

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE AGRONOMIA
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO



EVALUACION DE VARIETADES DE MAIZ Y
DENSIDAD DE SIEMBRA EN LA PRODUCCION
DE FORRAJE VERDE HIDROPONICO

TESIS:

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCION ANIMAL

PRESENTA:

ZAHIDD MEZA CARRANCO

MARIN, N. L.

DICIEMBRE DEL 2005

TM

Z5071

FA

2005

.M439



1020150611

T M
Z 5071

FA

2005

.M439



FONDO
TESIS

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE AGRONOMIA
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO



**EVALUACION DE VARIEDADES DE MAIZ Y
DENSIDAD DE SIEMBRA EN LA PRODUCCION
DE FORRAJE VERDE HIDROPONICO**

TESIS:

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCION ANIMAL**

**PRESENTA:
ZAHIDD MEZA CARRANCO**

MARIN. N.L.

DICIEMBRE DEL 2005

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE AGRONOMÍA

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

EVALUACIÓN DE VARIETADES DE MAÍZ Y DENSIDAD DE
SIEMBRA EN LA PRODUCCIÓN DE FORRAJE VERDE
HIDROPÓNICO

TESIS
QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN ANIMAL

PRESENTA
ZAHIDD MEZA CARRANCO

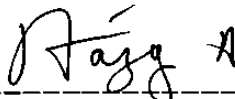
APROBACIÓN DE TESIS



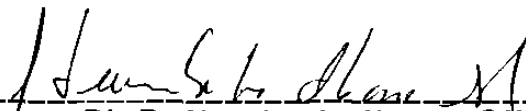
Ph.D. Emilio Olivares Sáenz
Añesor Principal



Ph.D. Erasmo Gutiérrez Ornelas
Coasesor



Ph.D. Rigoberto E. Vázquez Alvarado
Coasesor



Ph.D. Humberto Ibarra Gil
Subdirector de Estudios de Posgrado

DEDICATORIA

A DIOS:

Por permitirme dar otro paso en la vida, en compañía de mis seres queridos, ya que sin la presencia divina, la vida no tiene sentido alguno, y al compartir la vida con Dios es compartirla con todo el universo, disfrutando hasta el más insignificante componente que en él exista.

A MIS PADRES:

Sr. José Luis Meza Guerra y Sra. Ma. del Socorro Carranco Peña, por continuar brindándome todo el cariño necesario durante mi formación y guiarme en el camino del bien, ayudando a quien lo necesite.

A MIS HERMANOS:

Luis Alexandro y Milton Israel, por seguir apoyándome durante el transcurso de mi carrera y mantener firme nuestra amistad.

A MIS AMIGOS:

Juan Manuel Leal, Azael Ruiz, Eduardo Enriquez, Isis Hernández, Emanuel Jacob, Jorge Villarreal, Silvia Ramírez, Samuel Puente, Carlos Michel, Leticia Alcalá, Rubén Luján, Gerardo Jiménez, José Natividad, Fidencio González y Gabriel Alejandro, por compartir la dicha de ser estudiantes y tratar de ver lo mejor de todo lo que en ese ambiente sucede.

AGRADECIMIENTOS

Al Ph.D. Emilio Olivares Sáenz.

Por brindarme el apoyo necesario para la realización de este trabajo, así como aconsejarme y guiarme en el camino de la investigación.

Al Ph.D. Erasmo Gutiérrez Ornelas.

Por sus importantes comentarios durante la realización de esta investigación, además de brindarme un ambiente de sinceridad.

Al Ph.D. Rigoberto E. Vázquez Alvarado

Por su apoyo incondicional durante mi estancia en la Facultad, especialmente en el transcurso del proyecto de Tesis.

Al Proyecto de Invernaderos.

Por proveer todo lo necesario para la realización de esta valiosa investigación.

Al Ph.D. Humberto Ibarra Gil

Por su valioso apoyo durante mi transcurso como estudiante de postgrado, así como su participación moral durante los proyectos de investigación.

Al M.C. José Francisco Uresti Salazar.

Por su participación y amabilidad al apoyarme en el Laboratorio de Bromatología.

Al Ing. Alfredo Peña López.

Por ser un empleado ejemplar de esta Facultad y por brindarme su amistad.

Al Ing. Leonel Crespo Ruiz.

Por ayudarme, apoyarme y aconsejarme durante mi estancia en la Facultad.

A la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León.

Por proveerme de la beca necesaria para alcanzar mis estudios de Licenciatura y Maestría.

A todas aquellas personas que intervinieron para la realización de este trabajo, incluyendo empleados y alumnos de esta Universidad.

RESUMEN

Zahidd Meza Carranco

Fecha de Graduación: Diciembre, 2005

Universidad Autónoma de Nuevo León

Facultad de Agronomía

Título del Estudio: EVALUACIÓN DE VARIEDADES DE MAÍZ Y DENSIDAD DE SIEMBRA EN LA PRODUCCIÓN DE FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO

Número de páginas: 101

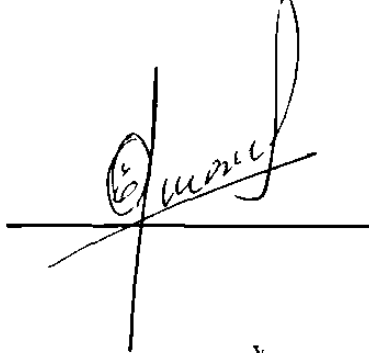
Candidato para el grado de Maestría
en Ciencias con especialidad en
Producción Animal

Área de Estudio: Producción Animal

Propósito y Método del Estudio: Los objetivos fueron evaluar la generación F₂ de dos híbridos de maíz en la producción de Forraje Verde Hidropónico (FVH) evaluar dos densidades de maíz para producir FVH, identificar las características bromatológicas de maíz producido en FVH. Se realizaron 2 experimentos en el año 2004 consistiendo el experimento 1 de adicionar solo agua para el crecimiento de las plantas y en el experimento 2 se adicionó triple 16 con micro nutrientes a razón de 126 g/200 l de agua. Se evaluaron 2 híbridos de maíz (Pioneer 3025 y Pioneer 31G98) con dos densidades de siembra (2 y 3 kg m²) y cuatro alturas de corte (19.65, 24.85, 31.36 y 34.62 cm). La siembra se realizó en charolas de plástico. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con 3 repeticiones. Se consideró un nivel del módulo hidropónico para una repetición completa comprendiendo un área de 6050 cm² por unidad experimental. El rendimiento promedio de materia seca de los híbridos de maíz en los experimentos 1 y 2 fue de 1433 y 1503 g m² respectivamente. El rendimiento de materia seca se asoció negativamente con la altura de plantas en los experimentos 1 (P<0.05) y 2 (P<0.01). Existe una tendencia numérica positiva asociada con la altura de planta respecto a la cantidad de cenizas (%), proteína (%) y fibra neutro detergente (%) en ambos experimentos.

Contribuciones y Conclusiones: Las variedades de maíz utilizadas en el presente trabajo se comportaron diferente (P<0.05), observándose la misma conducta respecto a la densidad de siembra, por lo que se concluye que es importante realizar investigaciones respecto a la implementación de diversos cultivos con diferentes variedades, densidades de siembra y días de corte, ya que existen grandes diferencias con un simple cambio en estos factores tal como lo muestra la presente investigación, lo cual hace indispensable obtener la mejor información en cada región para mantener un óptimo desarrollo económico.

FIRMA DEL ASESOR:



A handwritten signature in black ink, written over a horizontal line. The signature is stylized and appears to read 'Zahidd Meza Carranco'. Below the signature, there is a small lowercase letter 'v'.

SUMMARY

Zahidd Meza Carranco

Date of Graduation: December, 2005

Universidad Autónoma de Nuevo León

Facultad de Agronomía

Title of the Study: EVALUATION OF MAIZE VARIETIES AND SOWING DENSITY IN THE HYDROPONIC GREEN FORAGE PRODUCTION

Number of pages: 101

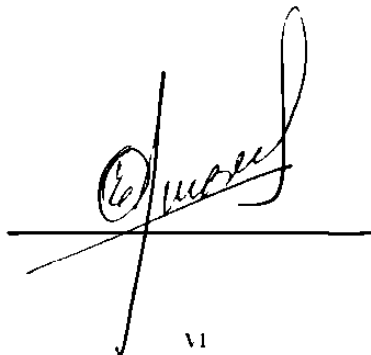
Candidate for the degree of Master in Sciences with specialty in Animal Production

Study Area: Animal Production

Intention and Method of Study: The objectives of this study were to evaluate the generation F_2 of two maize hybrids in the Green Fodder Hydroponic (FVH) production to evaluate two densities of maize to produce FVH and to identify the bromatologic characteristics of maize produced in FVH. The experiments were carried out in 2004. Two experiments were made, experiment 1 was carried out using water for the growth of plants and in the experiment 2 was fertilizing with 16-16-16 and micronutrients at rate of 126 g/200 l of water. Two maize hybrids (F_2) used were evaluated (Pioneer 3025 and Pioneer 31G98) with two densities of sowing (2 and 3 kg m^{-2}) and four heights of cut (19.65, 24.85, 31.36 y 34.62 cm). Seedtime was made in plastic trays. A completely random design with three replications was used. A level of the hydroponic module was considered like a complete repetition. An area of 6050 cm^2 was considered as experimental unit. Average dry matter yield for the evaluated corn hybrids in experiments 1 and 2 were 1433 and 1503 $g\ m^{-2}$ respectively. This yield related negatively with the height of plants in experiments 1 ($P < 0.05$) and 2 ($P < 0.01$). There was a positive numeric tendency associated with the height of plant and the amount of ash (%), protein (%) and neutral detergent fiber (%).

Contributions and Conclusions: The maize varieties used in the present work behaved different ($P < 0.05$) in the production and protein concentration of FVH. Sowing density and days of cut also have effect on FVH production. Therefore, it is important to make investigations with respect to the implementation of diverse species with different varieties, sowing densities and days of cut because there are great differences with a simple change in these factors.

SIGNATURE OF ADVISER:



ÍNDICE

	PÁGINA
PRESENTACIÓN DE TESIS FAUANL	i
APROBACIÓN DE TESIS	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
RESUMEN	v
SUMMARY	vi
INDICE GENERAL	vii
ÍNDICE DE CUADROS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
1. INTRODUCCIÓN	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. Antecedentes de Producción de FVH	3
2.2. Importancia de la Producción de FVH	3
2.3. Ventajas de Producir FVH	4
2.4. Desventajas de Producir FVH	9
2.5. Factores que Afectan la Producción de FVH	10
2.5.1. Calidad de la semilla	10
2.5.2. Iluminación	11
2.5.3. Temperatura	12
2.5.4. Humedad	15
2.5.5. Calidad del agua de riego	15

2.5.6	El pH del agua de riego	16
2.5.7.	Conductividad eléctrica del agua de riego	17
2.5.8.	La concentración del CO ₂ del ambiente	18
2.5.9.	Densidad de siembra	18
2.5.10	Cultivo	19
2.6.	Utilización de FVH en Alimentación Animal	19
3.	MATERIALES Y METODOS	22
3.1.	Localización del Trabajo	22
3.2.	Experimentos	22
3.2.1.	Experimento 1, evaluación de 2 variedades de maíz y 2 densidades de siembra, sin solución nutritiva	23
3.2.2.	Experimento 2, evaluación de 2 variedades de maíz y 2 densidades de siembra, con solución nutritiva	23
3.3.	Tratamientos	24
3.4.	Trabajo Experimental	24
3.4.1.	Fabricación del módulo	24
3.4.2.	Preparativos para iniciar con los trabajos en el módulo hidropónico	25
3.4.3.	Proceso de muestreo	26
3.5.	Variables Evaluadas	27
3.6.	Análisis Bromatológico	27
3.7.	Análisis Económico	28
3.8.	Análisis Estadístico	28

4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	30
4.1.	Experimento 1, Evaluación de 2 Variedades de Maiz y 2 Densidades de Siembra, Sin Solución Nutritiva	30
4.1.1.	Condiciones climáticas en las que se realizó el experimento	30
4.1.2.	Altura de plantas	32
4.1.3.	Ancho de hojas	33
4.1.4.	Longitud de raíz	35
4.1.5.	Producción de materia seca	38
4.1.6.	Contenido de cenizas	39
4.1.7.	Contenido de proteína cruda	40
4.1.8.	Contenido de fibra neutro detergente	41
4.1.9.	Beneficio económico	43
4.2.	Experimento 2, Evaluación de 2 Variedades de Maiz y 2 Densidades de Siembra, Con Solución Nutritiva	44
4.2.1.	Condiciones climáticas en que se realizó el experimento	45
4.2.2.	Altura de plantas	47
4.2.3.	Ancho de hojas	48
4.2.4.	Longitud de raíz	50
4.2.5.	Producción de materia seca	52
4.2.6.	Contenido de cenizas	56
4.2.7.	Contenido de proteína cruda	58
4.2.8.	Contenido de fibra neutro detergente	61
4.2.9.	Beneficio económico	63

5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	64
6.	BIBLIOGRAFIA	66
7.	APÉNDICE	76

ÍNDICE DE CUADROS

		PÁGINA
Cuadro 1.	Efecto de la variedad y el corte, sobre la altura de planta (cm), Experimento 1	33
Cuadro 2.	Efecto de la variedad y la densidad de siembra, sobre el ancho de la hoja (cm), Experimento 1	34
Cuadro 3.	Efecto de la variedad y la altura de planta al corte, sobre la longitud de raíz (cm), Experimento 1	36
Cuadro 4.	Efecto de la densidad de siembra y la altura de planta al corte, sobre la longitud de raíz (cm) Experimento 1	37
Cuadro 5.	Producción de materia seca (g.m ⁻²) para las densidades de siembra, Experimento 1	38
Cuadro 6.	Producción de materia seca (g.m ⁻²) para las diversas alturas de planta al corte (20, 26, 32 y 34 cm de altura de planta), Expenmento 1	38
Cuadro 7.	Contenido de cenizas en base seca (%) en los primeros dos muestreos (20 y 26 cm de altura de planta), Experimento 1	40
Cuadro 8.	Contenido de proteína cruda en base seca (%) en los primeros	

	dos muestreos (20 y 26 cm de altura de planta), Experimento 1	41
Cuadro 9.	Contenido de fibra neutro detergente (%) en los primeros 2 muestreos (20 y 26 cm de altura de planta), Experimento 1	42
Cuadro 10.	Balance nutricional de la comparación del grano contra el FVH del primer corte (20 cm) en términos de materia seca, cenizas, proteína cruda y fibra neutro detergente, Experimento 1	43
Cuadro 11.	Beneficio económico (\$/kg de ms/módulo) para los primeros dos muestreos (sin y con mano de obra), Experimento 1	44
Cuadro 12.	Efecto de la variedad y el corte, sobre la altura de planta (cm), Experimento 2	47
Cuadro 13.	Efecto de la variedad y la altura de la planta al corte, sobre el ancho de hoja (cm), Experimento 2	49
Cuadro 14.	Efecto de la variedad y la altura de planta al corte, sobre la longitud de raíz (cm), Experimento 2	50
Cuadro 15.	Efecto de la densidad y la altura de planta al corte, sobre la longitud de raíz (cm), Experimento 2	52
Cuadro 16.	Efecto de la variedad y la altura de planta al corte, sobre la producción de ms ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$), Experimento 2	53
Cuadro 17.	Efecto de la densidad y la altura de planta al corte, sobre la producción de ms ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$), Experimento 2	54
Cuadro 18.	Efecto de la variedad, la densidad de siembra y la altura de planta al corte, sobre la producción de ms ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$), Experimento 2	56

Cuadro 19	Efecto de la densidad de siembra y la altura de planta al corte, sobre el contenido de cenizas en base seca (%), Experimento 2	57
Cuadro 20.	Efecto de la densidad de siembra y la altura de planta al corte, sobre el contenido de proteína cruda en base seca (%), Experimento 2	59
Cuadro 21.	Efecto de la variedad, la densidad y la altura de planta al corte sobre el contenido de proteína cruda en base seca (%), Experimento 2	60
Cuadro 22.	Cuadro 21. Efecto de la variedad, la densidad y la altura de corte, sobre el contenido de fibra neutro detergente en base seca (%), Experimento 2	61
Cuadro 23.	Balance nutricional de la comparación del grano contra el FVH del primer corte (20 cm) en términos de materia seca, cenizas, proteína cruda y fibra neutro detergente, Experimento 2	62
Cuadro 24.	Beneficio económico (\$/kg de ms/módulo) para los primeros dos muestreos (sin y con mano de obra), Experimento 2	63

ÍNDICE DE FIGURAS

	PÁGINA	
Figura 1.	Temperaturas mínima, media y máxima durante el periodo experimental (°C), Experimento 1	31
Figura 2.	Temperaturas mínima, media y máxima diarias registradas en	

	el transcurso del período experimental (°C), Experimento 1	31
Figura 3.	Comportamiento de la variedad y el corte en la altura de planta (cm), Experimento 1	33
Figura 4.	Comportamiento de la variedad y la densidad de siembra en el ancho de hoja (cm), Experimento 1	34
Figura 5.	Comportamiento de la variedad y la altura de planta al corte en la longitud de raíz (cm), Experimento 1	36
Figura 6.	Comportamiento de la densidad de siembra y la altura de planta al corte en la longitud de raíz (cm), Experimento 1	37
Figura 7.	Contenido de proteína cruda en base seca (%) en los primeros dos muestreos (20 y 26 cm de altura de planta), Experimento 1	41
Figura 8.	Contenido de fibra neutro detergente (%) en los primeros 2 muestreos (20 y 26 cm de altura de planta), Experimento 1	42
Figura 9.	Promedios de temperaturas mínima, media y máxima durante el período experimental (°C), Experimento 2	45
Figura 10.	Temperaturas mínima, media y máxima diarias, registradas en el transcurso del período experimental (°C), Experimento 2	46
Figura 11.	Comportamiento de la variedad y el corte en la altura de planta (cm), Experimento 2	48
Figura 12.	Comportamiento de la variedad y la altura de planta al corte, en el ancho de hoja (cm), Experimento 2	49
Figura 13.	Comportamiento de la variedad y la altura de planta al corte en la longitud de raíz (cm), Experimento 2	51

Figura 14	Comportamiento de la densidad de siembra y la altura de planta al corte en la longitud de raíz (cm), Experimento 2	52
Figura 15.	Comportamiento de la variedad y la altura de planta al corte en la producción de ms (g.m^{-2}), Experimento 2	54
Figura 16.	Comportamiento de la densidad y la altura de planta al corte en la producción de ms (g.m^{-2}), Experimento 2	55
Figura 17.	Comportamiento de la variedad, la densidad y la altura de planta al corte sobre la producción de ms (g.m^{-2}), Experimento 2	56
Figura 18.	Comportamiento de la densidad y la altura de planta la corte en el contenido de cenizas en base seca (%), Experimento 2	57
Figura 19.	Comportamiento de la densidad y la altura de planta al corte en el contenido de proteína cruda en base seca (%), Experimento 2	59
Figura 20.	Comportamiento de la variedad, la densidad y la altura de planta al corte en el contenido de proteína cruda en base seca (%), Experimento 2	60
Figura 21.	Comportamiento de la variedad, la densidad y la altura de planta al corte en el contenido de fibra neutro detergente en base seca (%), Experimento 2	62

1. INTRODUCCIÓN

En diversos estudios climatológicos se ha encontrado que la región Norte del País se encuentra bajo un régimen de alta presión, la cual esta relacionada con la distribución y cantidad de lluvia, limitando ésta a su vez el desarrollo adecuado de las actividades agropecuarias.

Un ejemplo de ello sucedió en el 2003, en el que se sembraron bajo condiciones de temporal 5.7 millones de hectáreas a nivel Nacional en México, de las cuales el 25 % presentaron condiciones de muy alta siniestralidad y muy baja productividad, debidas a la poca infraestructura de riego y sus deficientes niveles de tecnificación. Sin embargo es común que cuando ocurren heladas tempranas, los daños pueden llegar a ser catastróficos.

Una alternativa válida es la implementación de un sistema de producción de Forraje Verde Hidropónico (FVH). El FVH es una tecnología de producción de biomasa vegetal obtenida a partir de la germinación y crecimiento de las plantas bajo condiciones ambientales controladas (luz, temperatura y humedad) en ausencia del suelo a partir de semillas viables de cereales o de leguminosas. Usualmente se utilizan semillas de avena, cebada, maíz, trigo y sorgo.

