendencia alguna.

Cuadro 24. Concentración de nitrógeno (N) en los órganos de la planta, en la cosecha de maíz forrajero, cultivado en suelo arcilloso. CELALA-INIFAP-UAAANUL 2008.

Dosis de N (kg ha ⁻¹)	Porcentaje de N en planta			
	Tallo	Hoja	Mazorca	Bráctea
70	0.35	0.73	1.07	0.38
190	0.31	1.11	1.38	0.44
310	0.35	1.17	1.28	0.42
430	0.39	1.31	1.33	0.39
C.V.	52.4	36.7	24.5	38.3

No hay diferencia estadística significativa en los valores de cada columna, Duncan ($p \leq 0.05$).

4.2.1.7 Extracción de nitrógeno (N) por órganos de la planta

Las cantidades extraídas de N durante la cosecha por tallos, hojas, mazorcas y brácteas en cada tratamiento se presentan en el Cuadro 25. Todos los tratamientos fueron estadísticamente iguales.

Cuadro 25. Extracción de nitrógeno (N) por los órganos de la planta, en la cosecha de maíz forrajero cultivado en suelo arcilloso. CELALA-INIFAP-UAAANUL 2008.

Dosis de N (kg ha ⁻¹)	Cantidad extraída de N (kg ha ⁻¹)			
	Tallo	Hoja	Mazorca	Bráctea
70	17.5	20.6	73.3	4.6
190	14.6	40.7	104.0	7.1
310	19.7	31.2	62.8	5.8
430	24.7	43.3	114.9	6.4
C.V.	58.0	43.1	44.4	49.7

No hay diferencia estadística significativa en los valores de cada columna, Duncan ($p \leq 0.05$).

4.2.2 Materia seca (MS) por órganos en muestreos intermedios de planta

Sólo se analiza la MS en tres muestreos intermedios que se realizaron durante el ciclo del cultivo, a los 38, 59 y 74 días después de la siembra (dds) de maíz forrajero en el lote de suelo arcilloso.

4.2.2.1 Acumulación de MS en tallos

En la acumulación de materia seca en tallos en todos los tratamientos no hubo diferencia estadística entre las dosis aplicadas en ninguno de los muestreos realizados a 38, 59 y 74 días después de la siembra (Cuadro 26). A los 38 dds la planta tuvo una acumulación de MS de más menos una tonelada por hectárea, a los 59 dds varió de 3.61 a 4.84 t ha⁻¹ y en el muestreo realizado a los 74 dds la planta tuvo un rendimiento que varió de 7.55 a 8.30 t ha⁻¹.

Cuadro 26. Acumulación de materia seca (MS) en tallos, en muestreos de planta realizados a 38, 59 y 74 días después de la siembra (dds) de maíz forrajero, cultivado en suelo arcilloso. CELALA-INIFAP-UAAANUL 2008.

Dosis de N (kg ha ⁻¹)	Rendimiento de MS en tallos (t ha ⁻¹)		
	38 dds	59 dds	74 dds
70	0.65	4.31	7.95
190	0.77	3.88	7.55
310	0.87	3.61	7.73
430	1.23	4.84	8.30
C.V.	37.2	27.5	24.4

No hay diferencia estadística significativa en los valores de cada columna, Duncan ($p \leq 0.05$).

4.2.2.2 Acumulación de MS en hojas

En la acumulación de materia seca en hojas sólo hubo diferencia estadística significativa entre dosis en el muestreo de planta realizado a 38 días después de la siembra (dds); a los 59 y 74 dds los resultados entre tratamientos fueron estadísticamente igual (Cuadro 27).

Cuadro 27. Acumulación de materia seca (MS) en hojas, en muestreos de planta realizados a 38, 59 y 74 días después de la siembra (dds) de maíz forrajero, cultivado en suelo arcilloso. CELALA-INIFAP-UAAANUL 2008.

Dosis de N (kg ha ⁻¹)	Rendimiento de MS en hojas (t ha ⁻¹)		
	38 dds	59 dds	74 dds
70	1.17 b	4.25	5.18
190	1.65 ab	3.95	4.87
310	1.58 ab	4.54	5.08
430	2.15 a	4.65	5.72
C.V.	23.8	27.1	28.8

Letras distintas en cada columna indican diferencia estadística significativa, Duncan ($p \leq 0.05$).

4.2.2.3 Acumulación de MS en mazorca y brácteas

La mazorca y brácteas se obtuvieron en el muestreo realizado a 74 días después de la siembra (dds), donde, los resultados entre tratamientos fueron estadísticamente igual (Cuadro 28).

Cuadro 28. Acumulación de materia seca (MS) en mazorca y brácteas, en el muestreo de planta realizado a 74 días después de la siembra (dds) de maíz forrajero, cultivado en suelo arcilloso. CELALA-INIFAP-UAAANUL 2008.

Dosis de N (kg ha ⁻¹)	Rendimiento de MS a los 74 dds (t ha ⁻¹)	
	Mazorcas	Brácteas
70	1.17	1.61
190	0.57	1.38
310	1.05	2.17
430	1.58	2.18
C.V.	36.4	36.4

No hay diferencia estadística significativa en los valores de cada columna, Duncan ($p \leq 0.05$).