Es importante mencionar que la tecnología FVH es complementaria y no competitiva a la producción convencional de forraje, de manera que un gran número de experimentos y experiencias prácticas comerciales han demostrado que es posible sustituir parcialmente la matena seca que aporta el forraje obtenido mediante métodos convencionales, así como también aquel proveniente de granos

secos o alimentos concentrados por su equivalente en FVH debido a que éste ha demostrado ser una herramienta eficiente y útil en la producción animal

Objetivos

- a) Evaluar la generación F_2 de dos híbridos de maíz en la producción de FVH.
- b) Evaluación de dos densidades de maíz para producir FVH.
- c) Identificación de características bromatológicas de maíz producido en FVH.
- d) Análisis económico del sistema de producción de FVH a partir de la construcción del módulo.

Hipótesis

- a) Existe diferencia entre las generaciones F_2 de los híbridos de maíz en la producción de FVH.
- b) Existe diferencia entre densidades de siembra en la producción de FVH.
- c) El FVH tiene mejores características bromatológicas que el grano.
- d) Utilizar el sistema de producción de FVH reduce costos de producción en la explotación ganadera.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes de Producción de FVH

Debido a que la cadena alimenticia se inicia en las plantas, que son el sustento de los animales y éstos, a su vez, proveen de alimentos y productos diversos para el ser humano (Rodríguez, 2003; Foley *et al.*, 1973), el cual se ha estado interesando por conservar esta cadena por motivos de supervivencia propia (NRC, 2002b; Sanderson *et al.*, 2003; Scarbrough *et al.*, 2001), teniendo como resultado, la obtención de técnicas que le permitan conservar el funcionamiento de esta cadena (Bohnert *et al.*, 2002a; Currier *et al.*, 2004; NRC, 2002a; SAGARPA, 2003; Titgemeyer *et al.*, 2004; Whitlock *et al.*, 2003), tal es el caso de la técnica de producción de FVH (Rodríguez, 2003; FAO, 2002).

El concepto de FVH tiene inicio en el siglo XVII cuando el científico irlandés Robert Boyle (1627-1691) citado por Arano, (1998) realizó los primeros experimentos de cultivos en agua. Pocos años después, sobre el final de dicha centuria, John Woodward citado por Arano, (1998) produjo germinaciones de granos utilizando aguas de diferentes orígenes y comparó diferentes concentraciones de nutrientes para el riego de los granos así como la composición del forraje resultante.

2.2. Importancia de la Producción de FVH

En la actualidad, uno de los problemas más preocupantes en el mundo es la insuficiencia de alimentos, tanto de origen animal como vegetal (Rodríguez, 2003), esta insuficiencia es atribuida en parte por la falta de continuidad en la

producción tanto vegetal (IREBC, 1976; NRC, 2001; Scarbrough *et al.*, 2001; Sanderson *et al.*, 2003) como animal (NRC, 1995; NRC, 1981a), ya que las condiciones climáticas no son constantes, la producción de forraje no es constante y por lo tanto la producción animal es variable (IREBC, 1976).

Una forma de reducir esta variabilidad es manteniendo condiciones climáticas uniformes en áreas donde se desarrolle el forraje de manera continua (Arano, 1998; FAO, 2002; Rodríguez, 2003), logrando así alimentar animales en forma constante conforme a sus requerimientos nutricionales (Rodríguez, 2003), para que éstos tengan una producción menos variable (NRC, 1995; NRC, 1981a).

Además de obtener una producción animal menos variable al utilizar la producción de FVH, se ha reportado que también produce un beneficio económico en la producción originado por las ventajas que ofrece (Arano, 1998; FAO, 2002; Rodríguez, 2003), las cuales se muestran en la sección 2.3.

2.3. Ventajas de Producir FVH

Las ventajas que ofrece la producción de FVH son:

a) Espacio: La disminución del espacio requerido para la producción de forraje se obtiene en el sistema de producción de FVH, debido a que puede ser instalado en forma modular en la dimensión vertical, lo que optimiza el uso del espacio útil.

b) Agua: Es importante recordar el concepto de que toda materia viva depende del agua (Bidwell, 1990), por lo cual es el principal limitante para incrementar la producción agrícola así como la seguridad de alimento en el siglo 21 (Nösberger *et al.*, 2001).

En escala global el 97% es salada, del agua dulce el 2.25% está atrapada en los glaciares y hielo, dejando solo 0.75% disponible en agua dulce localizada en mantos acuíferos, ríos y lagos. La mayoría de esta agua dulce (69%) es utilizada para la producción agrícola, 23% para propósitos industriales y 8% para propósitos domésticos (Parthapar, 2000).

En el sistema de producción de FVH las pérdidas de agua por evapotranspiración, escurrimiento superficial e infiltración son mínimas al compararlas con las condiciones de producción convencional en especies forrajeras, cuyas eficiencias varían entre 270 a 635 litros de agua por kg de materia seca. Alternativamente, la producción de 1 kilo de FVH requiere de 2 a 3 litros de agua con un porcentaje de materia seca que oscila, dependiendo de la especie forrajera, entre un 12% a 18% (Sánchez, 1996; Lomelí, 2000; Rodríguez *et al.*, 2000). Esto se traduce en un consumo total de 15 a 20 litros de agua por kilogramo de materia seca obtenida en 14 días. (FAO, 2002).

Esta alta eficiencia del FVH en el ahorro de agua explica por qué los principales desarrollos de la hidroponía se hayan observado principalmente en países con ecozonas desérticas. La alta eficiencia en el uso del agua vuelve atractiva la alternativa de producción de FVH por parte de pequeños productores que son afectados por pronunciadas sequías, las cuales llegan a afectar la disponibilidad inclusive de agua potable para el consumo (FAO, 2002).

c) Calidad de forraje: El FVH posee una alta calidad y palatabilidad (Níguez, 1988; Dosal, 1987); existe preferencia de los animales entre variedades de pasto debido a la palatabilidad (Rosthoj y Branda *et al.*, 2001), Poppi *et al.* (1981a),

mencionan que los bovinos y los ovinos tienen la tendencia de consumir más hojas que tallos de plantas. Black y Kenney (1984), realizaron investigaciones con ovejas, probando dos tipos de pasturas y encontraron que los animales seleccionan la que puedan ingerir más rápido.

El FVH es un suculento forraje verde de aproximadamente 20 a 30 cm de altura (dependiendo del período de crecimiento) y de plena aptitud comestible para los animales (Hacker y Minson 1972; Foley, *et al.* 1973; Murphy, 1991; FAO, 2002; Rodríguez, 2003). Su alto valor nutritivo se obtiene debido a la germinación de los granos (Arano, 1998; Rodríguez, 2003) y la etapa en que se ofrece a los animales (Hacker y Minson 1972; McDonald *et al.*, 1988).

d) Inocuidad: El FVH producido, representa un forraje limpio e inocuo sin la presencia de hongos e insectos. Asegura la ingesta de un alimento conocido por su valor alimenticio y su calidad sanitaria. A través del uso del FVH los animales no comerán hierbas o pasturas indeseables que dificulten o perjudiquen los procesos de metabolismo y absorción. Tal es el caso de un hongo denominado comúnmente "comezuelo" que aparece usualmente en el centeno, el cual, cuando es ingerido por hembras preñadas induce al aborto inmediato con la trágica consecuencia de la pérdida del feto y hasta de la misma madre (FAO, 2002). Asimismo en vacas lecheras, es frecuente que los animales ingieren malezas que transmiten a la leche sabores no deseables para el consumidor final o no aceptados para la elaboración de quesos, artesanales fundamentalmente (Sánchez, 1996).

e) Eficiencia de producción: La producción de FVH apto para alimentación animal tiene un ciclo de 10 a 12 días. En ciertos casos, por estrategia de manejo

interno de los establecimientos, la cosecha se realiza a los 14 o 15 días, a pesar que el óptimo definido por varios estudios científicos, no puede extenderse mas allá del día 12. Aproximadamente a partir de ese día se inicia un marcado descenso en el valor nutricional del FVH (FAO, 2002, Rodríguez, 2003).

f) Costos de producción: Es importante encontrar la mejor opción económica para la utilización del forraje (Cox y Chemey, 2005). Combs (2001), menciona que los sistemas lecheros basados en pasturas manejadas intensivamente pueden reducir los costos de insumo e incrementar el retorno neto en granjas de tamaño pequeño y medio. En este caso, la mayor ventaja económica está asociada con las reducciones en el costo de producción de forraje.

Las inversiones necesarias para producir FVH dependerán del nivel y de la escala de producción. El análisis de costos de producción de FVH realizado por la FAO (2002); Rodríguez (2003) y Arano (1998), revelan que considerando los riesgos de sequías entre otros fenómenos climáticos adversos, las pérdidas de animales y los costos unitarios del insumo básico (semilla) el FVH es una alternativa económicamente viable que merece ser considerada por los pequeños y medianos productores. En el desglose realizado por la FAO (2002), sobre los costos, se aprecia la gran ventaja que tiene este sistema de producción por su significativo bajo nivel de costos fijos en relación a las formas convencionales de producción de forrajes. Al no requerir de maquinaria agrícola para su siembra y cosecha, el descenso de la inversión resulta evidente.

g) Diversificación de la producción: El uso del FVH posibilita intensificar y diversificar el uso de la tierra. Productores en Chile han estimado que 170 m² de

instalaciones con bandejas modulares en 4 pisos para FVH de avena, equivalen a la producción convencional de 5 ha. de avena de corte que pueden ser destinadas a la producción alternativa en otros rubros o para rotación de largo plazo y dentro de programas de intensificación sostenible de la agricultura. De igual forma, el sistema FVH posibilita regularizar la entrega de forraje a los animales para asistir a exposiciones, remates o ferias ganaderas. Sin embargo el FVH no intenta competir con los sistemas tradicionales de producción de pasturas, pero si complementarla especialmente durante periodos de déficit (Arano, 1998; FAO, 2002).

h) Comercialización: El FVH ha demostrado ser una alternativa aceptable comercialmente considerando tanto la inversión como la disponibilidad actual de tecnología (FAO, 2002). El sistema puede ser puesto a funcionar en pocos días sin costos de iniciación para proveer en forma urgente forraje como complemento nutricional (Arano, 1998; FAO, 2002; Rodríguez, 2003). También permite la colocación en el mercado de insumos (forraje) que posibilitan generar alianzas o convenios estratégicos con otras empresas afines al ramo de la producción de forraje tales como las empresas semilleristas, ferias, aras de caballos, cuerpos de caballería del Ejército, etc. (FAO, 2002). En la actualidad existen empresas comercializadoras de FVH en distintos países y todas ellas gozan de un buen nivel aparente de ventas (FAO, 2002; Rodríguez, 2003).

2.4. Desventajas de Producir FVH

Las principales desventajas identificadas en un sistema de producción de FVH son:

a) Poco conocimiento de la tecnología: Proyectos de FVH preconcebidos como "llave en mano" son vendidos a productores sin conocer exactamente las exigencias del sistema, la especie forrajera y sus variedades, su comportamiento productivo, plagas, enfermedades, requerimientos de nutrientes y de agua, óptimas condiciones de luz, temperatura, humedad ambiente, y niveles óptimos de concentración de CO₂ (FAO, 2002).

Un gran número de estos proyectos han sufrido significativos fracasos por no haberse accedido a una capacitación previa que permita un correcto manejo del sistema. Se debe tener presente que, por ejemplo, para la producción de forraje verde hidropónico sólo precisamos un fertilizante foliar quelatizado el cual contenga, aparte de los macro y micro nutrientes esenciales, un aporte básico de 200 partes por millón de nitrógeno.

Asimismo el FVH es una actividad continua y exigente en cuidados lo que implica un compromiso concreto del productor. La falta de conocimientos e información simple y directa, se transforma en desventaja, al igual que en el caso de la tecnología de hidroponía familiar (Arano, 1998; FAO, 2002).

b) Costo de instalación: Morales (1987), cita que una desventaja que presenta este sistema sería el elevado costo de implementación. Sin embargo, se ha demostrado (Sánchez, 1996) que utilizando estructuras de invernaderos hortícolas comunes, se logran excelentes resultados. Alternativamente, productores

agropecuarios brasileños han optado por la producción de FVH directamente colocado a piso sobre plástico negro y bajo microtúneles, con singular éxito. La práctica de esta metodología a piso y en túnel es quizás la más económica y accesible (FAO, 2002).

2.5. Factores que Afectan la Producción de FVH

Cualquier cosa que afecte la salud de las plantas afecta el crecimiento y producción, lo cual puede reducir seriamente su utilidad para el humano (Agrios, 1988). Debido a ello, esta sección comprende todas aquellas variables que por su importancia, condicionan en la mayoría de las veces, el éxito o fracaso de un emprendimiento hidropónico.

2.5.1. Calidad de la semilla

El éxito del FVH comienza con la elección de una buena semilla, tanto en calidad genética como fisiológica. Si bien todo depende del precio y de la disponibilidad, la calidad no debe ser descuidada. La semilla debe presentar como mínimo un porcentaje de germinación no inferior al 75% para evitar pérdidas en los rendimientos de FVH (FAO, 2002).

La semilla a utilizar debe estar limpia y tratada con una solución de hipoclorito de sodio al 1% a través de un baño de inmersión, el cual debe durar como máximo 3 minutos; y que el lote de semillas no debería contener semillas partidas ni semillas de otros cultivares comerciales (FAO, 2002).

2.5.2. Iluminación

Si no existiera luz dentro de los recintos para FVH, la función fotosintética no podría ser cumplida por las células verdes de las hojas y por lo tanto no existiría producción de biomasa. La radiación solar es por lo tanto básica para el crecimiento vegetal, a la vez que es promotora de la síntesis de compuestos (por ejemplo: Vitaminas), los cuales serán de vital importancia para la alimentación animal (Arano, 1998; FAO, 2002; Rodríguez, 2003).

Al comienzo del ciclo de producción del FVH, la presencia de luz durante la germinación de las semillas no es deseable por lo que, hasta el tercer o cuarto día de sembradas las bandejas, deberán estar en un ambiente de luz muy tenue pero con oportuno riego para favorecer la aparición de los brotes y el posterior desarrollo de las raíces. A partir del tercer o cuarto día se inicia el riego con solución nutritiva y se exponen las bandejas a una iluminación bien distribuida pero nunca directa de luz solar. Una exposición directa a la luz del sol puede traer consecuencias negativas (aumento de la evapotranspiración, endurecimiento y quemaduras de las hojas).

Cuando la producción de FVH se localiza en recintos cerrados y/o aislados de la luz solar (piezas cerradas, galpones viejos sin muchas ventanas, casa abandonada, etc), en los dos últimos días del proceso de producción, se exponen las bandejas a la acción de la luz para lograr, como cosa primordial, que el forraje obtenga su color verde intenso característico y por lo tanto complete su riqueza nutricional óptima.

Si la opción de producción es exclusivamente en recintos cerrados sin luz natural, se tendrá entonces que pensar en una iluminación artificial en base a tubos fluorescentes bien distribuidos y encendidos durante 12 a 15 horas como máximo. Para el cálculo de la iluminación debe considerarse que el FVH sólo requiere una intensidad lumínica de 1.000 a 1.500 microwatts cm^{-2} en un período de aproximadamente 12 a 14 horas diarias de luz. El uso de la luz solar es siempre la más recomendable, por lo que se debe agudizar el ingenio para lograr un máximo aprovechamiento de la luz solar y por consecuencia, lograr menores costos de producción, prioridad básica para cualquier proyecto de producción de FVH. Esto puede estar facilitado con una orientación de las instalaciones de Este a Oeste, favoreciendo de este modo la construcción de aberturas en estructuras pre existentes (FAO, 2002).

2.5.3. Temperatura

Wilson y Ford (1973), mencionan que las plantas tienen diferentes comportamientos según las condiciones climatológicas en que se encuentran. El calor intenso afecta al cultivo del maíz (Plourd, 1999), por lo que los cuidados de producción de forraje deben ser intensos. Para la producción de FVH, la temperatura es una de las variables más importantes. Ello implica efectuar un debido control sobre la regulación de la misma. El rango óptimo para producción de FVH se sitúa siempre entre los 18° C y 26 ° C (FAO, 2002).

La variabilidad de las temperaturas óptimas para la germinación y posterior crecimiento de los granos en FVH es diverso. Es así que los granos de avena,

cebada, y trigo, entre otros, requieren de temperaturas bajas para germinar, el rango de ellos oscila entre los 18°C a 21°C.

Sin embargo el maíz, muy deseado por el importante volumen de FVH que produce (Nayigihugu, *et al.* 2003), aparte de su gran riqueza nutricional, necesita de temperaturas óptimas que varían entre los 25 y 28 °C (FAO, 2002).

Guerrero (1992), menciona que la temperatura ideal para la nascencia del maíz se encuentra próxima a los 15 °C, mientras que en la fase de crecimiento la temperatura ideal se encuentra comprendida entre 24 y 30 °C. Además menciona que por encima de los 30 °C se presentan problemas en la actividad celular, disminuyendo la capacidad de absorción del agua por las raíces, agregando también que las noches cálidas no son benéficas para el maíz, pues la respiración es muy activa y la planta utiliza importantes reservas de energía a costa de la fotosíntesis realizada durante el día.

Cada especie presenta requerimientos de temperatura óptima para germinación lo que se suma a los cuidados respecto a la humedad.

En las condiciones de producción de FVH, la humedad relativa ambiental es generalmente cercana al 100%. A medida que aumenta la temperatura mínima de germinación, el control del drenaje de las bandejas es básico para evitar excesos de humedad y la aparición de enfermedades provocadas por hongos. La presencia de estos microorganismos puede llegar a ser la causa de fracasos de producción por lo que la vigilancia a cualquier tipo de situación anómala, debe constituirse en rutina de producción. El ataque de los hongos usualmente resulta fulminante y puede en cuestión de horas arrasarse con toda la producción, por lo que se requiere tener una

buena aireación del local, así como negos bien dosificados para evitar este tipo de problemas (FAO, 2002).

Una herramienta importante que debe estar instalada en los locales de producción es un termómetro de máxima y mínima que permitirá llevar el control diario de temperaturas y detectar rápidamente posibles problemas debido a variaciones del rango óptimo de la misma. Lo ideal es mantener siempre en el recinto de producción, condiciones de rango de temperatura constante. Para ello, en el caso de climas o épocas del año muy frías, es necesario calentar el ambiente, y viceversa, en climas o estaciones del año de muy altas temperaturas, habrá que ventilarlo al extremo o enfriarlo. Usualmente la calefacción dentro del recinto de producción, viene dada por la inclusión de estufas de aserrín. El número de éstas está en función de la intensidad del frío que exista, y de la temperatura que se pretende alcanzar (Schneider, 1991). Por otra parte la reducción de altas temperaturas puede obtenerse a través de la colocación de malla de sombra y/o conjuntamente con la instalación de aspersores sobre el techo del invernadero (Arano, 1998; FAO, 2002; Rodríguez *et al.*, 2000, Rodríguez, 2003), por lo que importante conocer el efecto de estación en la utilización de forrajes así como su calidad (Dubbs *et al.*, 2003; Kallenbach *et al.*, 2003), pero si se puede instalar el sistema de producción de FVH en ambientes aislados de los cambios climáticos exteriores, la producción se verá optimizada (FAO, 2002; Rodríguez, 2003).

2.5.4. Humedad

El cuidado de la condición de humedad en el interior del recinto de producción es muy importante. La humedad relativa del recinto de producción no puede ser inferior a 90%. Valores de humedad superiores al 90% sin buena ventilación pueden causar graves problemas fitosanitarios debido fundamentalmente a enfermedades fungosas difíciles de combatir y eliminar, además de incrementar los costos operativos (FAO, 2002).

La situación inversa (excesiva ventilación) provoca la desecación del ambiente y disminución significativa de la producción por deshidratación del cultivo, ya que la falta de agua en el cultivo del maíz provoca el cierre de los estomas, reduciendo la fotosíntesis, lo cual afecta el rendimiento (Guerrero, 1992). Por lo tanto compatibilizar el porcentaje de humedad relativa con la temperatura óptima es una de las claves para lograr una exitosa producción de FVH (FAO, 2002).

2.5.5. Calidad del agua de riego

La calidad del agua de riego es otro de los factores singulares en la ecuación de éxito. La condición básica que debe presentar un agua para ser usada en sistemas hidropónicos es su característica de potabilidad. Su origen puede ser de pozo, de lluvia, o agua corriente de cañerías. Si el agua disponible no es potable, se tendrán problemas sanitarios y nutricionales con el FVH

Para el caso en que la calidad del agua no sea la más conveniente, será imprescindible el realizar un detallado análisis químico de la misma, y en base a ello reformular la solución nutritiva, así como evaluar que otro tipo de tratamiento tendría

que ser efectuado para asegurar su calidad (filtración, decantación, asoleo, acidificación o alcalinización).

La calidad de agua no puede ser descuidada y existen casos donde desconocer su importancia fue causa de fracasos y pérdidas de tiempo. Un ejemplo de esto lo constituye una experiencia llevada a cabo en el Departamento de Rocha – Uruguay – donde la utilización de una fuente de agua proveniente de una cañada del lugar, provocó una muy severa aparición de enfermedades fungosas, al igual que una elevada presencia de colibacilos fecales en el cultivo. Ramos (1999), establece criterios en el uso de aguas para cultivos hidropónico respecto a: i) contenido en sales y elementos fitotóxicos (sodio, cloro y boro); ii) contenido de microorganismos patógenos; iii) concentración de metales pesados; y iv) concentración de nutrientes y compuestos orgánicos. Sin embargo es recomendado que los valores de los elementos mencionados coincidan con los del agua potable (Ver Apéndice Cuadro A16).

2.5.6. El pH del agua de riego

El valor de pH del agua de riego debe oscilar entre 5.2 y 7 y salvo raras excepciones como son las leguminosas, que pueden desarrollarse hasta con pH cercano a 7.5, el resto de las semillas utilizadas (cereales mayormente) usualmente en FVH, no se comportan eficientemente por encima del valor 7 (FAO, 2002). El maíz prefiere pH comprendido entre 6 y 7, pero se adapta a condiciones de pH más bajo y más elevado (Guerrero, 1992).

2.5.7. Conductividad eléctrica del agua de riego

La conductividad eléctrica del agua (CE) indica cual es la concentración de sales en una solución. En este caso, nos referiremos siempre a la solución nutritiva que se le aplica al cultivo. Su valor se expresa en miliSiemens por centímetro (mS cm^{-1}) y se mide con un conductivímetro previamente calibrado. En términos físico-químicos la CE de una solución significa una valoración de la velocidad que tiene un flujo de corriente eléctrica en el agua. Un rango óptimo de CE de una solución nutritiva estaría en torno de 1,5 a 2,0 mS/cm . Por lo tanto, aguas con CE menores a 1,0 serían las más aptas para preparar la solución de riego. Debe tenerse presente también que el contenido de sales en el agua no debe superar los 100 miligramos de carbonato de calcio por litro y que la concentración de cloruros debe estar entre 50 – 150 miligramos por litro de agua (Ramos, 1999).

Uno de los principales problemas que ocurre en el riego localizado (goteo, micro aspersión), es la obturación de los emisores por los sólidos en suspensión de las aguas de riego. En general la cloración y un buen filtrado resuelven estos problemas. Se ha encontrado que se puede mantener una operación adecuada de la mayoría de los emisores ensayados, mediante una cloración diaria durante una hora, o cada 3 días con la aplicación de 1 mg/l de cloro residual combinado con un filtrado a través de filtros de 80 mesh (diámetro de los poros de 120 micras). Tajnshy *et al.*, 1994 citado por Ramos (1999), encontraron que en goteros de 4 litros h^{-1} , una cloración continua a una concentración de 0,4 mg l^{-1} de cloro residual impidió la formación de obturaciones de origen biológico.

Hay que tener en cuenta que si se utilizan aguas residuales para hidroponía, éstas tendrán muchos sólidos en suspensión, por lo que la frecuencia de limpieza de los filtros es mayor que en el caso de las aguas para consumo humano (FAO, 2002)

2.5.8. La concentración del CO₂ del ambiente

El poder controlar la concentración del anhídrido carbónico dentro del ambiente de producción del FVH, ofrece una excelente oportunidad para aumentar la producción del forraje, a través de un incremento de la fotosíntesis. Se pretende de esta manera provocar un aumento significativo en la cosecha del FVH, a través del control atmosférico dentro del local de producción. El control se ejerce mediante controladores automáticos los cuales enriquecen constantemente el ambiente interno con altos niveles de anhídrido carbónico, promoviendo una mayor fotoasimilación celular y el aumento de la masa vegetal. Arano (1998) menciona que la NASA ha experimentado con singulares resultados positivos la práctica de suministro de CO₂ a cultivos hidropónicos, obteniéndose un excelente aumento en la producción de biomasa vegetal.

2.5.9. Densidad de siembra

Una buena densidad de población es un requisito imprescindible para obtener una buena cosecha, ya que es importante no olvidar que cuando las siembras quedan claras, el mayor tamaño de las mazorcas no compensa la falta de plantas. Por otra parte es importante recordar que existen híbridos que son

tolerantes a las altas densidades de siembra y otros que no lo son, produciéndose en este segundo caso plantas poco vigorosas y esterilidad, si la población es excesiva (Guerrero, 1992) una buena densidad de siembra varía de 2.2 a 3.4 kg.m⁻² considerando que la disposición de las semillas no debe superar 1.5 cm de altura en la bandeja (FAO, 2002).

2.5.10. Cultivo

El cultivo es un factor limitante que se ve asociado con los factores mencionados anteriormente (FAO, 2002; Arano, 1998; Rodriguez, 2003). Dentro de los cultivos utilizados para la producción de FVH tenemos el maíz, trigo, avena y cebada entre otros, de los cuales se tiene una amplia cantidad de variedades y éstas a su vez tienen una amplia gama de comportamientos (Oliver *et al.*, 2004), por lo que es importante realizar pruebas de comportamiento para obtener la mejor opción económica en cuanto a la producción de FVH.

2.6. Utilización de FVH en Alimentación Animal

Harvatine *et al.* (2002) mencionan que es importante hacer una evaluación para el uso de todos y cada uno de los ingredientes que se tengan disponibles para encontrar una adecuada ración alimenticia y así obtener el mejor beneficio económico (NRC, 1995; Harvatine *et al.*, 2002; O'Sullivan *et al.*, 2002).

Para la obtención de un mejor beneficio económico es importante realizar investigaciones respecto a la predicción de sustitución de raciones así como medir los efectos asociativos, permitiendo así una mejor localización de los recursos

forrajeros, aunando la predicción de la respuesta en desarrollo de los animales a la suplementación (Redfeam *et al.*, 2002; Fieser y Vanzant, 2004; Gadberry *et al.*, 2004).

Un gran número de experimentos y experiencias prácticas comerciales han demostrado que es posible sustituir parcialmente la materia seca que aporta el forraje obtenido mediante métodos convencionales (FAO, 2002; Peña *et al.*, 2002), así como también aquel proveniente de granos secos o alimentos concentrados por su equivalente en FVH (FAO, 2002). Algunos de los resultados se muestran enseguida:

- Aumento significativo de peso vivo en corderos precozmente destetados al suministrarles dosis crecientes de FVH hasta un máximo comprobado de 300 gramos de materia seca al día (Morales, 1987)

- Aumento de producción en aves domésticas (pollos, gallinas, patos, gansos, etc.) a partir del uso del FVH (Falen y Petersen, 1969 y Bull y Petersen, 1969 citados por Bravo, 1988), lográndose sustituir entre un 30 a 40 % de la dosis de ración peleteada pero asociado al riesgo, en casos de exceso en el uso de FVH, de un incremento de excreta de heces líquidas y fermentaciones aeróbicas del estiércol, malos olores de los locales, aumento de insectos voladores no deseados y aumento de enfermedades respiratorias especialmente en verano.

- Aumento de producción en vacas lecheras a partir del uso de FVH obtenido de semillas de avena variedad "Nehuén" y cebada cervecera variedad "Triumph" existiendo también en este caso antecedentes en el uso del maíz, sorgo, trigo, arroz y tritricale Sepúlveda, (1994) citado por FAO, (2002). Sin embargo Johnson *et al.*,

(2003) encontraron que el uso de forraje (zacate bermuda) para las raciones en vacas lecheras no se vio afectado negativamente pero donde se encontraron diferencias en el consumo de materia seca fue en el cambio de raza y estado fisiológico de la vaca en el caso de ser gestantes en las primeras etapas, intermedias o finales.

- Sustitución en conejos, de hasta el 75% del concentrado por FVH de cebada sin afectar la eficiencia en la ganancia de peso alcanzándose el peso al sacrificio (2,1 a 2,3 kg de peso vivo) a los 72 días. Estos resultados han tenido un alto impacto técnico, económico y social en Uruguay (Rincón de la Bolsa) posibilitando la generación de ingresos, la alimentación familiar y el mantenimiento de la producción a mini productores cunícolas afectados por los altos costos de los concentrados (Sánchez, 1996).

La eficiencia del sistema de producción de FVH es muy alta. Estudios realizados en México (Lomelí, 2000), con control en la aplicación del volumen de agua, luz, nutrientes y CO₂ (anhídrido carbónico), demostraron que a partir de 22 kg de semillas de trigo es posible obtener en un área de 11,6 m² (1.89 kg semilla m⁻²) una óptima producción de 112 kg de FVH por día (9.65 kg FVH/m²/día). En todos los resultados mencionados anteriormente el sistema de producción de FVH ha posibilitado obtener mayor calidad de carne, aumento del peso vivo a la fecha de sacrificio, aumento en la proporción de pelo de primera en el vellón de conejos, mayores volúmenes de leche, aumento de la fertilidad, disminución de los costos de producción por sustitución parcial de la ración por FVH (Hidalgo, 1985; Morales, 1987; Pérez, 1987; Bravo, 1988; Valdivia, 1996; Sánchez, 1996; Arano, 1998).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización del Trabajo

La investigación se realizó en el Municipio de Marín, ubicado en el área central del estado de Nuevo León, a 25° 53' de latitud norte y 100° 03' longitud oeste, con una altitud de 325 msnm (INEGI, 1983).

El clima es cálido-seco y la temperatura media anual es de 21 °C con temperaturas extremas de -3 a 41.5 °C (en invierno y en verano, respectivamente). La precipitación media anual es de 573 mm y la media de humedad relativa es de 64% (Estación de observación meteorológica FAUANL en Marín N.L.).

3.2. Experimentos

Se realizaron dos experimentos con la finalidad de evaluar la producción de FVH de dos variedades de maíz en dos periodos con diferentes condiciones climáticas, además de observar el comportamiento de la planta al utilizar o no utilizar solución nutritiva para la producción de FVH. Cherney *et al.* (2004), mencionan que es importante evaluar numerosas variables experimentales y sus interacciones, haciendo énfasis en la evaluación de diferentes variedades e híbridos de maíz.

3.2.1. Experimento 1, evaluación de 2 variedades de maíz y 2 densidades de siembra sin solución nutritiva

Este experimento se llevó a cabo en el periodo del 14 de septiembre al 29 de octubre del 2004 con la finalidad de evaluar dos genotipos de maíz: a) maíz blanco producido con el híbrido Pioneer 3025 y b) maíz amarillo producido con el híbrido Pioneer 31G98. Además se evaluaron dos densidades de siembra (2 y 3 kg.m⁻²) y cuatro alturas de corte (19.65, 25.50, 31.53 y 34.12 cm). En este experimento se utilizó únicamente agua para regar el forraje. El promedio general de temperatura mínima, máxima y promedio fue de 20.2, 33.2 y 26.7 °C, respectivamente.

3.2.2. Experimento 2, evaluación de 2 variedades de maíz y 2 densidades de siembra con solución nutritiva

El experimento se realizó en el periodo del 3 de noviembre al 21 de diciembre para evaluar los mismos factores que en el experimento 1, sin embargo, en este experimento se utilizó solución nutritiva proveniente de triple 16 con micro nutrientes, diluyendo 126 g/200 l de agua a partir de una altura de planta de 10 cm. Las alturas de corte fueron 19.65, 24.20, 31.20 y 35.12 cm. El promedio general de temperatura mínima, máxima y promedio fue de 11.2, 25.8 y 18.5 °C, respectivamente.

3.3. Tratamientos

En ambos experimentos se evaluaron 4 tratamientos representados por 2 variedades de maíz (V1 = F₂ del híbrido Pioneer 3025 y V2 = F₂ del híbrido Pioneer 31G98) y 2 densidades de siembra (D1 = 2 kg.m⁻² y D2 = 3 kg.m⁻²). Quedando los tratamientos de la siguiente manera T1= V1D1, T2 = V1D2, T3 = V2D1 y T4 = V2D2.

3.4. Trabajo Experimental

El trabajo experimental consistió en instalar un módulo hidropónico, así como realizar las prácticas de limpieza pre germinatorias, riegos, cortes o muestreos, pesar el FVH fresco, determinar materia seca, así como realizar el análisis bromatológico (Proteína Cruda "PC" por medio de la técnica Kjeldahl de la AOAC (1990) y Fibra Neutro Detergente "FND" por medio de la técnica de Van Soest (1968)) correspondiente para cada unidad experimental.

3.4.1. Fabricación del módulo

Los experimentos se llevaron a cabo en un módulo de FVH construido con PTR de una pulgada, con dimensiones de 2.44 m de largo, 1.25 m de ancho y una altura de 2.20 m. El módulo consistió de 4 secciones verticales con un espaciamiento de 45 cm entre ellas, por lo que es posible sembrar simultáneamente en cuatro niveles en un área disponible total de 12.2 m²; en la parte superior está protegido por plástico y en los laterales por malla antiafida. El sistema de riego tiene los siguientes componentes: tanque de 200 litros, tubería de ½ pulgada, bomba de

¼ de caballo, filtro, válvula chek y cinco aspersores por nivel. Además un controlador de tiempo de encendido de la bomba de agua (timer)

3.4.2. Preparativos para iniciar con los trabajos en el módulo hidropónico

Se instaló un sistema de riego de tal forma que los aspersores tuvieran un traslape de riego del 50%, quedando finalmente cinco aspersores por nivel. Se utilizó agua potable para el riego (Apéndice Cuadro A16). Se programó el sistema de riego utilizando un reloj con programación (timer) de tal forma que funcionara un minuto durante las siguientes horas: 0:00, 6 00, 10:00, 13.00, 16 00 y 20:00 hrs.

La semilla se lavó y desinfectó utilizando hipoclorito de sodio al 1% (diluyendo 10 ml de hipoclorito de sodio por cada litro de agua). El lavado tuvo por objeto eliminar hongos y bacterias contaminantes, liberar a las semillas de residuos y dejarlas limpias. El desinfectado con el hipoclorito eliminó prácticamente los ataques de microorganismos patógenos al cultivo de FVH. El tiempo que se dejaron las semillas en la solución de hipoclorito fue de 90 segundos, ya que dejar las semillas más tiempo puede perjudicar la viabilidad de las mismas. Finalizando el lavado se procedió a enjuagar las semillas con agua limpia.

La siguiente etapa consistió en sumergir completamente las semillas en agua por un período de 24 horas para lograr una completa imbibición. Este tiempo se dividió a su vez en 2 períodos de 12 horas cada uno. A las 12 horas de estar las semillas sumergidas se procedió a sacarlas y arearlas durante 1 hora. Acto seguido se sumergieron nuevamente por 12 horas para finalmente realizarles el último areado. Mediante este proceso se indujo la rápida germinación de la semilla a

través del estímulo que se efectuó a su embrión. Esta pregerminación aseguró un crecimiento inicial vigoroso del FVH, dado que sobre las bandejas de cultivo se estuvieron utilizando semillas que ya habían iniciado el proceso de germinación y por lo tanto su posterior etapa de crecimiento fue más rápida y uniforme

Una vez colocada la semilla en el lugar de crecimiento correspondiente se procedió a tapar o cubrir con papel periódico previamente humedecido hasta la aparición de los brotes verdes con una altura promedio de 0.5 cm. Posteriormente a esto se retiró el papel periódico.

3.4.3. Proceso de muestreo

Se realizaron muestreos en diversas etapas de crecimiento a las cuales se les asignó el nombre de altura de corte 1, 2, 3 y 4 consistiendo de una altura respectiva de 19.65, 24.85, 31.36 y 34.62 cm, correspondiendo a 12, 15, 20 y 23 días para el experimento 1 mientras que para el experimento 2 correspondieron a los días 20, 26, 39 y 48 contados a partir del inicio del proceso de desinfección y pregerminación de la semilla. El proceso de muestreo consistió de extraer 350 plantas completas (hojas, tallo, semilla y raíz), posteriormente se eliminó el exceso de agua colocándolas sobre periódico, después de que la planta no escurriera agua se registró el peso fresco, y las variables listadas en la sección 3.5, de las cuales la altura de planta consistió en medir desde el grano de semilla hasta la punta de la hoja más larga, el ancho de hoja consistió de medir transversalmente la hoja más larga en la mitad de la misma y el largo de raíz se midió desde el grano de maíz hasta la punta de la raíz más larga, posteriormente se colocaron las muestras en

una estufa de secado a una temperatura de 65 °C durante 72 hrs, después se pesaron nuevamente las muestras para obtener el peso seco a 65 °C

3.5. Variables Evaluadas

Con los datos registrados en ambos experimentos, se obtuvieron las siguientes variables:

- Altura de planta (cm) (20 plantas por unidad experimental).
- Ancho de hoja (cm) (20 plantas por unidad experimental).
- Longitud de raíz (cm) (20 plantas por unidad experimental).
- Producción de FVH (kg m^{-2}) (6050 cm^2 /unidad experimental).
- Producción de materia seca (kg.m^{-2}) (6050 cm^2 /unidad experimental).
- Contenido de cenizas en base seca (%)
- Contenido de proteína cruda en base seca (%)
- Contenido de fibra neutro detergente libre de cenizas en base seca (%).
- Beneficio económico, calculado como el costo para producir 1 kg de FVH obtenido durante el período experimental.

3.6. Análisis Bromatológico

Los análisis bromatológicos de las muestras de forraje, se realizaron en el laboratorio de bromatología de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León.

Se realizó el análisis bromatológico del grano y FVH para determinar el contenido de cenizas en base seca (%), el contenido de proteína cruda en base

seca (%) y el contenido de fibra neutro detergente en base seca (%) (Apéndice A15). Las técnicas de análisis utilizadas son las estándares consideradas por AOAC (1990) a excepción de la determinación de FND que se realizó con la técnica de Van Soest (1963). Se seleccionaron los primeros dos cortes de dos repeticiones para realizar el análisis bromatológico, debido a que en ellos se encontraba una mayor eficiencia respecto a la producción de FVH por el tiempo de producción, así como una menor pérdida de materia seca.

3.7. Análisis Económico

La evaluación económica de los experimentos probados se llevó a cabo en el escenario de los cuatro cortes o muestreos. Los precios utilizados fueron los vigentes al 3 de noviembre del 2005. Los precios considerados del grano para las variedades Pioneer 3025 y Pioneer 31G98, fueron de 1.523 y 1.308 \$/kg, respectivamente, el cloro se cotizó en \$/l 10, la luz \$/kw 0.69 y la mano de obra \$/h 21.25.

3.8. Análisis Estadístico

Los dos experimentos se realizaron bajo un diseño completamente al azar con tres repeticiones, utilizando un arreglo factorial de 2x2 (variedades y densidades), incluyendo el factor fecha de corte utilizando el siguiente modelo ($Y_{ijkl} = \mu + \beta_i + V_j + D_k + VxD_{jk} + \text{Error}(a)_{jk} + C_l + \text{Error}(b)_{il} + VxC_{jl} + DxC_{kl} + VxDxC_{jkl} + \text{Error}(c)_{ijkl}$), tomando un nivel del módulo hidropónico para una repetición completa y un área de 6050 cm² por unidad experimental.

Donde:

Y_{ijkl} = $ijkl$ -ésima observación de la variable dependiente

μ = Media verdadera general.

β_i = Efecto del i -ésimo bloque

V_j = Efecto de la j -ésima variedad.

D_k = Efecto de la k -ésima densidad.

$V \times D_{jk}$ = Efecto de la interacción de la j -ésima variedad y la k -ésima densidad.

Error(a) $_{ijk}$ = Error experimental de la ijk -ésima observación.

C_l = Efecto del l -ésimo corte.

Error (b) $_{il}$ = Error experimental de la il -ésima observación.

$V \times C_{jl}$ = Efecto de la interacción de la j -ésima variedad y el l -ésimo corte.

$D \times C_{kl}$ = Efecto de la interacción de la k -ésima densidad y el l -ésimo corte.

$V \times D \times C_{jkl}$ = Efecto de la interacción de la j -ésima variedad, la k -ésima densidad y el l -ésimo corte.

Error (c) $_{ijkl}$ = Error experimental de la $ijkl$ -ésima observación.