En el cuadro 26 y 27 se observa que, conforme aumenta la edad de la planta (días después de la siembra) la materia seca (MS) en sus órganos también es mayor.

4.2.3 Extracción de nitrógeno (N) en muestreos intermedios de planta

En el cultivo en suelo arcilloso, la extracción de nitrógeno (N) por cada uno de los órganos de la planta se analizó en muestreos realizados a 38, 59 y 74 días después de la siembra (dds).

4.2.3.1 Extracción de N por tallos

Estadísticamente no hubo diferencia significativa entre ninguno de los tratamientos evaluados, sólo a los 38 dds hay una tendencia creciente conforme se aumentó la dosis de N (Cuadro 29).

Cuadro 29. Extracción de nitrógeno (N) por los tallos, en muestreos de planta realizados a 38, 59 y 74 días después de la siembra (dds) de maíz forrajero, cultivado en un suelo arcilloso. CELALA-INIFAP-UAAANUL 2008.

Dosis de N (kg ha ⁻¹)	Cantidad extraída de N por los tallos (kg ha ⁻¹)		
	38 dds	59 dds	74 dds
70	8.1	34.1	49.7
190	10.1	34.0	43.2
310	11.5	41.9	41.5
430	21.0	54.5	82.9
C.V.	53.4	43.2	62.2

No hay diferencia estadística significativa en los valores de cada columna, Duncan ($p \leq 0.05$).

4.2.3.2 Extracción de N por hojas

No hubo diferencia estadística entre tratamientos en la cantidad extraída de N por las hojas en cada muestreo, pero hay una tendencia creciente conforme aumenta la dosis aplicada de N en los muestreos realizados a 38 y 59 días después de la siembra (Cuadro 30).

Cuadro 30. Extracción de nitrógeno (N) por las hojas, en muestreos de planta realizados a los 38, 59 y 74 días después de la siembra (dds) de maíz forrajero, cultivado en suelo arcilloso. CELALA-INIFAP-UAAANUL 2008.

Dosis de N (kg ha ⁻¹)	Cantidad extraída de N por las hojas (kg ha ⁻¹)		
	38 dds	59 dds	74 dds
70	22.9	72.5	76.9
190	33.0	67.6	69.0
310	33.6	96.6	81.6
430	49.6	105.7	104.0
C.V.	37.0	45.1	47.3

No hay diferencia estadística significativa en los valores de cada columna, Duncan ($p \leq 0.05$).

4.2.3.3 Extracción de N por mazorcas y brácteas

Las mazorcas y brácteas se obtuvieron hasta el muestreo realizado a 74 días después de la siembra (dds), ya que en el muestreo realizado a 59 dds la planta todavía no iniciaba la etapa de floración. En otro experimento realizado en la Comarca Lagunera sobre rendimiento y extracción de N en maíz forrajero se encontró que la etapa de floración inició a 65 dds (Reta *et al.*, 2000).

En los resultados de la extracción de N del Cuadro 31 no hay diferencia estadística entre las dosis aplicadas de N, ni tendencia alguna con ninguna de las dosis aplicadas de fertilizante.

Cuadro 31. Extracción de nitrógeno (N) por mazorca y brácteas, en el muestreo de planta realizado a 74 días después de la siembra (dds) de maíz forrajero, cultivado en suelo arcilloso. CELALA-INIFAP-UAAANUL 2008.

Dosis de N (kg ha ⁻¹)	Cantidad extraída de N a los 74 dds (kg ha ⁻¹)	
	Mazorcas	Brácteas
70	22.0	14.5
190	12.0	12.8
310	18.9	16.8
430	31.9	20.7
C.V.	45.7	28.7

No hay diferencia estadística significativa en los valores de cada columna, Duncan ($p \leq 0.05$).

4.2.4 Concentración de N en planta en los muestreos intermedios

En el suelo de textura arcillosa, la concentración de nitrógeno (N) se analizó en cuatro muestreos realizados durante el ciclo del cultivo, a los 38, 59, 74 y 105 días después de la siembra (dds).

4.2.4.1 Nitrógeno (N) en tallos

En la concentración de nitrógeno (N) en tallos durante todo el ciclo del cultivo no hubo diferencia estadística entre tratamientos (Cuadro 32). En todas las dosis aplicadas, la concentración de N en tallos fue disminuyendo conforme avanzaban los días después de la siembra, lo cuál indica que el N se redistribuye a otros órganos de la planta.

Cuadro 32. Concentración de N en tallos en muestreos de planta realizados a 38, 59, 74 y 105 días después de la siembra (dds) de maíz forrajero, cultivado en suelo arcilloso. CELALA-INIFAP-UAAANUL 2008.

Dosis de N (kg ha ⁻¹)	Porcentaje de N en tallos			
	38 dds	59 dds	74 dds	105 dds
70	1.27	0.77	0.59	0.35
190	1.27	0.84	0.54	0.31
310	1.32	1.12	0.54	0.35
430	1.65	1.13	1.06	0.39
C.V.	18.8	22.9	63.6	52.4

No hay diferencia estadística significativa en los valores de cada columna, Duncan ($p \leq 0.05$).