Los análisis estadísticos se realizaron utilizando el paquete SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) Versión 10.0, el paquete de Microsoft Office Professional Edition 2003 Microsoft® Office Excel 2003 y el paquete de Diseños Experimentales FAUANL, Versión 2.5 (Olivares, 1994).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Experimento 1, Evaluación de 2 Variedades de Maíz y 2 Densidades de Siembra, Sin Solución Nutritiva

En este experimento se produjo FVH para evaluar las variables mencionadas en la sección 3.5, utilizando solo agua durante el período experimental (septiembre-octubre), registrándose un porcentaje de germinación del 93%

4.1.1. Condiciones climáticas en las que se realizó el experimento

En el transcurso del período experimental, el promedio general de temperatura mínima fue de 19.5 °C, la máxima fue en promedio 33.0 °C. La temperatura promedio general fue de 26.3 °C

La temperatura promedio durante los períodos de corte varió de 26.2 a 26.5 °C para los muestreos a los 20, 32, y 34 cm, y fue de 26.1 °C para el muestreo a los 26 cm (Figura 1; Ver Apéndice Cuadro A1).

La Figura 1 muestra que la temperatura mínima para los muestreos a los 20, 26, 32 y 34 días se incrementó de 19.3 a 19.8 °C.

La temperatura mínima absoluta registrada durante el experimento fue de 12.2 °C el 15 de octubre del 2004. La temperatura máxima absoluta se registró el 3 de octubre, con 39.3 °C (Figura 2; Ver Apéndice Cuadro A1).

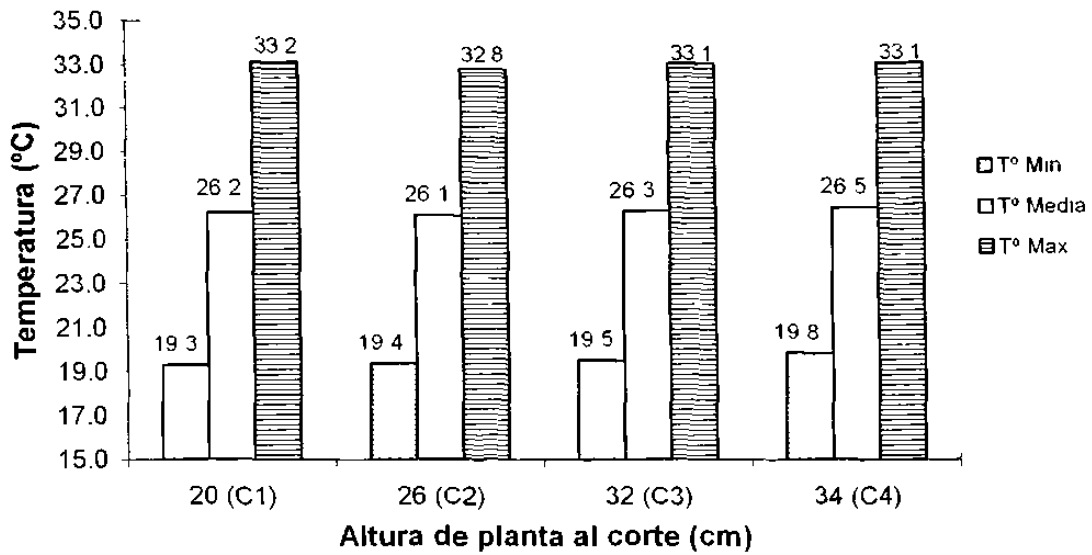


Figura 1.- Temperaturas mínima, media y máxima durante el periodo experimental (°C), Experimento 1.

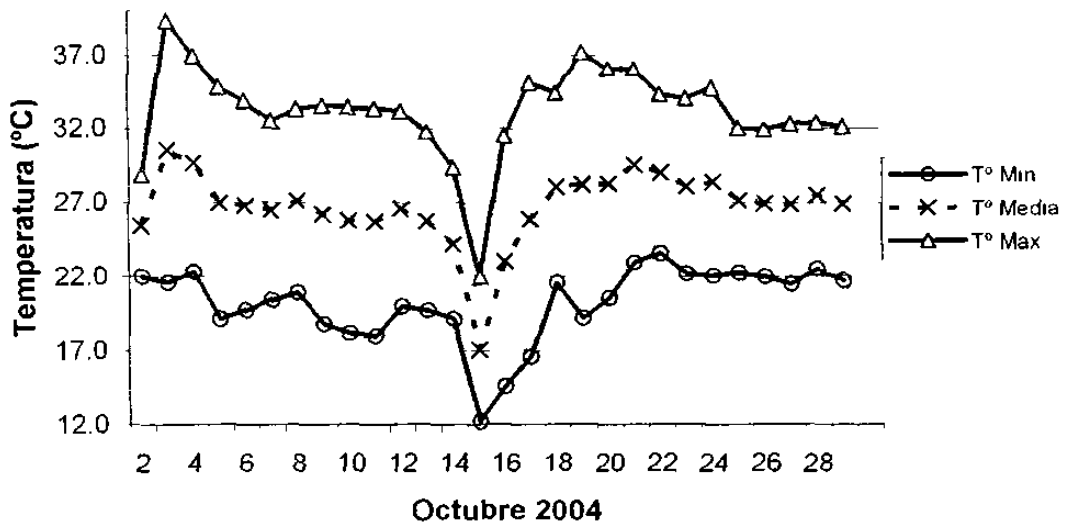


Figura 2.- Temperaturas mínima, media y máxima diarias registradas en el transcurso del periodo experimental (°C), Experimento 1.

Las condiciones ambientales registradas durante el presente trabajo corresponden a las esperadas para la localidad en la estación del año en que se realizó el estudio y resultaron estar dentro de las temperaturas óptimas recomendadas por la FAO (2002), para la producción de FVH de maíz son de 25 a 28 °C.

4.1.2. Altura de plantas

El análisis de varianza realizado para la altura de la planta, mostró diferencias debido a variedades ($P < 0.01$), obteniendo una mayor altura de planta en la variedad Pioneer 31G98 con una media de 31.5 cm, mientras que la variedad con menor tamaño fue la Pioneer 3025 con una media de 23.9 cm.

Además, se encontró diferencias ($P < 0.01$) entre los cortes, encontrando un menor tamaño de planta en el corte 1 y aumentando el tamaño sucesivamente en los cortes 2, 3 y 4 con las medias respectivas de 19.7, 25.5, 31.5 y 34.1 cm.

Al analizar la el comportamiento mediante el cambio de la diferencia en variedades en los diferentes cortes (Apéndice Cuadro A2) y con la observación gráfica de los datos (Cuadro 1; Figura 3), se concluyó que la variedad Pioneer 31G98 fue superior ($P < 0.01$) en altura de planta en todas las alturas de corte, sin embargo, esta diferencia se fue haciendo más importante a medida que se incrementó la altura de corte, tendiendo a disminuir la diferencia solo en el cuarto corte.

Cuadro 1 - Efecto de la variedad y el corte, sobre la altura de planta (cm), Experimento 1.

Variedad	C1	C2	C3	C4
Pioneer 3025	17.10 ^g	22.11 ^f	26.37 ^e	29.94 ^c
Pioneer 31G98	22.21 ^f	28.89 ^d	36.70 ^b	38.30 ^a

C1, C2, C3 y C4 = Muestreo a los 12, 15, 20 y 23 días respectivamente

a, b, c y d = Letras iguales para cualquier valor en la tabla indican que no hay diferencia significativa entre las medias (P=0.05)

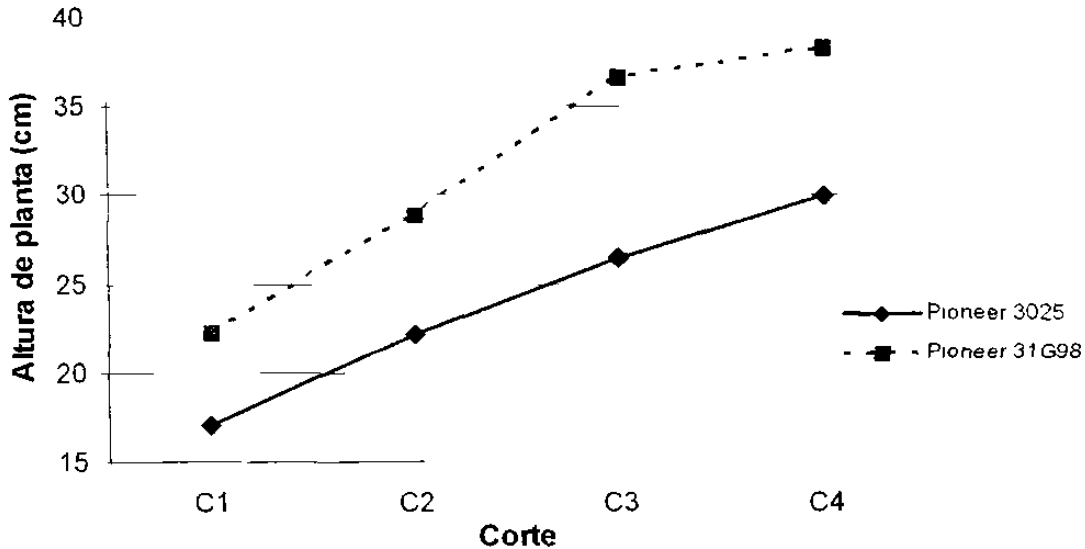


Figura 3.- Comportamiento de la variedad y el corte en la altura de planta (cm), Experimento 1.

4.1.3. Ancho de hojas

En cuanto a el ancho de hoja de los maíces utilizados, el análisis de varianza mostró diferencia ($P < 0.01$) debido a variedades, obteniendo un ancho de hoja mayor para la variedad Pioneer 31G98 con 1.4 cm, mientras que la variedad Pioneer 3025 alcanzó 1.3 cm.

El Cuadro 2 (Figura 4) muestra que las plantas de maíz Pioneer 3025 no modifican su ancho de hoja debido a la densidad, mientras que las plantas de la

variedad Pioneer 31G98 se disminuyó ($P < 0.05$) el ancho de la biomasa 4% cuando se aumentó de 2 a 3 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$ la densidad de siembra

Cuadro 2.- Efecto de la variedad y la densidad de siembra, sobre el ancho de la hoja (cm), Experimento 1.

Variedad	D1	D2
Pioneer 3025	1.25 ^c	1.28 ^c
Pioneer 31G98	1.46 ^a	1.40 ^b

D1 y D2 = Densidad de siembra con 2 y 3 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$ respectivamente
 a y b = Letras iguales para cualquier valor en la tabla indican que no hay diferencia significativa entre las medias ($P = 0.05$)

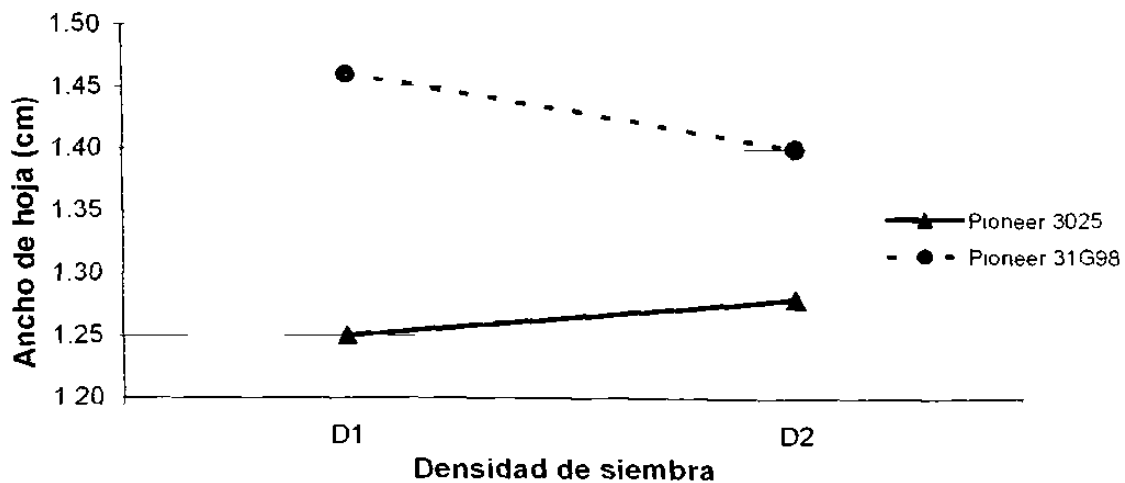


Figura 4.- Comportamiento de la variedad y la densidad de siembra en el ancho de hoja (cm), Experimento 1.

El comportamiento de la variedad y densidad en el ancho de hoja, se explica debido a que al incrementar la densidad se incrementa la competencia entre las plantas, teniendo como consecuencia un menor ancho de hoja. En el caso de la variedad 31G98, el ancho de la hoja es mucho mayor que el de la variedad 3025, por lo que se espera una mayor competencia entre las plantas por luz, esperando un

tamaño mayor de hojas, pero un ancho menor. Para el caso de la variedad 3025, al incrementar la densidad, no hubo una competencia tan fuerte por luz debido a que el ancho de las hojas era menor, teniendo como consecuencia un menor efecto de la densidad sobre el ancho de la hoja.

Se encontró además diferencia ($P < 0.05$) en el corte, obteniendo un ancho de hoja mayor en el primer corte con media de 1.41 cm, seguido de los cortes 2, 3 y 4 con medias de 1.38, 1.32 y 1.30 cm, respectivamente. Los datos muestran que a medida que se incrementa la altura de corte, disminuye el ancho de las hojas. Este efecto también se explica por la competencia por luz a medida que se incrementa la altura de corte, lo que tiene como consecuencia un menor ancho de hoja (Asimov, 1980).

4.1.4. Longitud de raíz

El análisis de varianza para la longitud de raíz mostró diferencias ($P < 0.01$) debido a las variedades, obteniendo una longitud de raíz mayor para la variedad Pioneer 31G98 con una media de 25.1 cm mientras que la variedad Pioneer 3025 obtuvo una media de 18.5 cm. También se encontró diferencia significativa ($P < 0.01$) en los cortes los cuales tuvieron medias de 16.7, 20.7, 23.7 y 24.1 cm para los cortes 1, 2, 3 y 4, respectivamente.

Además se encontraron diferencias significativas en la comparación de medias de variedad y corte en la longitud de raíz ($P < 0.01$) (Cuadro 3; Figura 5; Apéndice Cuadro A4), así como en densidad y corte en la longitud de raíz ($P < 0.05$) (Figura 6; Apéndice Cuadro A4).

Cuadro 3.- Efecto de la variedad y la altura de planta al corte, sobre la longitud de raíz (cm), Experimento 1

Variedad	C1	C2	C3	C4
Pioneer 3025	15.16 ^e	17.45 ^d	19.88 ^c	20.08 ^c
Pioneer 31G98	18.16 ^{cd}	23.85 ^b	27.49 ^a	28.16 ^a

C1, C2, C3 y C4 = Muestreo a los 20, 26, 32 y 34 cm de altura de planta respectivamente
a, b, c y d = Letras iguales para cualquier valor en la tabla indican que no hay diferencia significativa entre las medias (P=0.05)

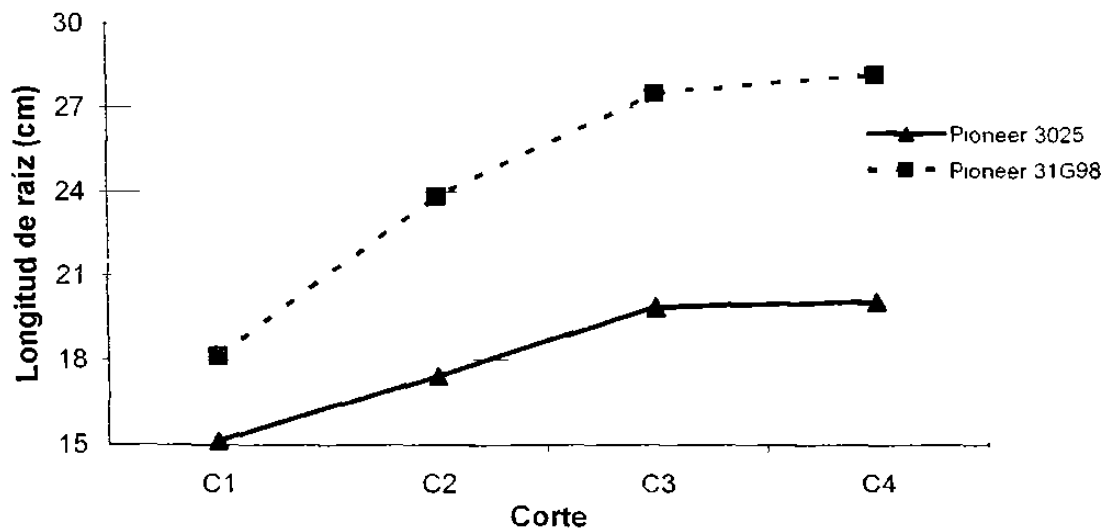


Figura 5.- Comportamiento de la variedad y la altura de planta al corte en la longitud de raíz (cm), Experimento 1.

La longitud de raíz mostró una tendencia cuadrática en ambas variedades, comparado con la tendencia lineal de la altura de corte (Figura 5). Esto quiere decir que la planta tiende a privilegiar el crecimiento de la raíz en los primeros periodos de crecimiento y posteriormente, los fotosintatos van hacia el crecimiento aéreo.

En la Figura 5 también se observa que la variedad Pioneer 31G98 tuvo un mayor crecimiento radicular comparado con la variedad Pioneer 3025 y la diferencia en el tamaño de las raíces entre las variedades se incrementó a medida que se incrementó la altura de corte.

En el Cuadro 4 y Figura 6 se muestra un mejor desarrollo radicular para la densidad de 2 kg.m² en los cortes 1, 2 y 3 kg, mientras que para el corte 4 la densidad de 3 kg.m² registró el mejor desarrollo radicular, mostrándose el efecto del espacio sobre la raíz correspondiente a mayor espacio, mayor desarrollo (Guerrero, 1992).

Cuadro 4.- Efecto de la densidad de siembra y la altura de planta al corte sobre la longitud de raíz (cm), Experimento 1

Densidad	C1	C2	C3	C4
D1	17.60 ^e	21.55 ^{cd}	24.86 ^a	23.62 ^{ab}
D2	15.72 ^e	19.75 ^d	22.51 ^{bc}	24.63 ^a

a, b, c y d = Letras iguales para cualquier valor en la tabla indican que no hay diferencia significativa entre las medias (P=0.05)

C1, C2, C3 y C4 = Muestreo a los 20, 26, 32 y 34 cm de altura de planta, respectivamente

D1 y D2 = Densidad de siembra con 2 y 3 kg m² respectivamente

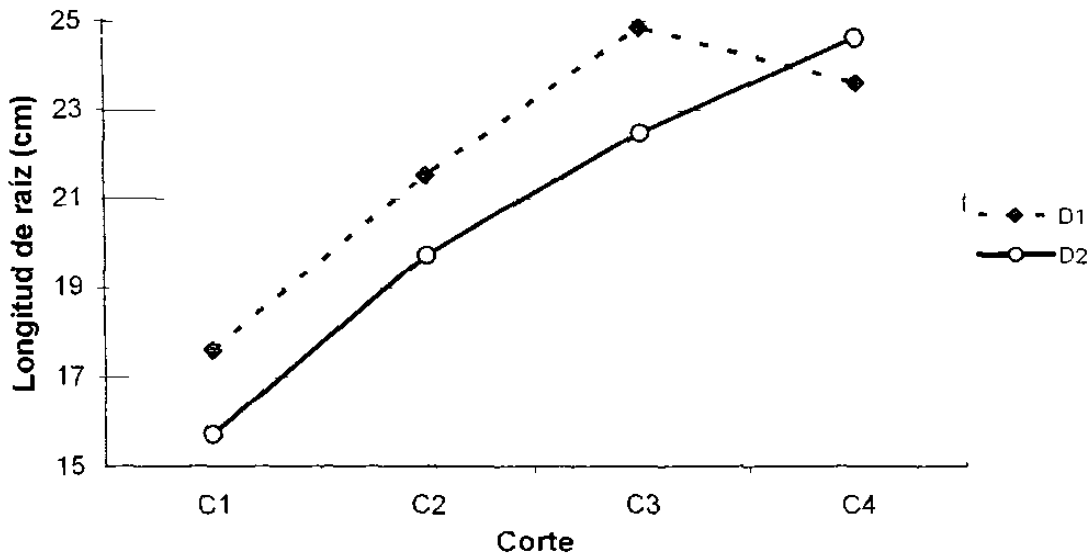


Figura 6.- Comportamiento de la densidad de siembra y la altura de planta al corte en la longitud de raíz (cm), Experimento 1

4.1.5. Producción de materia seca

El grano mostró un contenido de materia seca de 90% para ambas variedades. El análisis de varianza para la producción de materia seca (ms m^{-2}), mostró diferencias ($P < 0.01$) debido a las densidades de siembra (Cuadro 5; Apéndice Cuadro A5), obteniendo una producción de 1734.21 y 1131.90 g.m^{-2} para las densidades de 3 y 2 kg.m^{-2} , respectivamente

Cuadro 5.- Producción de materia seca (g m^{-2}) para las densidades de siembra, Experimento 1.

Densidad	Materia Seca g m^{-2}
2 kg m^{-2}	1131 9 ^b
3 kg m^{-2}	1734 2 ^a

a y b = Letras iguales para cualquier valor en la tabla, indican que no hay diferencia significativa entre las medias ($P = 0.05$)

Además se encontró diferencia ($P < 0.05$) para alturas de planta al corte (Cuadro 6) con 1813.12, 1435.77, 1254.50 y 1228.85 g m^{-2} para los cortes 1, 2, 3 y 4, respectivamente.

Cuadro 6.- Producción de materia seca (g.m^{-2}) para las diversas alturas de planta al corte (20, 26, 32 y 34 cm de altura de planta), Experimento 1.

Altura de planta al corte	Materia Seca g m^{-2}
C1	1813.1 ^a
C2	1435 8 ^b
C3	1254 5 ^b
C4	1228 9 ^b

C1 C2 C3 y C4 = Muestreo a los 20 26 32 y 34 cm de altura de planta, respectivamente

a y b = Letras iguales para cualquier valor en la tabla indican que no hay diferencia significativa entre las medias ($P = 0.05$)

Como se puede observar, el rendimiento de materia seca disminuyó a medida que se incrementaron los días de corte, siendo más drástico el decremento al pasar de la primera a la segunda altura. Esta disminución en materia seca se

debe a que las plántulas de maíz en este estado fenológico tienen una tasa de respiración mayor que la fijación de carbono por medio de la fotosíntesis (Gardner *et al.*, 1985). Después de la altura de corte 3 tienden a igualarse la tasa de respiración y fotosíntesis, puesto que la disminución de materia seca entre estos cortes es relativamente pequeña (25.65 g.m^{-2}) Se supone que después de la altura de corte 4, la acumulación de materia seca deberá incrementarse.

Considerando estos resultados, la mejor altura de corte es la primera, puesto que se tienen niveles altos de materia seca y ya fueron transformados los carbohidratos en el grano haciendo más digestible y palatable el forraje (Murphy, 1991; Marschner, 1995).

Este resultado es similar a lo recomendado por Rodríguez (2003), en cuanto al número de días al cosechar el FVH, mencionando que la calidad óptima se encuentra a una altura de 16 centímetros para el cultivo de la cebada

4.1.6. Contenido de cenizas

El contenido de cenizas (%) en base seca para el grano fue de 1.6 y 2.3% para las variedades Pioneer 3025 y Pioneer 31G98, respectivamente (Apéndice Cuadro A15). Mostrándose numéricamente inferior a la cantidad de cenizas contenidas en el FVH mostradas en el Cuadro 7 (Apéndice Cuadro A6).

En el Cuadro 7 se muestra que conforme pasa el tiempo hay numéricamente mayor cantidad de minerales en el FVH, los cuales se reflejan en la cantidad de cenizas contenidas en el mismo.

Cuadro 7.- Contenido de cenizas en base seca (%) en los primeros dos muestreos (20 y 26 cm de altura de planta), Experimento 1.

Observación	C1	C2
V1D1	2.7	3.4
V1D2	2.5	3.2
V2D1	2.8	4.1
V2D2	2.9	3.7

C1 y C2 = Muestreo a los 20 y 26 cm de altura de planta, respectivamente

D1 y D2 = Densidad de siembra con 2 y 3 kg m⁻², respectivamente

V1 y V2 = Variedades Pioneer 3025 y Pioneer 31G98, respectivamente

4.1.7. Contenido de proteína cruda

El contenido de proteína cruda (%) en base seca del grano fue de 7.0 y 10.6% para las variedades Pioneer 3025 y Pioneer 31G98, respectivamente (Apéndice Cuadro A15). Tales cantidades son numéricamente inferiores a las cantidades contenidas en el FVH.

El análisis de varianza para el contenido de proteína cruda (%) en base seca del FVH, mostró diferencia ($P < 0.01$) debido a las variedades, obteniendo un mayor contenido de proteína en la variedad Pioneer 31G98 con una media de 12.5%, mientras que la variedad Pioneer 3025 obtuvo 10.6% (Apéndice Cuadro A6).

En el Cuadro 8 (Figura 7) se muestra que la variedad Pioneer 3025 tiende a disminuir numéricamente la cantidad de proteína al aumentar la densidad de siembra de 2 a 3 kg.m⁻² en ambas alturas de corte. Lo contrario se registró para la variedad Pioneer 31G98, es decir, que conforme aumenta la densidad de siembra, tiende a aumentar numéricamente la cantidad de proteína en ambas alturas de corte.

Rodríguez (2003), reportó valores de proteína para el FVH de cebada, con 16.8% y reportó que cada cultivo y variedad tienen una óptima producción en

distintas relaciones de altura-proteína. Bohnert *et al.* (2002b), mencionan que un forraje con un contenido de proteína mayor a 6% es un forraje de buena calidad.

Cuadro 8.- Contenido de proteína cruda en base seca (%) en los primeros dos muestreos (20 y 26 cm de altura de planta), Experimento 1.

Tratamientos	C1	C2
V1D1	10.0	11.5
V1D2	9.4	11.4
V2D1	11.5	13.0
V2D2	12.0	13.6

C1 y C2 = Muestreo a los 20 y 26 cm de altura de planta respectivamente

D1 y D2 = Densidad de siembra con 2 y 3 kg m², respectivamente

V1 y V2 = Variedades Pioneer 3025 y Pioneer 31G98

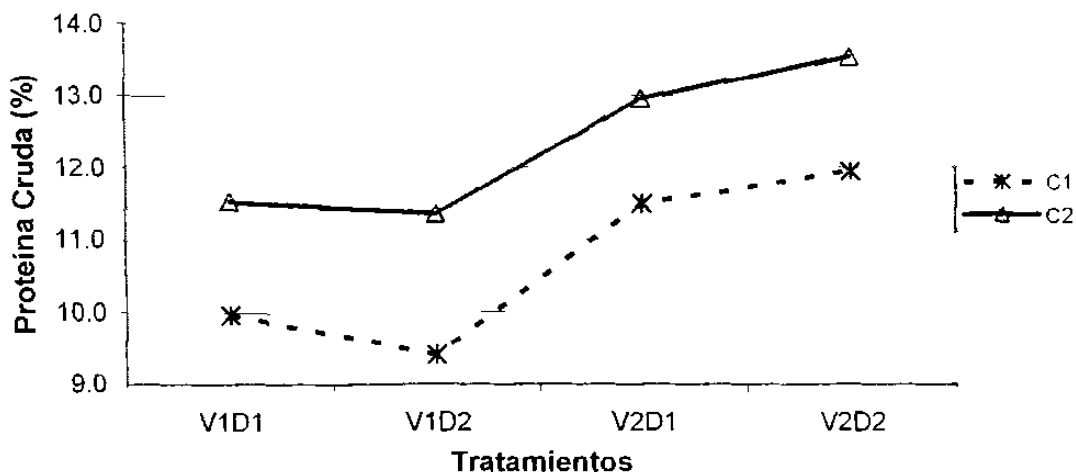


Figura 7.- Contenido de proteína cruda en base seca (%) en los primeros dos muestreos (20 y 26 cm de altura de planta), Experimento 1.

4.1.8. Contenido de fibra neutro detergente

El análisis de varianza para el contenido de fibra neutro detergente en base seca (%) experimento 1, mostró diferencia significativa ($P < 0.01$) en las variedades, obteniendo un mayor contenido de fibra neutro detergente en la variedad Pioneer

31G98 con una media de 41.30%, mientras que la variedad Pioneer 3025 obtuvo 39.46% (Figura 7; Apéndice Cuadro A6).

El Cuadro 9 (Figura 8) muestra un aumento numérico en el contenido de fibra neutro detergente conforme aumenta la densidad de siembra en ambas variedades para la altura de corte de 20 cm de altura de planta, mientras que para el corte de 26 cm de altura de planta la variedad Pioneer 3025 tiende a aumentar numéricamente el contenido de fibra neutro detergente conforme aumenta la densidad, sin embargo, la variedad Pioneer 31G98 tiende a disminuir el contenido de fibra neutro detergente conforme aumenta la densidad.

Cuadro 9.- Contenido de fibra neutro detergente (%) en los primeros 2 muestreos (20 y 26 cm de altura de planta), Experimento 1

Tratamientos	C1	C2
V1D1	33.2	45.0
V1D2	34.1	45.5
V2D1	35.2	47.2
V2D2	35.8	47.0

C1 y C2 = Muestreo a los 20 y 26 cm de altura de planta, respectivamente
 D1 y D2 = Densidad de siembra con 2 y 3 kg m² respectivamente
 V1 y V2 = Variedades Pioneer 3025 y Pioneer 31G98

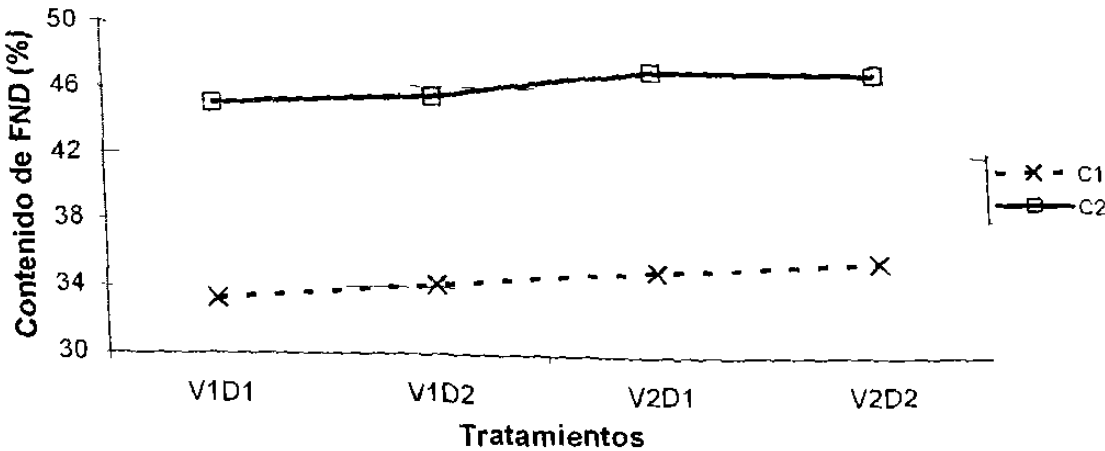


Figura 8.- Contenido de fibra neutro detergente (%) en los primeros 2 muestreos (20 y 26 cm de altura de planta), Experimento 1.

El balance de nutrientes en el FVH, del Experimento 1 correspondiente a la transformación de la biomasa de grano a FVH (Cuadro 10), es claro que existe pérdida así como el incremento de algunos nutrientes para generar un producto de mejor balance nutricional, ya que es sabido que los granos si bien son altamente energéticos no pueden ser proporcionados en altas cantidades (> 60% de la dieta) a rumiantes, sobre todo en aquellos que están en producción de leche (NRC, 2001).

Cuadro 10.- Balance nutricional de la comparación del grano contra el FVH del primer corte (20 cm) en términos de materia seca, cenizas, proteína cruda y fibra detergente neutro, Experimento 1.

Trata	MS (kg.m ⁻²)		Cenizas (g.m ⁻²)		PC (g.m ⁻²)		FND (g m ⁻²)	
	Grano	FVH	Grano	FVH	Grano	FVH	Grano	FVH
V1D1	1.80	1.27	29	34	126	127	293	423
V1D2	2.70	2.10	43	52	189	197	440	715
V2D1	1.80	1.51	41	42	191	173	329	530
V2D2	2.70	2.38	62	69	286	285	494	851

D1 y D2 = Densidad de siembra con 2 y 3 kg m⁻², respectivamente

V1 y V2 = Variedades Pioneer 3025 y Pioneer 31G98

4.1.9. Beneficio económico

El análisis realizado para el beneficio económico mostró un costo de 2.70 y 2.27 \$/kg de ms/módulo para las variedades Pioneer 3025 y Pioneer 31G98, respectivamente (Cuadro 11; Apéndice Cuadro A7) sin tomar en cuenta el costo de mano de obra y al tomar en cuenta éste, se obtuvo un costo de 8.92 y 8.38 \$/kg de ms/módulo para las variedades Pioneer 3025 y Pioneer 31G98, respectivamente.

Cuadro 11.- Beneficio económico (\$/kg de ms/módulo) para los primeros dos muestreos (sin y con mano de obra), Experimento 1.

Muestreo	V1D1	V1D2	V2D1	V2D2
Sin mano de obra				
C1	2.69	2.36	1.98	1.81
C2	2.85	2.91	2.90	2.39
Con mano de obra				
C1	9.30	6.37	7.57	5.35
C2	11.19	8.83	12.64	7.97

C1 y C2 = Muestreo a los 20 y 26 cm de altura de planta, respectivamente

D1 y D2 = Densidad de siembra con 2 y 3 kg m², respectivamente

V1 y V2 = Variedades Pioneer 3025 y Pioneer 31G98

Para las densidades de siembra con 2 y 3 kg m², sin tomar en cuenta la mano de obra se obtuvieron costos de 2.61 y 2.37 \$/kg de ms/módulo, respectivamente, mientras que al tomar en cuenta la mano de obra se obtuvieron costos de 10.18 y 7.13 \$/kg de ms/módulo para las densidades de 2 y 3 kg m².

Tomando en cuenta los días al muestreo, en el análisis económico se encontró que para los cortes 1 y 2 el \$/kg de ms/módulo fue de 2.21 y 2.76, respectivamente sin tomar en cuenta la mano de obra y al tomarla en cuenta se registró 7.15 y 10.16 \$/kg de ms/módulo para los cortes 1 y 2, respectivamente (Cuadro 11; Apéndice Cuadro A7).

4.2. Experimento 2, Evaluación de 2 Variedades de Maíz y 2 Densidades de Siembra, Con Solución Nutritiva

El experimento fue realizado tomando el mismo formato laboral que el Experimento 1, sólo que se agregó solución nutritiva proveniente de triple 16 con micro-nutrientes a razón de 126 g/200 l de agua y llevándose a cabo en el periodo de noviembre-diciembre. Se registró un porcentaje de germinación de 84%.

4.2.1. Condiciones climáticas en que se realizó el experimento

En el transcurso del periodo experimental, el promedio general de temperatura mínima fue de 12.4 °C, la máxima fue en promedio 26.3 °C. La temperatura promedio general fue de 19.3 °C. Encontrándose por debajo de la óptima (25 a 28 °C) recomendada por la FAO (2002), para la producción de FVH de maíz.

Las condiciones ambientales registradas durante el presente trabajo corresponden en general a las esperadas para la localidad en la estación del año en que éste se realizó.

La temperatura promedio durante los periodos de corte varió de 19.8 a 18.6 °C para los muestreos a los 20, 24, 31, y 35 cm (Figura 9; Ver Apéndice Cuadro A8).

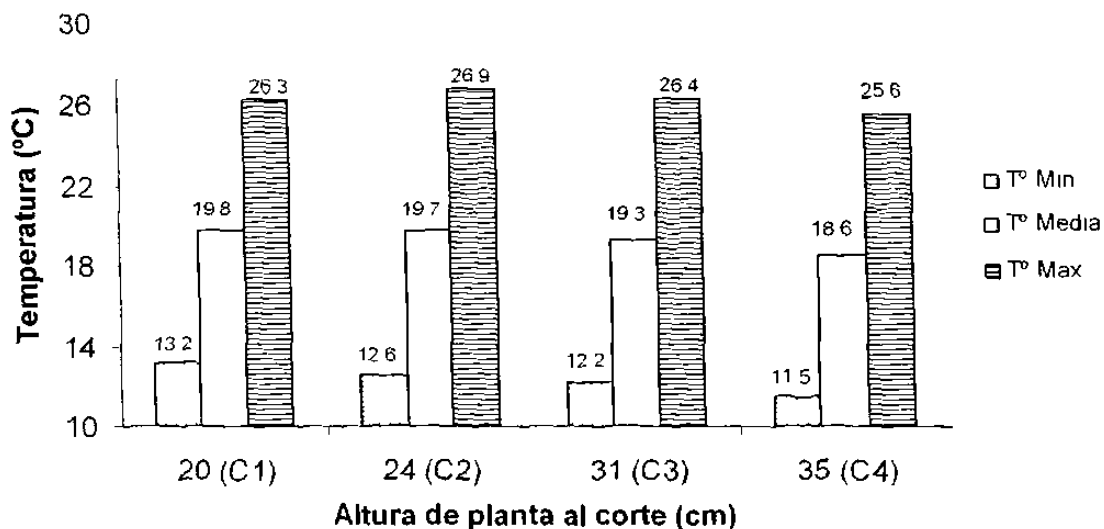


Figura 9.- Promedios de temperaturas mínima, media y máxima durante el periodo experimental (°C), Experimento 2.

Se observa que la temperatura mínima para los muestreos a los 20, 24, 31 y 35 cm se mantuvo disminuyendo de 13.2 a 11.5 °C

En términos generales, entre los días 8 y 13, se realiza la cosecha de FVH, esta variación de días es lo recomendado para una altura de forraje de 20 a 30 cm (FAO, 2002). El número de días utilizado para cosechar el experimento 2, fue considerado por la altura de plantas en que se cosechó en el experimento 1, la diferencia en días, es debida probablemente por la temperatura y/o a la solución nutritiva en que se realizaron los experimentos.

La temperatura mínima absoluta registrada durante el experimento fue de 0.9 °C el 15 de diciembre del 2004. La temperatura máxima absoluta se registró el 10 de diciembre, con 34.7 °C (Figura 10; Ver Apéndice Cuadro A8).

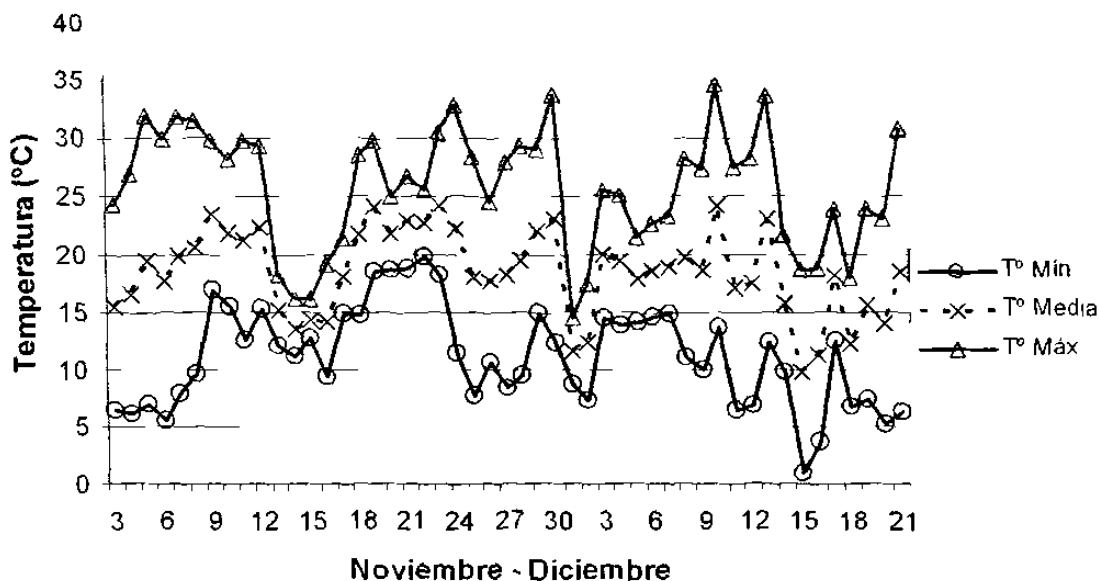


Figura 10.- Temperaturas mínima, media y máxima diarias, registradas en el transcurso del periodo experimental (°C), Experimento 2.