4.2.4.2 Nitrógeno (N) en hojas

Los resultados de la concentración de nitrógeno (N) en hojas no se presentó diferencia estadística significativa entre dosis aplicadas de N (Cuadro 33). Al igual que la concentración de N en tallos, en estos resultados se observa una tendencia decreciente conforme a la edad de la planta en todos los tratamientos.

Cuadro 33. Concentración de N en hojas, en muestreos de planta realizados a 38, 59, 74 y 105 días después de la siembra (dds) de maíz forrajero, cultivado en suelo arcilloso. CELALA - INIFAP - UAAANUL 2008.

Dosis de N (kg ha ⁻¹)	Porcentaje de N en hojas			
	38 dds	59 dds	74 dds	105 dds
70	1.94	1.63	1.43	0.73
190	1.93	1.58	1.32	1.11
310	2.11	2.09	1.60	1.17
430	2.28	2.27	1.81	1.31
C.V.	16.2	20.4	25.1	36.7

No hay diferencia estadística significativa en los valores de cada columna, Duncan ($p \leq 0.05$).

4.2.4.3 Nitrógeno (N) en mazorca y brácteas

En la concentración de N en mazorcas y brácteas tampoco se obtuvo diferencia estadística entre las medias de las dosis aplicadas de fertilización nitrogenada (Cuadro 34).

Cuadro 34. Concentración de N en mazorca y brácteas, en muestreos de planta realizados a 74 y 105 días después de la siembra (dds) de maíz forrajero, cultivado en un suelo arcilloso. CELALA-INIFAP-UAAANUL 2008.

Dosis de N (kg ha ⁻¹)	N en planta a los 74 dds		N en planta a los 105 dds	
	Mazorca	Bráctea	Mazorca	Bráctea
70	1.92	0.89	1.07	0.38
190	2.12	0.97	1.38	0.44
310	1.91	0.98	1.28	0.42
430	2.17	1.00	1.33	0.39
C.V.	12.3	18.0	24.5	38.3

No hay diferencia estadística significativa en los valores de cada columna, Duncan ($p \leq 0.05$).

4.2.4.4 Nitrógeno total en planta por tratamiento

Las siguientes figuras muestran gráficamente la tendencia descendente que fue teniendo la concentración de N en los órganos de la planta en cada uno de los tratamientos, conforme se desarrolló el cultivo, hasta llegar a la etapa de la cosecha en el cultivo en suelo arcilloso. Se agregó la línea de tendencia a los datos de cada órgano de la planta, la ecuación polinómica de tallos y hojas con su coeficiente de determinación (r^2).

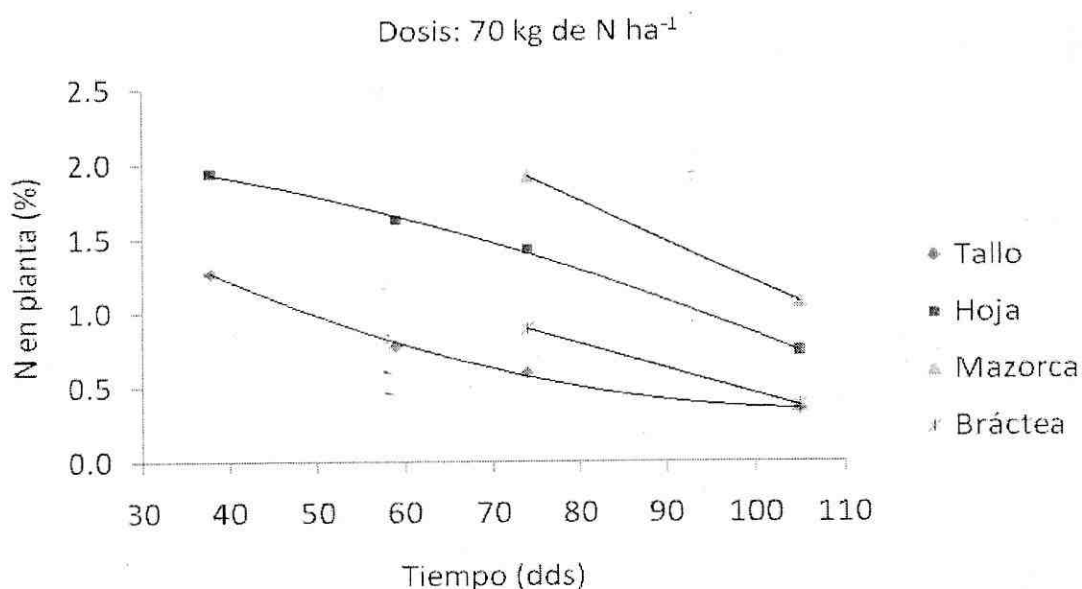


Figura 7. N total en los órganos de la planta a 38, 59, 74 y 105 dds.

Ecuación polinómica y coeficiente de determinación (r^2) de la línea de tendencia de tallo y hojas de la Figura 7:

$$\text{Tallo } y = 0.0002x^2 - 0.0397x + 2.5071 \quad R^2 = 0.9968$$

$$\text{Hoja } y = -0.0001x^2 - 0.0031x + 2.2003 \quad R^2 = 0.9984$$

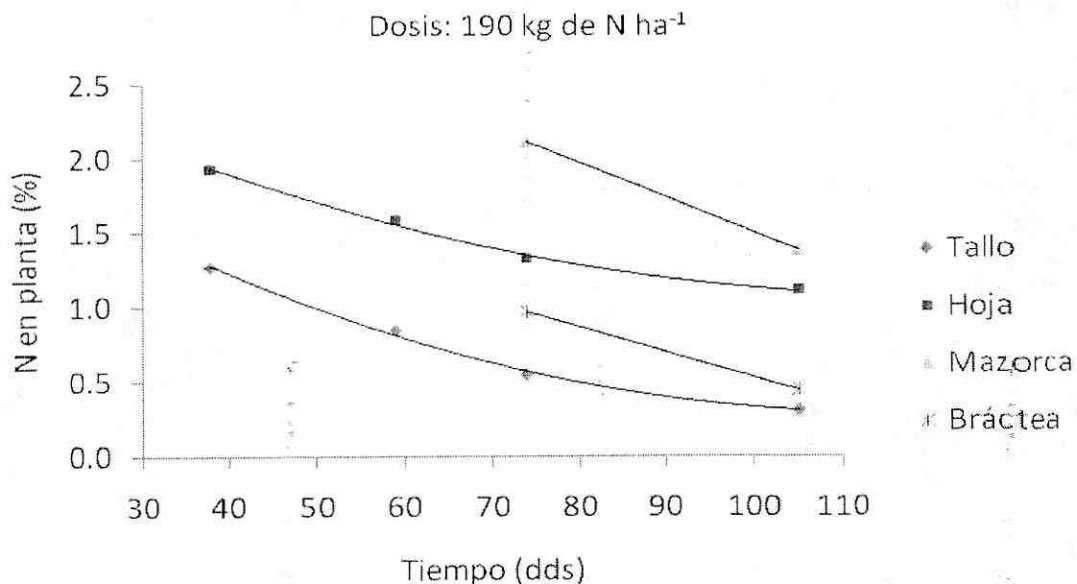


Figura 8. N total en los órganos de la planta a 38, 59, 74 y 105 dds.

Ecuación polinómica y coeficiente de determinación (r^2) de la línea de tendencia de tallo y hojas de la Figura 8:

$$\text{Tallo } y = 0.0002x^2 - 0.0384x + 2.4951 \quad R^2 = 0.9966$$

$$\text{Hoja } y = 0.0001x^2 - 0.0311x + 2.9332 \quad R^2 = 0.996$$

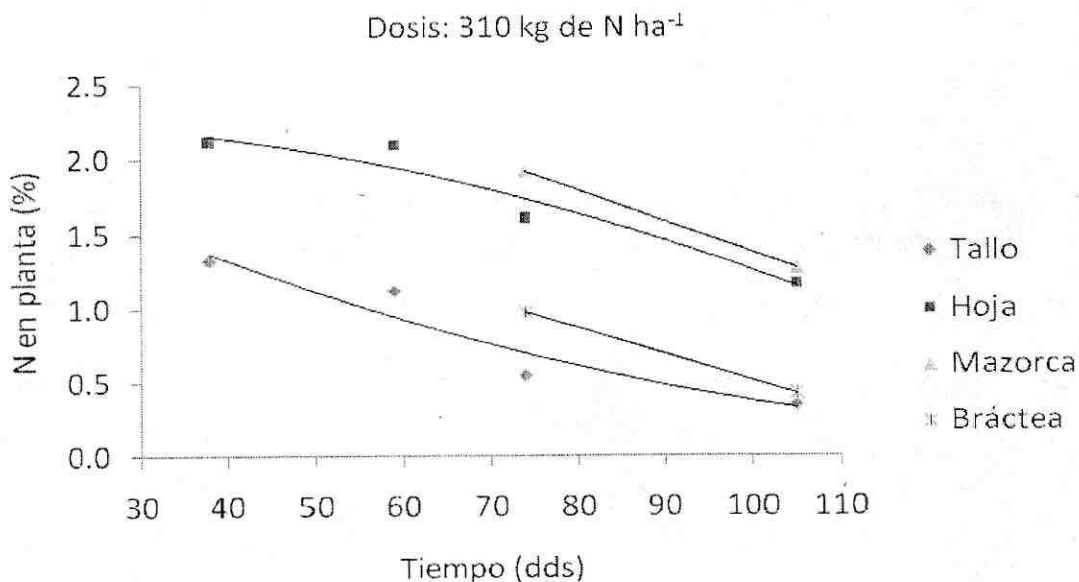


Figura 9. N total en los órganos de la planta a 38, 59, 74 y 105 dds.