4.2.2. Altura de plantas

El análisis de varianza para el largo de la planta (cm) mostró diferencias ($P < 0.01$) debido a las variedades, obteniendo una mayor altura de planta en la variedad Pioneer 31G98 con una media de 31.6 cm, mientras que la variedad con menor altura fue la Pioneer 3025 con una media de 23.5 cm. Un comportamiento similar se registró en el Experimento 1, en el cual la variedad Pioneer 31G98 mostró mayor altura que la variedad Pioneer 3025 con 31.5 y 23.9 cm, respectivamente

Se registró también diferencia significativa ($P < 0.01$) entre los cortes con 19.65, 24.20, 31.20 y 35.12 cm para los cortes 1, 2, 3 y 4, respectivamente que se dieron a los 20, 26, 39 y 48 días, respectivamente.

También se encontró diferencia ($P < 0.01$) para la comparación de medias de variedad x corte en la altura de planta, la cual se muestra en la Figura 11.

El crecimiento de la planta registró un comportamiento lineal respecto a los muestreos tal como se observa en el Cuadro 12 (Figura 11; Apéndice Cuadro A9).

Cuadro 12.- Efecto de la variedad y el corte, sobre la altura de planta (cm), Experimento 2.

Variedad	C1	C2	C3	C4
Pioneer 3025	16.90 ^h	21.29 ^g	25.79 ^e	30.01 ^c
Pioneer 31G98	22.39 ^f	27.12 ^d	36.61 ^b	40.22 ^a

a, b, c y d = Letras iguales para cualquier valor en la tabla, indican que no hay diferencia significativa entre las medias ($P = 0.05$)

C1, C2, C3 y C4 = Muestreo a los 20, 26, 39 y 48 días, respectivamente

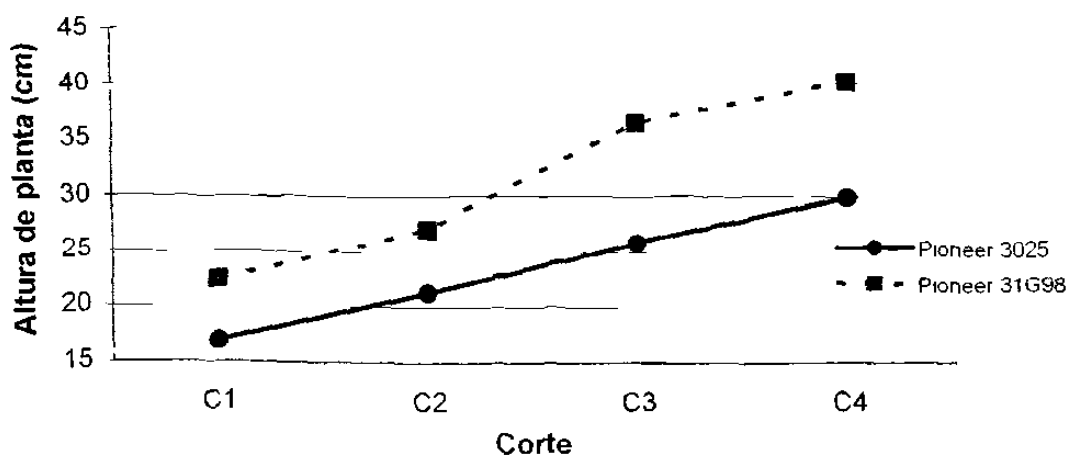


Figura 11. Comportamiento de la variedad y el corte en la altura de planta (cm), Experimento 2.

4.2.3. Ancho de hojas

El análisis de varianza para el ancho de la hoja (cm), mostró diferencia significativa ($P < 0.01$) entre variedades, obteniendo un mayor ancho de hoja en la variedad Pioneer 31G98, seguida de la Pioneer 3025 con 1.4 y 1.2 cm, respectivamente. Valores similares se registraron en el Experimento 1, donde las variedades Pioneer 31G98 y Pioneer 3025 obtuvieron un ancho de hoja de 1.4 y 1.3 cm, respectivamente.

También se mostró diferencia ($P < 0.01$) en el corte, de modo que el mayor ancho de hoja se presentó en el corte 1 seguido de los cortes 2, 3 y 4 con medias de 1.45, 1.35, 1.28 y 1.25 cm respectivamente. Además se registró diferencia ($P < 0.05$) en la comparación de medias de la variedad y el corte en el ancho de hoja, misma que se muestra en la Cuadro 13 (Figura 12; Apéndice Cuadro A10).

La variedad Pioneer 3025 registró diferencia ($P=0.05$) entre el corte 1 y los cortes 2, 3 y 4, mientras que la variedad Pioneer 31G98 registro diferencia ($P=0.05$) para cada muestreo.

La variedad Pioneer 31G98 registró un mayor ancho de hoja ($P=0.05$) 17% respecto a la variedad Pioneer 3025, comenzando con la diferencia en el corte 1 con 18%, haciéndose mayor en el corte 2 con 20% y disminuyendo en los cortes 3 y 4 con 17 y 12%, respectivamente de diferencia (Cuadro 13; Figura 12).

Cuadro 13.- Efecto de la variedad y la altura de la planta al corte, sobre el ancho de hoja (cm), Experimento 2.

Variedad	C1	C2	C3	C4
Pioneer 3025	1.33 ^{cd}	1.23 ^e	1.18 ^e	1.18 ^e
Pioneer 31G98	1.57 ^a	1.48 ^b	1.38 ^c	1.32 ^d

a, b, c y d = Letras iguales para cualquier valor en la tabla, indican que no hay diferencia significativa entre las medias ($P=0.05$)

C1, C2, C3 y C4 = Muestreo a los 20, 24, 31 y 35 cm de altura de planta, respectivamente

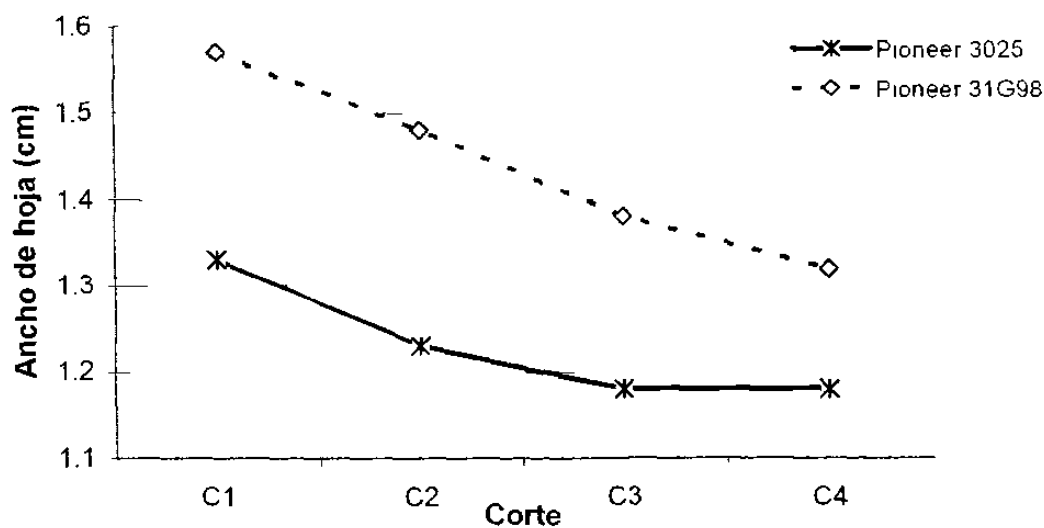


Figura 12.- Comportamiento de la variedad y la altura de planta al corte, en el ancho de hoja (cm), Experimento 2.

4.2.4. Longitud de raíz

El análisis de varianza para el largo de raíz (cm), mostró diferencias ($P < 0.01$) debido a las variedades, obteniendo un mayor longitud de raíz para la variedad Pioneer 31G98 con una media de 22.64 cm mientras que la variedad Pioneer 3025 obtuvo una media de 13.26 (Apéndice Cuadro A11). En el Experimento 1, la variedad Pioneer 31G98 registró una longitud de raíz de 21.5 cm, mientras que la variedad Pioneer 3025 obtuvo una longitud de raíz de 18.5 cm, respectivamente.

Además se registró efecto ($P < 0.01$) para la interacción de variedad x corte en la longitud de raíz (Cuadro 14; Figura 13; Apéndice A11) así como para la interacción densidad de siembra x corte ($P < 0.05$) (Figura 14).

Para la interacción de variedad x corte en la longitud de raíz, se registró la variedad Pioneer 31G98 un 70% mayor que la variedad Pioneer 3025, obteniendo para los cortes 1, 2, 3 y 4 una diferencia de 65, 74, 63 y 79%, respectivamente tal como se observa en el Cuadro 14 y la Figura 13.

Cuadro 14.- Efecto de la variedad y la altura de planta al corte, sobre la longitud de raíz (cm), Experimento 2

Variedad	C1	C2	C3	C4
Pioneer 3025	11.07 ^f	12.51 ^{ef}	13.84 ^e	15.62 ^d
Pioneer 31G98	18.32 ^c	21.81 ^b	22.53 ^b	27.92 ^a

a b y c = Letras iguales para cualquier valor en la tabla, indican que no hay diferencia significativa entre las medias ($P = 0.05$)

C1, C2, C3 y C4 = Muestreo a los 20, 24, 31 y 35 cm de altura de planta, respectivamente

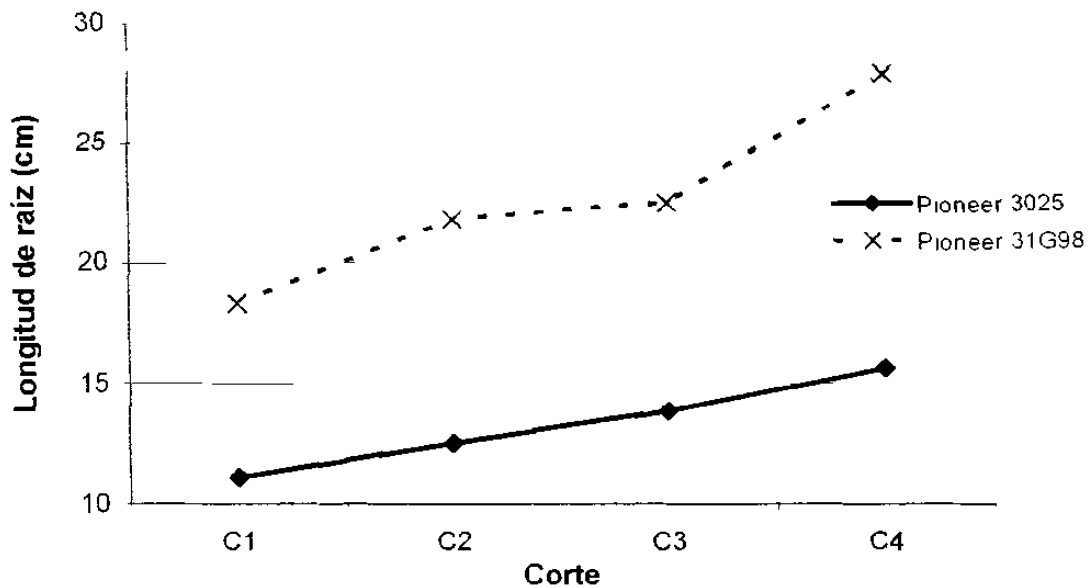


Figura 13.- Comportamiento de la variedad y la altura de planta al corte en la longitud de raíz (cm), Experimento 2.

Se registró diferencia significativa ($P < 0.01$) entre las densidades de siembra, con medias de 19.28 y 16.62 cm para las densidades de 2 y 3 kg.m^{-2} respectivamente. También se mostró diferencia significativa ($P < 0.01$) entre cortes con medias de 14.69, 17.16, 18.18 y 21.77 cm para los cortes 1, 2, 3 y 4 respectivamente.

La comparación de medias entre densidad de siembra y corte en la longitud de raíz, registró un mayor largo de raíz (16%) para la densidad de 2 kg.m^{-2} , fluctuando para los cortes 1, 2, 3 y 4 los porcentajes de 5, 20, 28 y 11%, respectivamente (Cuadro 15; Figura 14).

Cuadro 15.- Efecto de la densidad y la altura de planta al corte, sobre la longitud de raíz (cm), Expenmento 2.

Densidad	C1	C2	C3	C4
D1	15.08 ^d	18.75 ^c	20.38 ^{bc}	22.93 ^a
D2	14.31 ^d	15.57 ^d	15.98 ^d	20.62 ^b

a, b y c = Letras iguales para cualquier valor en la tabla indican que no hay diferencia significativa entre las medias (P=0.05)

C1, C2, C3 y C4 = Muestreo a los 20, 24, 31 y 35 cm de altura de planta, respectivamente

D1 y D2 = Densidad de siembra con 2 y 3 kg m⁻², respectivamente

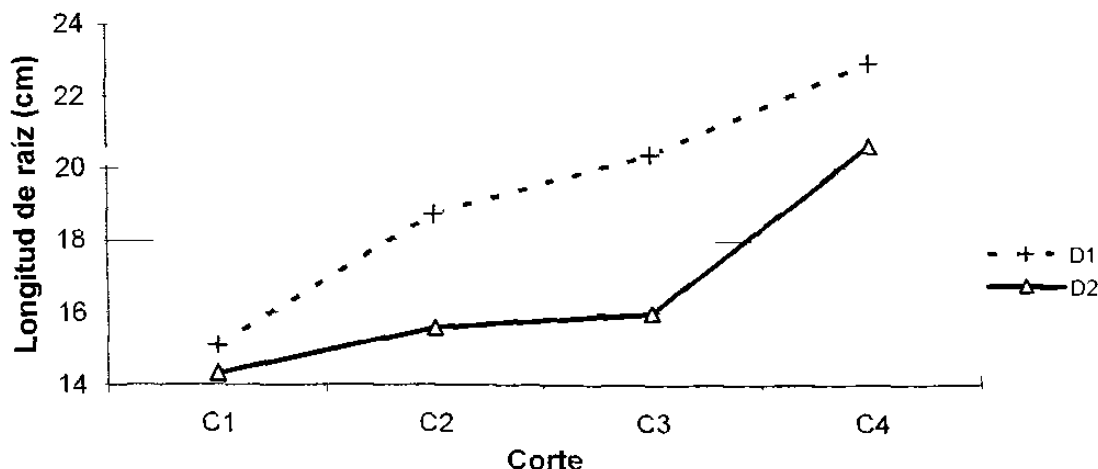


Figura 14.- Comportamiento de la densidad de siembra y la altura de planta al corte en la longitud de raíz (cm), Experimento 2.

4.2.5. Producción de materia seca

El consumo de materia seca es fundamentalmente importante en nutrición porque establece la cantidad de nutrientes disponibles para la salud y producción animal (NRC, 2001). Por lo que se realizó un análisis de varianza para la producción de ms.m⁻², mostrando diferencias (P<0.05) debido a las variedades, obteniendo un mayor producción de ms.m⁻² para la variedad Pioneer 3025 con una media de 1549.90 g mientras que la variedad Pioneer 31G98 obtuvo una media de 1454.20 (Apéndice Cuadro A12). En el Experimento 1, se registró una producción de materia seca de 1419.25 y 1446.86 g para las variedades Pioneer 3025 y Pioneer 31G98,

respectivamente. En general se obtuvo mayor cantidad de materia seca en el Experimento 2 probablemente debido al porcentaje de germinación, así como a la solución nutritiva o a factores asociados con el clima.

También se encontró diferencia significativa ($P < 0.01$) debido al corte con 1884.1, 1690.0, 1336.4 y 1097.7 g para los cortes 1, 2, 3 y 4 respectivamente. Además se encontraron diferencias ($P < 0.01$) en las comparaciones de medias de las interacciones variedad x el corte (Cuadro 16; Figura 15), densidad x corte (Cuadro 17; Figura 16) y la variedad x densidad x corte en la producción de materia seca (Cuadro 18; Figura 17).

La comparación de medias de la variedad x corte para la producción de materia seca m^{-2} representada en el Cuadro 16 y la Figura 15, muestra que la variedad Pioneer 3025 tiende a perder materia seca más lentamente (24%) que la variedad Pioneer 31G98 en el caso de los cortes 2 y 4, sin embargo, en los cortes 1 y 3 sucede lo contrario en un 2%. La pérdida de materia seca en la variedad Pioneer 31G98 se ve asociada a la mayor velocidad de crecimiento, por lo cual a mayor desarrollo mayor pérdida de materia seca por lo menos en la etapa de germinación hasta la altura de 35.12 cm.

Cuadro 16.- Efecto de la variedad y la altura de planta al corte, sobre la producción de ms ($g \cdot m^{-2}$), Experimento 2

Variedad	C1	C2	C3	C4
Pioneer 3025	1866.93 ^{ab}	1785.24 ^b	1326.67 ^{de}	1270.87 ^e
Pioneer 31G98	1901.33 ^a	1594.72 ^c	1346.05 ^d	933.03 ^f

a, b, c y d = Letras iguales para cualquier valor en la tabla, indican que no hay diferencia significativa entre las medias ($P = 0.05$)

C1 C2, C3 y C4 = Muestreo a los 20, 24, 31 y 35 cm de altura de planta, respectivamente

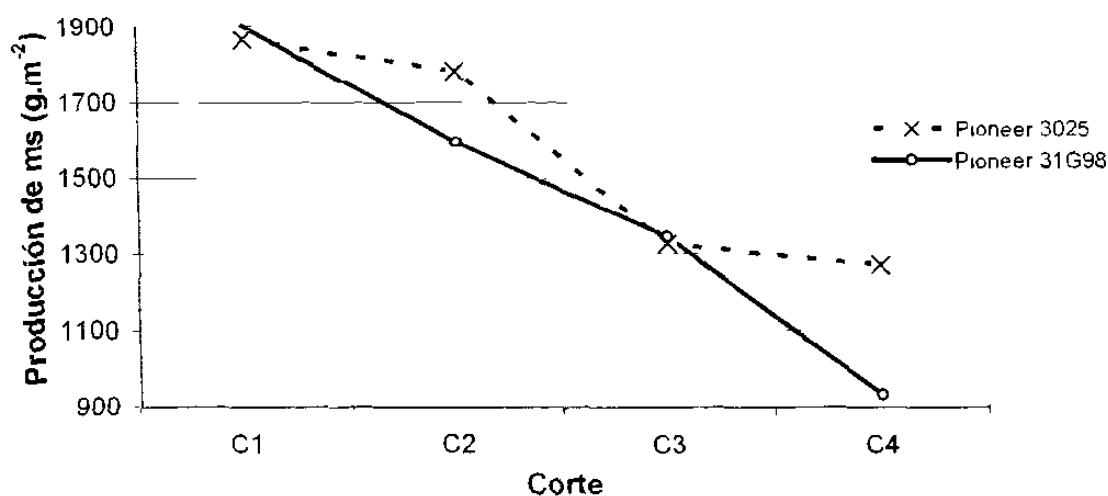


Figura 15.- Comportamiento de la variedad y la altura de planta al corte en la producción de ms (g.m^{-2}), Experimento 2.

Se registró diferencia significativa ($P < 0.01$) en las densidades, con 1188.43 y 1817.78 g para las densidades de 2 y 3 kg.m^{-2} respectivamente.

En la comparación de medias de la interacción densidad x corte para la producción de materia seca g.m^{-2} , se tiene que el valor obtenido de la densidad de 3 kg.m^{-2} , va incrementando por encima de lo estimado la cantidad de materia seca respecto a lo esperado con la densidad de 2 kg.m^{-2} con 2, 3 y 8% para los cortes 1, 2 y 3, respectivamente, pero disminuyendo la cantidad obtenida por debajo de lo esperado en el corte 4 con un 7% (Cuadro 17; Figura 16)

Cuadro 17.- Efecto de la densidad y la altura de planta al corte, sobre la producción de ms (g.m^{-2}), Experimento 2.