Ecuación polinómica y coeficiente de determinación (r^2) de la línea de tendencia de tallo y hojas de la Figura 9:

$$\text{Tallo } y = 0.0001x^2 - 0.0303x + 2.3791 \quad R^2 = 0.9094$$

$$\text{Hoja } y = -0.0001x^2 + 0.0003x + 2.2956 \quad R^2 = 0.9282$$

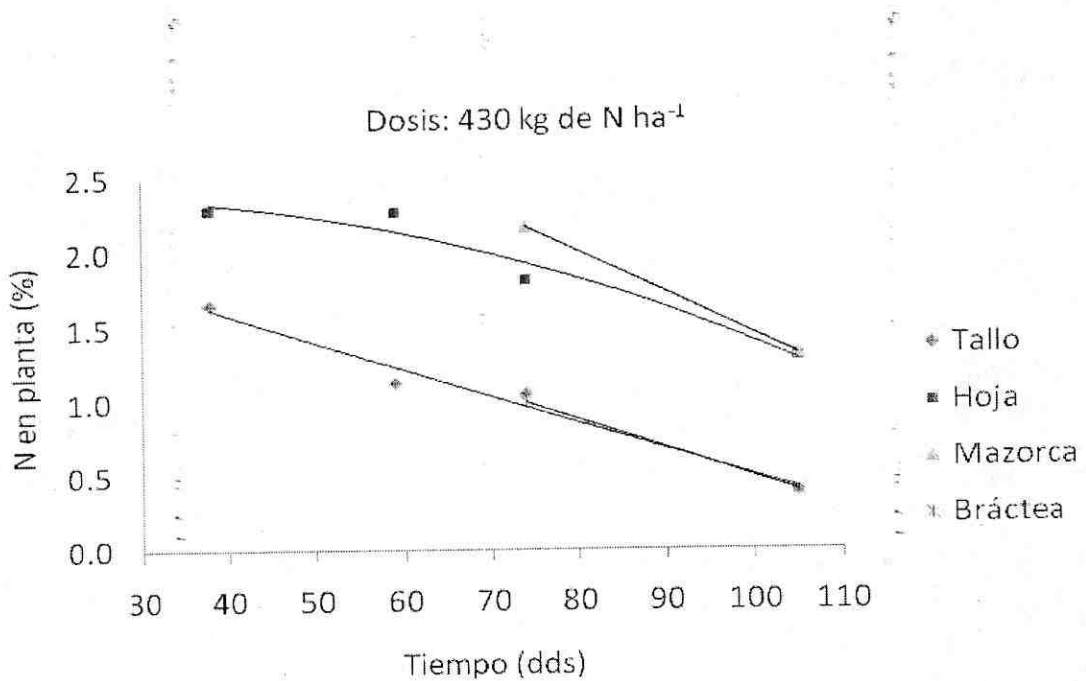


Figura 10. N total en los órganos de la planta a 38, 59, 74 y 105 días después de la siembra.

Ecuación polinómica y coeficiente de determinación (r^2) de la línea de tendencia de tallo y hojas de la Figura 10:

$$\text{Tallo } y = 6E-06x^2 - 0.019x + 2.3361 \quad R^2 = 0.9742$$

$$\text{Hoja } y = -0.0001x^2 + 0.0052x + 2.3315 \quad R^2 = 0.9515$$

CONCLUSIONES

En base a las condiciones bajo las cuáles fue realizado el estudio y resultados obtenidos se concluye que:

- El rendimiento en verde y seco de maíz forrajero cultivado en suelo arenoso presentó diferencia estadística significativa entre las dosis de fertilización, donde la dosis de 270 y 377 kg de N ha⁻¹ presentan el mayor rendimiento. En el suelo arcilloso las dosis de N aplicadas no provocaron diferencia estadística en rendimiento de forraje y materia seca (MS).

- En rendimiento de MS por órganos, en suelo arenoso durante la cosecha presentó diferencia estadística significativa en la distribución en hoja y mazorca. En los muestreos intermedios hubo diferencia estadística significativa en tallos y hojas en el muestreo de planta realizado a los 66 días después de la siembra (dds), donde, al aumentar la dosis de N hubo también un incremento en la MS de estos órganos. En el suelo arcilloso el rendimiento de MS por órganos fue estadísticamente igual; sólo se presentó diferencia estadística significativa en la distribución en hojas en el muestreo realizado a los 38 dds.

- En los resultados de N total en planta durante cosecha, en el suelo arenoso sólo hubo diferencia en la concentración de N en hojas, las cuáles, tuvieron mayor concentración con las dosis de 270 y 377 kg de N ha⁻¹. En los muestreos intermedios fue a 66 y 81 dds donde hubo diferencia estadística significativa en la concentración de N en tallos, hojas y brácteas. En suelo arcilloso la concentración de N en los órganos de la planta, durante la cosecha y muestreos intermedios, fue estadísticamente igual entre los tratamientos. En general, la concentración de N durante el ciclo del cultivo, en cada uno de los órganos de la planta, tuvo una tendencia descendente en los tratamientos evaluados.

- En la cantidad extraída de N por los órganos de la planta en el suelo arenoso, en cosecha hubo diferencia estadística significativa entre dosis de N en hoja, mazorca y brácteas. En los muestreos intermedios de planta, las dosis fueron estadísticamente diferentes en tallos sólo a 66 dds, en hojas a 66 y 81 dds, y en brácteas a 81 dds. En suelo de textura arcillosa la extracción de N no se presentó diferencia estadística en ninguno de los órganos de la planta en cosecha, ni en los muestreos realizados durante el ciclo del cultivo. En los dos tipos de suelo, de todos los órganos de la planta, la mazorca fue la que extrajo más cantidad de N.

- En la altura de planta, altura de mazorca y número de mazorcas en el suelo arenoso no hubo diferencia estadística entre tratamientos, pero sí en el número de hojas verdes y secas. En el suelo arcilloso el resultado entre dosis aplicadas de N en estas variables fue estadísticamente igual, sólo se presentó diferencia estadística significativa en número de mazorcas, donde, la dosis de 430 kg de N ha⁻¹ obtuvo mayor diferencia que en las demás.

- En el suelo arcilloso se tuvo pérdida considerable de fertilizante ya que la menor dosis aplicada de N obtuvo resultados iguales estadísticamente que el resto de las dosis en la mayoría de las variables evaluadas, por lo que debe corregirse la aplicación de fertilizante para lograr un uso más eficiente del mismo. Además, el cultivo no se desarrolló adecuadamente por las condiciones climáticas por la diferencia de tiempo entre la fecha recomendada de siembra y la fecha en que se realizó en este estudio.

RESUMEN

La fertilización nitrogenada juega un papel importante en el desarrollo y producción de los cultivos, por lo cuál, se debe tener especial cuidado de hacer una aplicación adecuada del fertilizante para evitar pérdidas y eficientar el uso del mismo. El maíz forrajero en la Comarca Lagunera es un cultivo importante ya que es la fuente principal de alimentación de la ganadería regional; por lo tanto, para realizar una producción eficiente y de calidad nutricional, se debe conocer detalladamente las necesidades nutricionales de la planta durante su ciclo. En este estudio, las dosis aplicadas de N en suelo arenoso tuvieron efecto sobre el rendimiento de MS, donde, con 270 y 377 kg de N ha⁻¹ se obtuvo un rendimiento de 16.03 y 14.09 t ha⁻¹, respectivamente. En distribución de MS por órganos en cosecha, también hubo diferencia estadística significativa en hoja y mazorca. En muestreos intermedios, sólo hubo diferencia significativa a 66 días después de la siembra (dds) en tallos y hojas, donde, al aumentar la dosis de N se incrementó la MS de estos órganos. En el suelo de textura arcillosa el rendimiento de MS por órganos fue estadísticamente igual. En cosecha no hubo diferencia estadística significativa en la distribución de MS en los órganos de la planta, sólo en la distribución de MS en hojas en el muestreo realizado a los 38 dds. Los resultados de este experimento permiten deducir que, cultivar maíz forrajero en épocas tardías tiene efectos negativos para su adecuado crecimiento y desarrollo, ya que los bajos rendimientos de MS así lo demuestran. Las dosis y aplicación de N se deben corregir para hacer un uso más eficiente del fertilizante evitando pérdidas que contaminan al suelo y los costos del cultivo.

LITERATURA CITADA

- Allen M, Ford S, Harrison J, Hunt C, Lauer J, Muck R, Soderlund S. Corn silage production, management and feeding. Amer Soc Agron 1995;1-41.
- Archivo Agronómico. Ignacio A. Ciampitti y Fernando O. García. 2009. Requerimientos Nutricionales. IPNI (International Plant Names Index). Acassuso, Buenos Aires, Argentina. Consultado en 2009. [http://www.ipni.net/ppiweb/ltams.nsf/\\$webindex/3971CBCC1D02F416032573FB0063AA92](http://www.ipni.net/ppiweb/ltams.nsf/$webindex/3971CBCC1D02F416032573FB0063AA92)
- Bertoia M. L. 2007. Algunos conceptos sobre el cultivo de maíz para ensilaje. Laboratorio N.I.R.S. de análisis de cereales y forrajes. Cátedras de Cerealicultura y Manejo de Pasturas. Consultado en 2009. <http://www.infortambo.com.ar/admin/upload/arch/EI%20cultivo%20de%20maiz%20para%20ensilaje%20-%20L%20Bertoia.pdf>
- Bertsch Hernández, Floria. 2003. Absorción de nutrimentos por los cultivos. 1ª ed. San José, C. R. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo (ACCS).
- BRIEF DE MERCADO. MAIZ. Consultado en octubre de 2009. <http://www.economiachiapas.gob.mx/cicv/PDF/MAIZ.pdf>
- Bruulsema, T.W., L. Jerry, and H. Bill. 2009. Know your fertilizer rights. Crops and Soils 42(2):13-18. Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. San José, Costa Rica 2009.
- Caputo, C.M., Victoria Criado e Irma N. 2009. Roberts IBYF (CONICET-Facultad de Agronomía-UBA) Información parcialmente publicada en Plant Physiology and Biochemistry 47(2009): 335-42.