Densidad	C1	C2	C3	C4
D1	1487.91 ^d	1326.95 ^e	1018.11 ^f	920.74 ^g
D2	2280.34 ^a	2053.01 ^b	1654.61 ^c	1283.16 ^e

a, b, c y d = Letras iguales para cualquier valor en la tabla indican que no hay diferencia significativa entre las medias ($P = 0.05$)

C1, C2, C3 y C4 = Muestreo a los 20, 24, 31 y 35 cm de altura de planta, respectivamente

D1 y D2 = Densidad de siembra con 2 y 3 kg m^{-2} , respectivamente

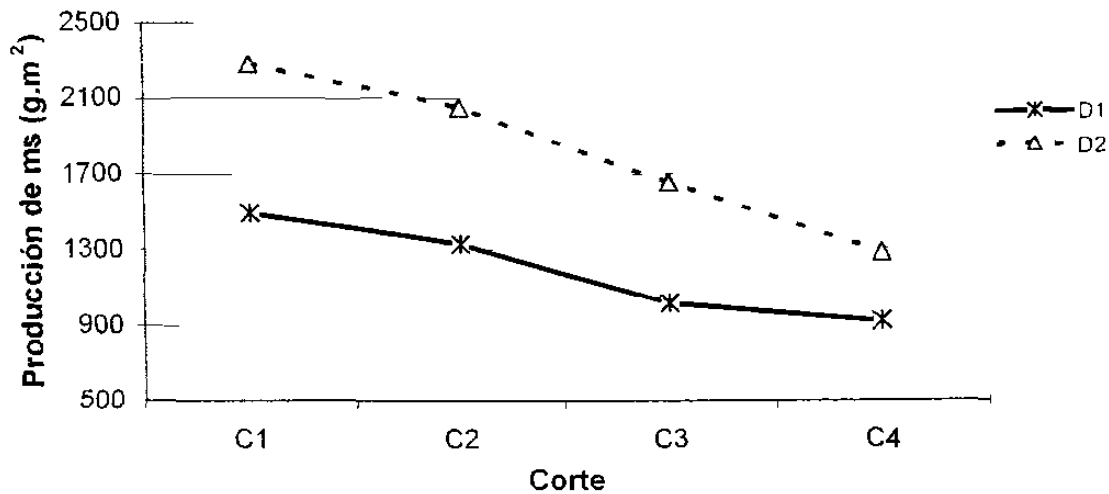


Figura 16.- Comportamiento de la densidad y la altura de planta al corte en la producción de ms (g.m^{-2}), Experimento 2.

La comparación de medias de la interacción variedad x densidad x corte en la producción de materia seca, mostró una división ($P < 0.05$) entre los primeros dos cortes y los siguientes dos cortes para la variedad Pioneer 3025 en ambas densidades de siembra. La variedad Pioneer 31G98 mostró diferencia ($P < 0.05$) con ambas densidades para cada muestreo realizado.

Las densidades de siembra en general, difieren 53% en la producción de ms.m^{-2} , pero en el caso de la variedad Pioneer 31G98 con la densidad de siembra de 3 kg.m^{-2} , difiere solo 3% a la cantidad de materia seca obtenida por la variedad Pioneer 3025 y densidad de 2 kg m^{-2} en el cuarto muestreo (Cuadro 18; Figura 17), quedando así nuevamente el primer muestreo con una menor pérdida de materia seca.

Cuadro 18.- Efecto de la variedad, la densidad de siembra y la altura de planta al corte, sobre la producción de ms (g.m^{-2}), Experimento 2.

Variedad	C1	C2	C3	C4
Pioneer 3025 D1	1507.50 ^{de}	1371.29 ^{ef}	958.31 ^{gh}	978.41 ^h
Pioneer 3025 D2	2226.36 ^a	2199.19 ^a	1695.03 ^c	1563.33 ^{cd}
Pioneer 31G98 D1	1468.33 ^{de}	1282.61 ^f	1077.90 ^g	863.07 ^h
Pioneer 31G98 D2	2334.33 ^a	1906.83 ^b	1614.20 ^{cd}	1002.98 ^{gh}

a, b, c y d = Letras iguales para cualquier valor en la tabla indican que no hay diferencia significativa entre las medias ($P=0.05$)

C1, C2, C3 y C4 = Muestreo a los 20, 24, 31 y 35 cm de altura de planta, respectivamente

D1 y D2 = Densidad de siembra con 2 y 3 kg m^{-2} respectivamente

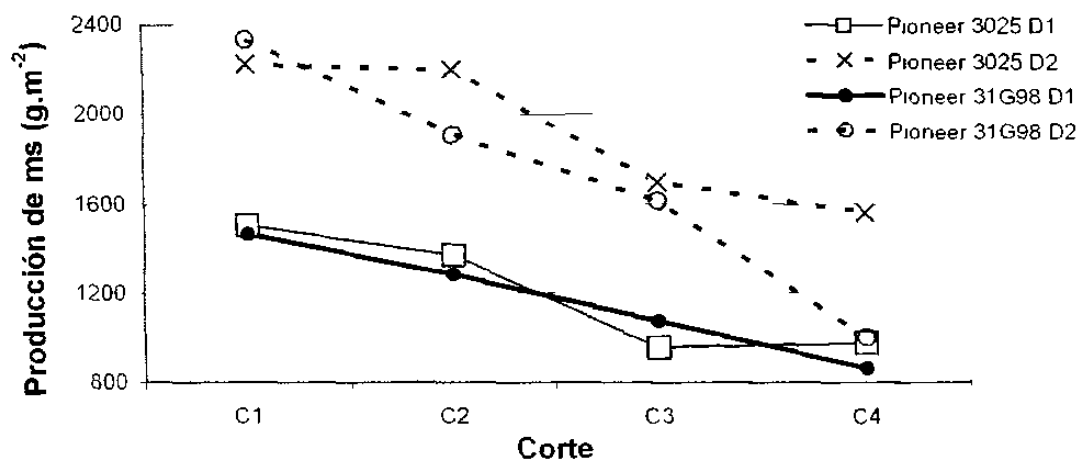


Figura 17.- Comportamiento de la variedad, la densidad y la altura de planta al corte sobre la producción de ms (g.m^{-2}), Experimento 2.

4.2.6. Contenido de cenizas

El análisis de varianza para el contenido de cenizas (%) mostró diferencia ($P<0.05$) entre variedades, obteniendo un mayor contenido de cenizas la variedad Pioneer 31G98 con una media de 3.26%, mientras que la variedad Pioneer 3025 obtuvo 2.63%.

Se registró además diferencia ($P<0.05$) para la comparación de medias de la interacción densidad x corte, la cual se muestra en el Cuadro 19 y Figura 18.

Cuadro 19.- Efecto de la densidad de siembra y la altura de planta al corte, sobre el contenido de cenizas en base seca (%), Experimento 2.

Densidad	C1	C2
D1	2.50 ^c	3.60 ^a
D2	2.50 ^c	3.17 ^b

a y b = Letras iguales para cualquier valor en la tabla, indican que no hay diferencia significativa entre las medias (P=0.05)

C1 y C2 = Muestreo a los 20 y 24 cm de altura de planta respectivamente

D1 y D2 = Densidad de siembra con 2 y 3 kg m², respectivamente

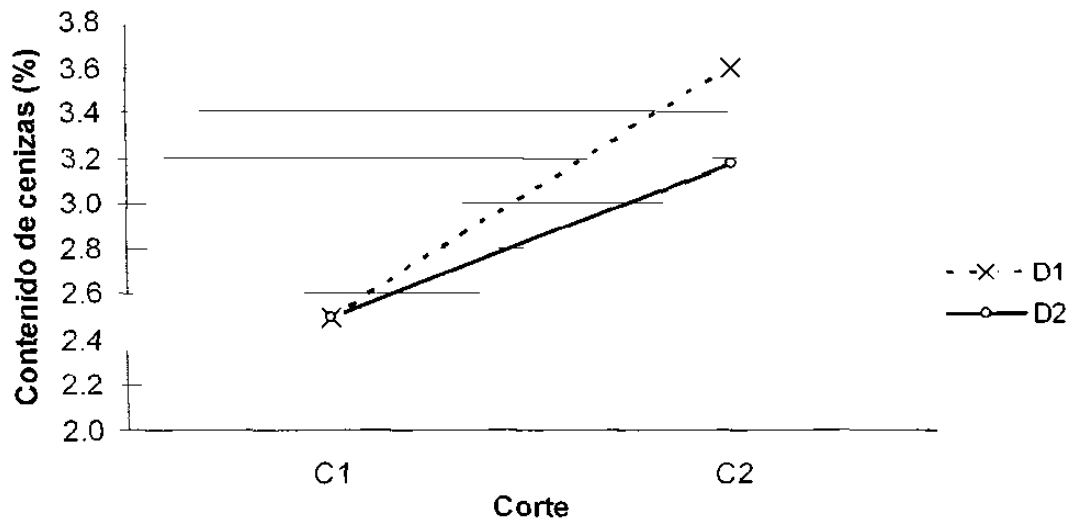


Figura 18.- Comportamiento de la densidad y la altura de planta la corte en el contenido de cenizas en base seca (%), Experimento 2.

El Cuadro 19 muestra la divergencia del contenido de cenizas conforme pasa el tiempo partiendo con valores iguales en el corte 1 y separándose (14%) para el corte 2, obteniendo una mayor captación de minerales para la densidad de 2 kg.m⁻². Este comportamiento pudiera ser ocasionado por la competencia de espacio entre plantas, manifestando que a mayor tamaño de plantas una menor densidad de siembra tiene mayor capacidad de almacenar minerales (Guerrero, 1992)

4.2.7. Contenido de proteína cruda

El contenido de proteína cruda en el forraje tanto como en los demás ingredientes de la dieta es importante para que puedan tener un desarrollo adecuado los animales (Köster *et al.*, 2002), ya que las proteínas son los constituyentes principales del cuerpo animal (NRC, 1981b; NRC, 1985; NRC, 1994; NRC, 1998), por lo cual se estudió el contenido de proteína en el FVH. El análisis de varianza mostró diferencia ($P < 0.01$) entre variedades, obteniendo un mayor contenido de proteína cruda en base seca en el FVH producido con la variedad Pioneer 31G98 con una media de 12.6%, mientras que el FVH producido con la variedad Pioneer 3025 obtuvo 10.3% (Apéndice Cuadro A13). Valores similares de registraron en el Experimento 1, donde las variedades Pioneer 31G98 y Pioneer 3025, registraron un contenido de proteína cruda en base seca de 12.5 y 10.6%, respectivamente.

También se registraron diferencias ($P < 0.05$) en las comparaciones de medias de la interacción densidad x corte (Cuadro 20; Figura 19) así como para la interacción variedad x densidad x corte en el contenido de proteína cruda en base seca (%) (Cuadro 21; Figura 20).

El contenido de proteína cruda en base seca se registró mayor (5%) para la densidad de 2 kg.m². La diferencia entre cortes en la interacción con la densidad se muestra en el Cuadro 20, obteniendo una diferencia de 21% para las densidades de 2 y 3 kg.m² en los cortes 1 y 2

Cuadro 20.- Efecto de la densidad de siembra y la altura de planta al corte, sobre el contenido de proteína cruda en base seca (%), Experimento 2.

Densidad	C1	C2
D1	10.53 ^c	12.94 ^a
D2	10.23 ^d	12.10 ^b

a y b = Letras iguales para cualquier valor en la tabla, indican que no hay diferencia significativa entre las medias (P=0.05)

C1 y C2 = Muestreo a los 20 y 24 cm de altura de planta respectivamente

D1 y D2 = Densidad de siembra con 2 y 3 kg m⁻², respectivamente

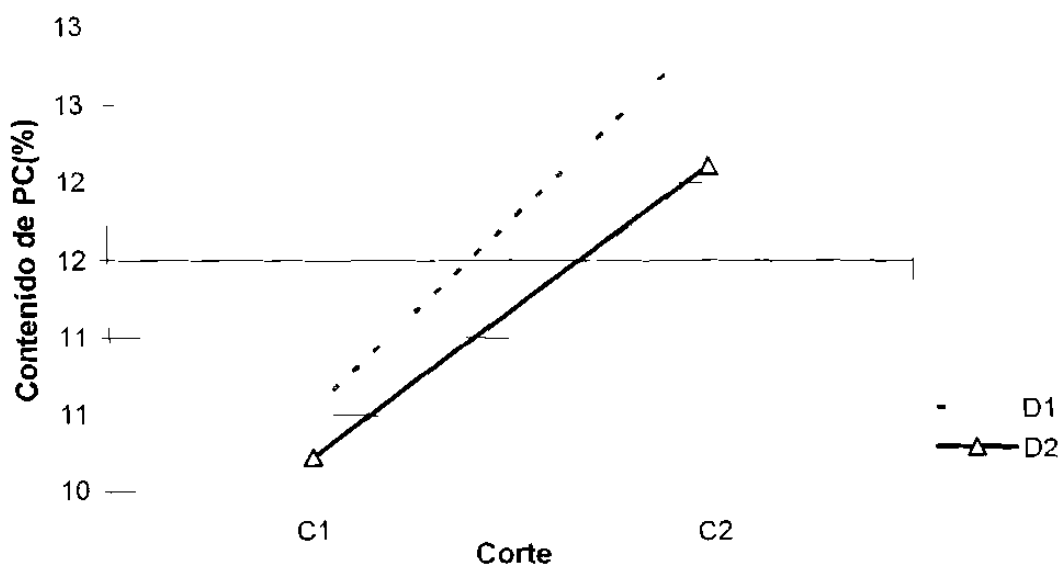


Figura 19.- Comportamiento de la densidad y la altura de planta al corte en el contenido de proteína cruda en base seca (%), Experimento 2.

La diferencia de proteína cruda en el corte 1 para las densidades de 2 y 3 kg.m⁻² corresponde a 3%, mientras que para el corte 2, corresponde a 7% (Cuadro 20; Figura 19).

Para todos los tratamientos mostrados en el Cuadro 21 (Figura 20), se observó diferencia estadística utilizando una probabilidad de P=0.05 para la

comparación de medias, dando como resultado que existe diferencia entre los valores del corte 1 y los valores del corte 2 para cada tratamiento.

Cuadro 21.- Efecto de la variedad, la densidad y la altura de planta al corte sobre el contenido de proteína cruda en base seca (%), Experimento 2.

Tratamiento	C1	C2
Pioneer 3025 D1	9.15 ^e	11.82 ^c
Pioneer 3025 D2	9.26 ^e	10.83 ^d
Pioneer 31G98 D1	11.92 ^c	14.07 ^a
Pioneer 31G98 D2	11.20 ^d	13.39 ^b

a y b = Letras iguales para cualquier valor en la tabla, indican que no hay diferencia significativa entre las medias (P=0.05)

C1 y C2 = Muestreo a los 20 y 24 cm de altura de planta, respectivamente

D1 y D2 = Densidad de siembra con 2 y 3 kg m⁻² respectivamente

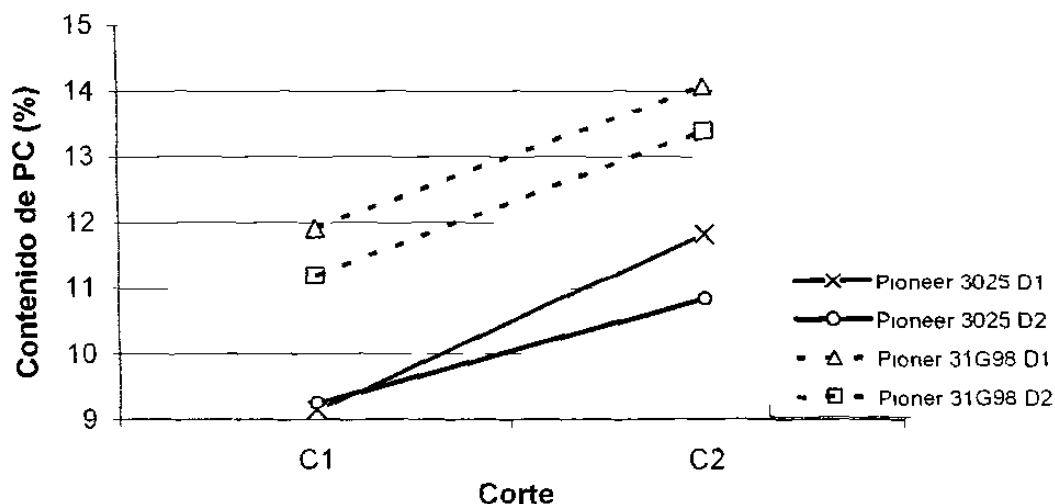


Figura 20. Comportamiento de la variedad, la densidad y la altura de planta al corte en el contenido de proteína cruda en base seca (%), Experimento 2.

La variedad Pioneer 31G98 muestra un incremento uniforme de proteína, mientras que la variedad Pioneer 3025 tiene una tendencia a incrementar la cantidad de proteína acumulada solo para la densidad de 2 kg.m⁻² en el segundo corte (Cuadro 21; Figura 20).

4.2.8. Contenido de fibra neutro detergente

El contenido de FND es la variable de laboratorio más cercanamente asociada con el consumo voluntario (Poopi *et al.*, 1981b, Poopi *et al.*, 1981c; Casler *et al.*, 2005) por lo que se consideró para realizarle un análisis de varianza para el contenido de fibra neutro detergente en base seca (%), mostrando diferencia ($P < 0.01$) debido a las variedades y obteniendo un mayor contenido de fibra neutro detergente la variedad Pioneer 31G98 con una media de 43.95%, mientras que la variedad Pioneer 3025 obtuvo 36.92% (Cuadro 22; Figura 21; Apéndice Cuadro A13). Arriola *et al.*, (1997) mencionan que cada cultivo tiene una cantidad de FND e inclusive dentro de un cultivo al tener diversas variedades éstas se pudieran presentar con niveles de FND diferentes.

También se registró diferencia ($P < 0.05$) para la comparación de medias de la interacción variedad x densidad x corte la cual se muestra en el Cuadro 22 (Figura 21).

Cuadro 22. Efecto de la variedad, la densidad y la altura de corte, sobre el contenido de fibra neutro detergente en base seca (%), Experimento 2.

Tratamiento	C1	C2
Pioneer 3025 D1	32.80 ^e	44.56 ^{bc}
Pioneer 3025 D2	32.80 ^e	37.52 ^d
Pioneer 31G98 D1	41.18 ^c	49.11 ^a
Pioneer 31G98 D2	37.46 ^d	48.05 ^{ab}

a y b = Letras iguales para cualquier valor en la tabla indican que no hay diferencia significativa entre las medias ($P = 0.05$)

C1 y C2 = Muestreo a los 20 y 24 cm de altura de planta respectivamente

D1 y D2 = Densidad de siembra con 2 y 3 kg m², respectivamente

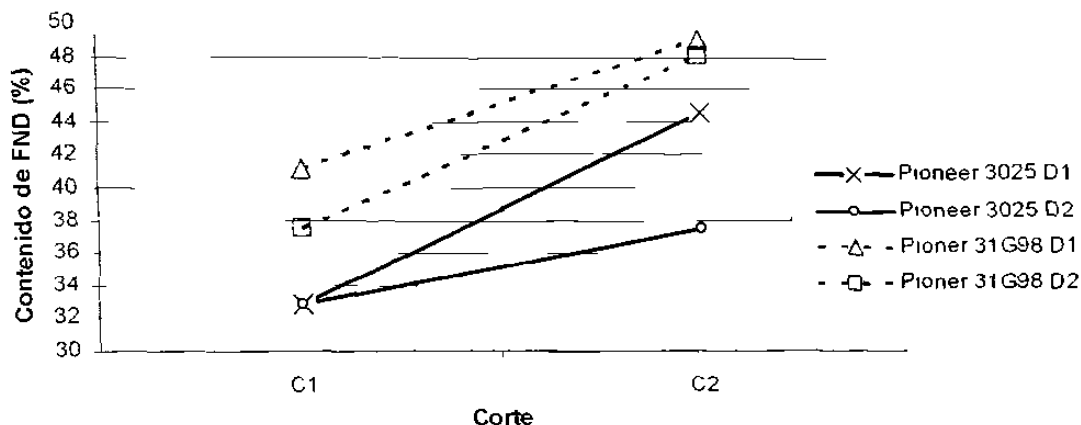


Figura 21. Comportamiento de la variedad, la densidad y la altura de planta al corte en el contenido de fibra neutro detergente en base seca (%), Experimento 2.

Para todos los tratamientos es notorio el incremento de FND del corte 1 al corte 2, obteniendo valores mas altos la variedad Pioneer 31G98 y la densidad de 2 kg.m^{-2} (Cuadro 22; Figura 21).

El balance de nutrientes para el Experimento 2 muestra la pérdida de algunos nutrientes (Cuadro 23) y el incremento de otros. Resultados similares a los registrados en el Experimento 1.

Cuadro 23.- Balance nutricional de la comparación del grano contra el FVH del primer corte (20 cm) en términos de materia seca, cenizas, proteína cruda y fibra neutro detergente, Experimento 2.