Ciclo del nitrógeno, por Lisa Gardiner. Consultado en 2009.
[http://www.windows.ucar.edu/tour/link=/earth/Life/nitrogen_cycle.sp.html
&fr=t](http://www.windows.ucar.edu/tour/link=/earth/Life/nitrogen_cycle.sp.html&fr=t)

Composición química. Monografías.com. Consultado en 2009.
<http://www.monografias.com/trabajos10/compo/compo.shtml>

Cosecha de maíz forrajero. Consultado en 2008.
<http://w4.siap.sagarpa.gob.mx/AppEstado/monografias/Forrajes/MaizF.html>

Cox W.J., S. Kalonge, D.J.R. Cherney, W.S. Reid (1993) Growth, yield and quality of forage maize under different nitrogen management practices. *Agron. J.* 85:341-347.

Chalupa, W. Requerimientos de forrajes de vacas lecheras. Primer Ciclo internacional de conferencias sobre nutrición y manejo. Gómez Palacio, Dgo. LALA. 1995:19-28

García, A., Thiex, N., Kalscheur, K. y Tjardes, K. 2005. Interpretación del análisis del ensilaje de maíz. College of agriculture and Biological Sciences / South Dakota State University / USDA. Consultado en 2009.
<http://agbiopubs.sdstate.edu/articles/ExEx4027-S.pdf>

Grossnickle SC. (2000). *Ecophysiology of Northern Spruce Species: The Performance of Planted Seedlings*. Ottawa, Ontario, Canada, NRC Research Press 409 p.

Haase DL, R Rose (Eds.). 1997. *Symposium Proceedings: Forest Seedling Nutrition from the Nursery to the Field*. Oregon State University, Nursery Technology Cooperative. 161 p.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). Comarca lagunera. Consultado en 2010. http://es.wikipedia.org/wiki/Comarca_Lagunera

InfoAgro.com. El cultivo de maíz. Consultado en 2009. <http://www.infoagro.com/herbaceos/cereales/maiz.htm>

IPNI. 2009. 4R Nutrient Stewardship Style Guide. International Plant Nutrition Institute. Ref. # 09068. June, 2009. Norcross, GA. Memorias del Simposio "Uso Eficiente de Nutrientes", Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. San José, Costa Rica 2009.

Jones, J.B. 2001. Laboratory guide for conducting soil tests and plant analysis. CRC Press. New York.

Landis TD. (1985). Mineral nutrition as an index of seedling quality. En Duryea, M. (Ed): Evaluating seedling quality: principles, procedures and predictive abilities of mayor test. Forest Research Lab. Oregon State University Corvallis. p. 29-48.

Lemaire, G.; Salette, J. y Laissus, R. (1982). Analyse de la croissance d'une prairie naturelle normande au printemps: II. La dynamique d'absorption de l'azote et son efficience. Fourrages 92:51-65.

Localización de la Comarca Lagunera. Consultado en 2009: <http://www.comarcalagunera.com/portal/laguna/comarca.php>

Luis Romero M.L., 2009. Nitrógeno en el suelo. Curso de Nutrición Vegetal. Delicias, Chihuahua. Abril de 2009.

Lundvall JP, Buxton DR, Hallauer AR, George JR. Forage quality variation among maize inbreds: in vitro digestibility and cell wall components. *Crop Sci* 1994; 34:1672-1678.

Maíz forrajero. Consultado en 2008.

<http://w4.siap.sagarpa.gob.mx/AppEstado/monografias/Forrajes/MaizF.html>

Malik V, VR Timmer. (1998). Biomass partitioning and nitrogen retranslocation in black spruce seedlings on competitive mixedwood sites: a bioassay study. *Can. J. For. Res.* 28:206-215.

Marcos L.R. Crecimiento y dinámica de acumulación de nutrientes en maíz (*Zea mays* L.) en Venezuela. Departamento de Fertilizantes, AGROISLEÑA, C.A., Caracas, Venezuela. INFORMACIONES AGRONÓMICAS No. 53.

Navarro R. y J. Pemán. (1997). Apuntes de Producción de Planta Forestal. Córdoba, España. Ediciones Universidad de Córdoba. 267 p.

Núñez, H.G., González, C.F., Faz, C.R. y Figueroa, V.U. 2006. Etapas de madurez a la cosecha. En: Tecnología de producción de maíz forrajero de alto rendimiento y calidad nutricional. Folleto Técnico Núm. 13. Campo Experimental La Laguna. INIFAP. p. 35.

Núñez, H.G., González, C.F., Faz, C.R. y Figueroa, V.U. 2006. Fechas de siembra recomendadas. En: Tecnología de producción de maíz forrajero. Folleto Técnico Num. 13. Campo Experimental La Laguna. INIFAP. p. 8.

- Núñez, H.G., González, C.F., Faz, C.R. y Figueroa, V.U. 2006. Fertilización de maíz forrajero. En: Tecnología de producción de maíz forrajero de alto rendimiento y calidad nutricional. Folleto Técnico Num. 13. Campo Experimental La Laguna. INIFAP. p. 10 y 11.
- Núñez, H.G., González, C.F., Faz, C.R. y Figueroa, V.U. 2006. Nitrógeno. En: Tecnología de producción de maíz forrajero de alto rendimiento y calidad nutricional. Folleto Técnico Núm. 13. Campo Experimental La Laguna. INIFAP. p. 12 y 13.
- Núñez, H.G., Peña, R.A., González, C.F. y Faz, C.R. 2006. Características de híbridos de maíz de alto rendimiento y calidad nutricional de forraje. En: Maíz forrajero de alto rendimiento y calidad nutricional. Libro Científico No. 3. Campo Experimental La Laguna. INIFAP. p. 45.
- Núñez H.G., R. Faz C., F. González C., y A. Peña R. 2005. Madurez de híbridos de maíz a la cosecha para mejorar la producción y calidad del forraje. Téc. Pecu. Méx. 43:69-78.
- Nutrientes en las plantas. Botanical online. Consultado en 2009.
<http://www.botanical-online.com/nutrientesplantas.htm>
- Pasturas y Cultivos Forrajeros. México II. Por Ricardo Améndola, Epigmenio Castillo y Pedro Arturo. Consultado en 2009.
http://www.fao.org/ag/AGP/agpc/doc/Counprof/spanishtrad/Mexico_sp/Mexico2_sp.htm
- Peil, M.R., Galvez, L.J. Reparto de materia seca como factor determinante de la producción de las hortalizas de fruto cultivadas en invernadero. R bras. Agrociencia, v.11, n. 1, p. 05-11, jan-abr, 2005.

Peñuelas J, L Ocaña. 2000. Cultivo de Plantas Forestales en Contenedor. Madrid, España. Ediciones Mundi-Prensa. 190 p.

Pordesimo L.O., Edens W.C. y Sokhansanj S. 2004. Distribution of aboveground biomass in corn stover. *Biomass and Bioenergy Vol. 26, p. 337-343.*

Propiedades químicas del suelo. Consultado en 2009.

<http://pdf.rincondelvago.com/propiedades-quimicas-del-suelo.html>

Reta S.D.G., Cueto W.J.A., Gaytán M.A. y Santamaría C.J. 2007. Rendimiento y extracción de nitrógeno, fósforo y potasio de maíz forrajero en surcos estrechos. *Agricultura Técnica en México Vol. 33 Núm. 2 Mayo-Agosto 2007 p. 145-151.*

Romero M.L. y Ruiz S.J.M. 2009. Universidad de Granada, España. Diagnóstico Nutricional. Curso de Nutrición Vegetal y Manejo de Enfermedades en Cultivos Hortícolas. Delicias, Chihuahua. Abril de 2009.

Romero M.L. y Ruiz S.J.M. 2009. Universidad de Granada, España. Generalidades de la nutrición: N en el suelo. Curso en Delicias, Chihuahua. Abril de 2009.

SAGARPA. 2009. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, delegación lagunera. Anuario estadístico de la producción agropecuaria de la Comarca Lagunera.

Salazar, S.E., Beltrán, M.A., Fortis, H.M. 2003. Mineralización de nitrógeno en el suelo y producción de maíz forrajero con tres sistemas de labranza. *TERRA Latinoamericana, Vol. 21, Núm 4, octubre-diciembre, 2003.*

SAS Institute. 2003. SAS/STATuser's guide. Release 9.1 ed. SAS Inst., Cary, NC.

Sánchez, V.J. 2009. Fertilidad del suelo -Conceptos Básicos- FERTITEC S.A. Consultado en 2009.
<http://www.fertitec.com/PDF/FERTILIDAD%20DEL%20SUELO%20Y%20NUTRICION.pdf>

Sánchez, V.J. 2009. Propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo - Conceptos Básicos- FERTITEC S.A. Consultado en 2009.
<http://www.fertitec.com/PDF/FERTILIDAD%20DEL%20SUELO%20Y%20NUTRICION.pdf>

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), con Información de las Delegaciones de SAGARPA. 2009.

Shaw TM, JA Moore, JD Marshall. (1998). Root chemistry of Douglas-fir seedlings grown under different nitrogen and potassium regimes. *Can. J. For. Res.* 28: 1566-1573.

Solórzano, P.R. 1999. Crecimiento de la planta de arroz y acumulación de N-P-K a lo largo de su ciclo de vida, en Calabozo-Guárico, Venezuela. Trabajo presentado en el XV Congreso Venezolano de la Ciencia del Suelo, 30 de noviembre al 4 de diciembre de 1999. Barquisimeto-Lara, Venezuela.

Tablas FEDNA (2004) de composición y valor nutritivo de forrajes y subproductos fibrosos húmedos. I. FORRAJES. S. Calsamiglia, A. Ferret y A. Bach. Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal. Madrid, España.

Timmer VR, AS Aidelbaum. (1996). Manual for exponential nutrient loading of seedlings to improve transplanting performance on competitive forest sites. Sault Ste Marie (Ontario): Canadian Forest Service, Natural Resources Canada. NODA/NFP Technical Report TR25. 21 p.

Van den Driessche R. (1991). Mineral nutrition of conifer seedlings. Boca Raton, FL, USA. CRC Press. 274 p.

Van den Driessche R. (1992). Changes in drought resistance and root growth capacity of container seedlings in response to nursery drought, nitrogen and potassium treatments. *Can. J. For. Res.* 22: 740-749.