Trata	MS (kg.m^{-2})		Cenizas (g m^{-2})		PC (g m^{-2})		FND (g.m^{-2})	
	Grano	FVH	Grano	FVH	Grano	FVH	Grano	FVH
V1D1	1.80	1.51	29	33	126	139	293	495
V1D2	2.70	2.23	43	49	189	207	440	730
V2D1	1.80	1.47	41	41	191	175	329	605
V2D2	2.70	2.33	62	65	286	261	494	875

D1 y D2 = Densidad de siembra con 2 y 3 kg m^{-2} respectivamente
 V1 y V2 = Variedades Pioneer 3025 y Pioneer 31G98

4.2.9. Beneficio económico

El análisis realizado para el beneficio económico resultó con un costo de 2.34 y 2.15 \$/kg de ms/módulo (Cuadro 24; Apéndice Cuadro A14) para las variedades Pioneer 3025 y Pioneer 31G98 sin tomar en cuenta el costo de mano de obra y al tomar en cuenta éste, se obtuvo un costo de 10.67 y 10.95 \$/kg de ms/módulo para las variedades Pioneer 3025 y Pioneer 31G98, respectivamente

Cuadro 24.- Beneficio económico (\$/kg de ms/módulo) para los primeros dos muestreos (sin y con mano de obra), Experimento 2.

Muestreo	V1D1	V1D2	V2D1	V2D2
Sin mano de obra				
C1	2.30	2.24	2.06	1.86
C2	2.55	2.28	2.39	2.29
Con mano de obra				
C1	10.79	7.99	10.79	7.34
C2	14.29	9.60	14.94	10.73

C1 y C2 = Muestreo a los 20 y 24 cm de altura de planta, respectivamente

D1 y D2 = Densidad de siembra con 2 y 3 kg m², respectivamente

V1 y V2 = Variedades Pioneer 3025 y Pioneer 31G98

Para las densidades de siembra con 2 y 3 kg.m², sin tomar en cuenta la mano de obra se obtuvieron costos de 2.33 y 2.17 \$/kg de ms/módulo, respectivamente, mientras que al tomar en cuenta la mano de obra se obtuvieron costos de 12.70 y 8.92 \$/kg de ms/módulo para las densidades de 2 y 3 kg m², respectivamente.

Tomando en cuenta los días al muestreo, en el análisis económico se encontró que para los cortes 1 y 2 el \$/kg de ms/módulo fue de 2.12 y 2.38, respectivamente, sin tomar en cuenta la mano de obra, y al tomarla en cuenta, se registró 9.23 y 12.39 \$/kg de ms/módulo para los cortes 1 y 2, respectivamente (Cuadro 24; Apéndice Cuadro A14).

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Debido a las condiciones climatológicas de la región Noreste de Nuevo León cabe mencionar que la implementación de módulos para la producción de FVH puede ser de gran utilidad ya que se puede contar con la producción diaria de forraje tierno, fresco, saludable y de buena calidad.

En condiciones generales el experimento 1 registró numéricamente mayor tamaño de planta, ancho de hoja, largo de raíz, contenido de cenizas y contenido de proteína cruda que el experimento 2. Sin embargo, el experimento 2 registró numéricamente mayor cantidad de materia seca y contenido de fibra neutro detergente. Las diferencias entre ambos experimentos pudieran ser debidas al cambio de temperatura por las fechas de siembra o a la solución nutritiva.

El maíz de la variedad Pioneer 31G98 obtuvo mayor longitud de planta, ancho de hoja, largo de raíz, proteína cruda y fibra neutro detergente en ambos experimentos ($P < 0.01$). En el experimento 1 obtuvo un mayor contenido de materia seca y cenizas ($P > 0.05$). En el experimento 2 obtuvo mayor contenido de cenizas ($P < 0.05$). La variedad Pioneer 3025 registró mayor contenido de materia seca en el experimento 2 ($P < 0.05$).

La densidad de 2 kg.m^{-2} en el experimento 1 registró mayor ancho de hoja, largo de raíz y contenido de cenizas ($P > 0.05$), mientras que en el experimento 2 registró mayor ancho de hoja, contenido de cenizas, proteína cruda y fibra neutro detergente ($P > 0.05$), además registró mayor longitud de raíz ($P < 0.01$).

La densidad de 3 kg.m^{-2} en el experimento 1 registró mayor largo de planta, contenido de proteína cruda y fibra neutro detergente ($P > 0.05$), además registró un

mayor contenido de materia seca ($P < 0.01$). En el experimento 2 registró un mayor largo de planta y contenido de materia seca ($P < 0.01$). El análisis bromatológico mostró mayores valores para el FVH que para el grano de maíz.

El análisis económico del sistema de producción de FVH en el módulo utilizado, muestra que la variedad Pioneer 31G98 y a los 12 días de corte, obtuvo los resultados más satisfactorios, teniendo que con las densidades de 2 y 3 kg m^{-2} , es posible obtener hasta 4 y 6 raciones diarias respectivamente de 300 g de materia seca.

Se recomienda realizar investigaciones respecto a la implementación de diversos cultivos con diferentes variedades, densidades de siembra y días de corte, ya que existen grandes diferencias con un simple cambio en estos factores tal como lo muestra la presente investigación, lo cual hace indispensable obtener la mejor información en cada región para mantener un óptimo desarrollo económico.

6. BIBLIOGRAFÍA

- AOAC. 1990. Official Methods of Analysis (15th Ed). Association of Official Analytical Chemists. Arlington, V. A.
- Asimov, I. 1980. Fotosíntesis. (Trad.) Ferrer J. A. PLAZA & JANES. ISBN: 84-01-33168-4. España. 251. p.
- Agrios, G. N. 1988. Plant pathology. 3^{ro} ed. Academic Press, INC. ISBN 0-12-044563-8. USA. 803 p.
- Arano, C. 1998. Forraje Verde Hidropónico y Otras Técnicas de Cultivos sin Tierra. Editado por el propio autor. Prov. de Buenos. Aires, Argentina. 397 p.
- Arriola, J., C. González, I. Díaz y J. Reyes. 1997. NM 13. Determinación de la digestibilidad ileal y fecal aparente del follaje de siete cultivares de batata (*Ipomoea batatas* L.) en cerdos. Arch. Latinoam. Prod. Anim. 5:288-290.
- Bidwell, R. G. S. 1990. Fisiología Vegetal. Cano, G. G. C. y M. G. Rojas (traductores). A. G. T. (ed) ISBN: 968-463-015-8 México. 784 p
- Black, J. L., and P. A. Kenney. 1984. Factors affecting diet selection by sheep. 2. Height and density of pasture. Australian Journal of Agricultural Research 35:565-578.
- Bohnert, D. W., C. S. Schauer, M. L. Bauer and T. DelCurto. 2002a. Influence of rumen protein degradability and supplementation frequency on steers consuming low-quality forage: I. Site of digestion and microbial efficiency. J Anim. Sci. 80:2967-2977.

- Bohnert, D. W., C. S. Schauer, S. J. Falck and T. DelCurto. 2002b. Influence of rumen protein degradability and supplementation frequency on steers consuming low-quality forage: II. Ruminal fermentation characteristics. *J. Anim. Sci.* 80:2978-2988.
- Bravo R. M. R. 1988. Niveles de Avena Hidropónica en la Alimentación de Conejos Angora. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales de la Universidad de Concepción, Sede Chillán. Chile.
- Casler, M. D., M. Diaby and C. Stendal. 2005. Heterosis and inbreeding depression for forage yield and fibre concentration in smooth bromegrass. *Crop. Sci.* 45:44-50.
- Cherney, D. J. R., J. H. Cherney and W. J. Cox. 2004. Fermentation characteristics of corn forage ensiled in mini-silos. *J. Dairy Sci.* 87:4238-4246.
- Combs, D. K. 2001. Alimentando vacas de alta producción en pasturas: Manejo de pasturas. Instituto Babcock Universidad de Wisconsin Novedades Lácteas N° 503:1-8.
- Cox, W. J. and J. H. Cherney. 2005. Timing corn forage harvest for bunker silos. *Agron. J.* 97:142-146.
- Currier, T. A., D. W. Bohnert, S. J. Flack, C. S. Schauer and S. J. Bartle. 2004. Daily and alternate-day supplementation of urea or biuret to ruminants consuming low-quality forage: II Effects on site of digestion and microbial efficiency in steers. *J. Anim. Sci.* 82:1518-1527.
- Dosal, A. J. J. M. 1987. Efecto de la dosis de siembra, época de cosecha y fertilización sobre la calidad y cantidad de forraje de avena producido bajo

condiciones de hidroponía. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales de la Universidad de Concepción, Sede Chillán Chile.

Dubbs, T. M., E. S. Vanzant, S. E. Kitts, R. F. Bapst, B.G.Fieser and C. M. Howlett.

2003. Characterization of season and sampling method effects on measurement of forage quality in fescue-based pastures. J. Anim. Sci. 81: 1308-1315.

FAO. 2002. Forraje verde hidropónico Santiago, Chile (<http://www.fao.org/Regional/LAmerica/pr/or/segal/m/forraje.htm>) 69 p

Fieser, B. G. and E. S. Vanzant. 2004. Interactions between supplement energy source and tall fescue hay maturity on forage utilization by beef steers. J. Anim. Sci. 82:307-318.

Foley, R. C., D. L. Bath, F. N. Dickinson and H. A. Tucker. 1973 Dairy cattle: principles, practices, problems, profits. LEA & FEBIGER. USA. 693 p.

Gadberry, M. S., P. A. Beck and S. A. Gunter. 2004. Forage intake and performance by beef heifers grazing cool-season pasture supplemented with de-oiled rice bran or corn. The Professional Animal Scientist 20:394-400

Gardner, F. P., R. B. Pearce, R. L. Mitchell. 1985. Physiology of crop plants. The Iowa State University Press. 327 p.

Guerrero, A. 1992. Cultivos herbáceos extensivos. 5ª ed. Mundi-Prensa. Madrid. 779 p.

Hacker, J. B. and D. J. Minson. 1972. Varietal differences in vitro dry matter digestibility in setaria and the effects of site, age and season. Australian Journal of Agricultural Research. 23:959-967.

- Harvatine, D. I., J. L. Firkins and M. L. Eastridge. 2002. Whole linted cottonseed as a forage substitute fed with ground or steam-flaked corn: digestibility and performance. *J. Dairy Sci.* 85:1976-1987.
- Hidalgo, M. L. R. 1985. Producción de forraje en condiciones de hidroponía. I. Evaluaciones preliminares en avena y triticale. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales de la Universidad de Concepcion, Sede Chillán. Chile.
- IREBC. 1976. Mejoramiento de la eficiencia reproductiva del ganado bovino para carne.(Trad.) Kochmann, S. B. HEMISFERIO SUR. Buenos Aires, Argentina. 283 p.
- INEGI. 1983. Nomenclatura de Nuevo León. Dirección de Geografía del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México. ISBN 968-809-275-6. 211 p.
- Johnson, C. R., D. L. Lalman, M. A. Brown, L. A. Appeddu, D. S. Buchanan and R. P. Wettemann. 2003. Influence of milk production on potential on forage dry matter intake by multiparous and primiparous brangus females *J. Anim. Sci.* 81:1837-1846.
- Kallenbach, R. L., G. J. Bishop-Hurley, M. D. Massie, M. S. Kerley and C. A. Roberts. 2003. Stockpiled annual ryegrass for winter forage in the lower Midwestern USA. *Crop Sci.* 43:1414-1419.
- Köster, H. H., B. C. Woods, R. C. Cocham, E. S. Vanzant, E. C. Titgemeyer, D. M. Grieger, K. C. Olson and G. Stokka. 2002. Effect on increasing proportion of supplemental N from urea in prepartum supplements on range beef cow

- performance and on forage intake and digestibility by steers fed low-quality forage. *J. Anim. Sci.* 80:1652-1662.
- Lomeli, Z. H. M. 2000. El forraje verde hidropónico. El forraje del futuro. *Agrocultura* nº 63, marzo-abril.
- McDonald, P., R. A. Edwards and J. F. D. Greenhalgh. 1988. *Animal nutrition*. 4th ed. LONGMAN SCIENTIFIC & TECHNICAL. Singapore 543 p.
- Marschner, H. 1995. *Mineral nutrition of higher plants*. 2nd ed. ACADEMIC PRESS. USA. 889 p.
- Morales, O. A. F. 1987. Forraje hidropónico y su utilización en la alimentación de corderos precozmente destetados. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales de la Universidad de Concepción, Sede Chillán. Chile.
- Murphy, B. 1991. Greener pastures on your side of the fence. Better farming with voisin grazing management. 2nd ed. ARRIBA PUBLISHING, USA. 298 p.
- Nayigihugu, V., B. W. Hess, L. Brokaw, D. W. Koch and J. W. Flake. 2003 Potential of high-sugar corn as a fall and winter forage resource for grazing beef cattle. *The Professional Animal Scientist* 19:410-415.
- Nösberger, J., H. H. Geiger and P. C. Struik. 2001. *Crop Science: Progress and prospects*. CABI Publishing. USA. ISBN 0-85199-530-6. 398 p.
- NRC. 2002a. *Animal Biotechnology: Science-based concerns*. The National Academies Press. Washington, D. C. [http / www.nap.edu/catalog/1_418.htm](http://www.nap.edu/catalog/1_418.htm). 201 p.

- NRC. 2002b. Scientific advances in animal nutrition: Promise for the new century, proceedings of a symposium. National Academy Press. Washington, D C
<http://www.nap.edu/catalog/10299.html> 102 p.
- NRC. 2001. Nutrient requirements of dairy cattle: 7th revised edition. National Academy Press. Washington, D. C. <http://www.nap.edu/catalog/9825.html> 408 p.
- NRC. 1998. Nutrient requirements of swine. 10th revised edition. National Academy Press. Washington D. C. <http://www.nap.edu/catalog/6016.html> 210 p.
- NRC. 1995. Nutrient requirements of laboratory animals 4th revised edition. National Academy Press. Washington, D. C. <http://www.nap.edu/catalog/47.html> 192 p.
- NRC. 1994. Nutrient requirements of poultry. 9th revised edition. National Academy Press. Washington D. C. <http://www.nap.edu/catalog/2114.html> 176 p.
- NRC. 1985. Nutrient requirements of sheep. 6th revised edition. National Academy Press. Washington D. C. <http://www.nap.edu/catalog/614.html> 112 p.
- NRC. 1981a. Effect of environment on nutrient requirements of domestic animals. National Academy Press. Washington, D. C.
<http://www.nap.edu/catalog/4963.html> 168 p.
- NRC. 1981b. Nutrient requirements of goats: Angora, dairy and meat goats in temperate and tropical countries. National Academy Press. Washington, D. C.
<http://www.nap.edu/catalog/30.html> 84 p.
- Ñíguez, C. M. E. 1988. Producción de forraje en condiciones de hidroponía II. Selección de especies y evaluación de cebada y trigo. Facultad de Ciencias

- Agropecuarias y Forestales de la Universidad de Concepción, Sede Chillán.
Chile.
- Olivares, S. E. 1994. Paquete de diseños experimentales FAUANL. Versión 2.5.
Facultad de Agronomía UANL. Marín, N. L.
- Oliver, A. L., R. J. Grant, J. F. Pedersen and J. O. Rear. 2004. Comparison of brown midrib-6 and -18 forage sorghum with conventional sorghum and corn silage in diets of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 87:637-644.
- O'Sullivan, A., K. O'Sullivan, K. Galvin, A. P. Moloney, D. J. Troy and J. P. Kerry. 2002. Grass silage versus maize silage effects on retail packaged beef quality. *J. Dairy Sci.* 85:1556-1563.
- Parthapar, S. A. 2000. Water shortages in the 21st century. In: Cadman, H. (ed.) *The food and environment tightrope*. Australian Centre of International Agricultural Research. Canberra. pp. 125-133.
- Peña, A. R., G. H. Núñez, F. C. González. 2002. Potencial forrajero de poblaciones de maíz y relación entre atributos agronómicos con la calidad. *Téc. Pecu. Méx.* 40(3):215-228.
- Pérez, L. N. 1987. Efecto de la sustitución del concentrado por forraje obtenido en condiciones de hidroponía en una crianza artificial de terneros. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales de la Universidad de Concepción, Sede Chillán. Chile.
- Plourd, R. F. 1999. Adhere to forage NDF minimums. *Dairy Herd Management.* 36:44-45.

- Poopi, D. P., D. J. Minson and J. H. Ternouth. 1981a. Studies of cattle and sheep eating leaf and stem fractions of grasses. 1. The voluntary intake, digestibility and retention time in the reticulo-rumen. *Australian Journal of Agricultural Research*. 32:99-108.
- Poopi, D. P., D. J. Minson and J. H. Ternouth. 1981b. Studies of cattle and sheep eating leaf and stem fractions of grasses. 2. Factors controlling the retention of feed in the reticulo-rumen. *Australian Journal of Agricultural Research*. 32:109-121.
- Poopi, D. P., D. J. Minson and J. H. Ternouth. 1981c. Studies of cattle and sheep eating leaf and stem fractions of grasses. 3. The retention time in the rumen of large feed particles. *Australian Journal of Agricultural Research*. 32:123-137.
- Ramos, C. 1999. El uso de aguas residuales en riegos localizados y en cultivos hidropónicos. Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias. Valencia, España.
- Redfeam, D. D., B. C. Venuto, W. D. Pitman, M. W. Alison and J. D. Ward. 2002. Cultivar and environment effects on annual ryegrass forage yield, yield distribution and nutritive value. *Crop Sci*. 42:2049-2054.
- Resh, H. M. 2001. Cultivos hidropónicos. Nuevas técnicas de producción. 5ª ed. Revisada y ampliada por Carlos de Juan. Ediciones Mundi – Prensa. España, Madrid. 558 p.
- Rodríguez, A. C. S. 2003. Cómo producir con facilidad, rapidez y óptimos resultados forraje verde hidropónico. Ed. DIANA México. ISBN: 968-13-3613-5. 113 p.

- Rodríguez, A., Chang, M., Hoyos, M y Falcón, F. 2000. Manual Práctico de Hidroponía. Centro de Investigación de hidroponía y Nutrición Mineral. Lima, Perú.
- Rosthoj, S. I. L. y L. N. P. Branda. 2001. Determinación de los nutrientes digestibles totales en ovinos a partir del pennisetum purpureum y variedades. Revista de Ciencia y Tecnología. Dirección de Investigadores – UNA Vol. 1 N° 3, 83-90.
- SAGARPA. 2003. Programa sectorial de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación 2001-2006 (<http://www.sagarpa.gob.mx/Dgg/FTP/Sectorial2.pdf>).
- Sanderson, M. A., M. Labreuveux, M. H. Hall and G. F. Elwinger. 2003. Nutritive value of chicory and English plantain forage. Crop Sci. 43:1797-1804.
- Sánchez, A. 1996. Informes Técnicos de Estadía. Informes Internos de la Dirección Nacional de Empleo (DINAE –Ministerio de Trabajo y Seguridad Social) Montevideo, Uruguay.
- Scarborough, D. A., W. K. Koblenz, K. P. Coffey, J. E. Turner, G. V. Davis, D. W. Kellogg and D. H. Hellwig. 2001. Effects of calendar date and summer management on the in situ dry matter and fibre degradation of stockpiled forage from bermudagrass pastures. J. Anim. Sci. 79:3158-3169.
- Schneider, A. 1991. Alternativas para lecheras y engordes: Forraje Verde Hidropónico. Revista El Campesino. Santiago. Chile.
- Titgemeyer, E. C., J. S. Drouillard, R. H. Greenwood, J. W. Ringler, D. J. Bindel, R. D. Hunter and T. Nutsch. 2004. Effect of forage quality on digestion and

- performance responses of cattle to supplementation with cooked molasses blocks. *J. Anim. Sci.* 82:487-494.
- Valdivia, E. 1996. Producción de forraje verde hidropónico. En hidroponia una esperanza para Latinoamérica. CIHNM. UNALM Lima, Perú 395 p.
- Van Soest, P. J. 1963. Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. II. A rapid methods for the determination of fibre and lignin. *J. Ass. Offic. Agr. Chem* 46:829.
- Whitlock, L. A., D. J. Schingoethe, A. R. Hippen, K. F. Kalscheur and A. A. Abughazaleh. 2003. Milk production and composition from cows fed high oil or conventional corn at two forage concentrations. *J. Dairy Sci.* 86:2428-2437.
- Wilson, J. R. and C. W. Ford. 1973. Temperature influences on the in vitro digestibility and soluble carbohydrate accumulation of tropical and temperate grasses. *Australian Journal of Agricultural Research.* 24:187-198.

7. APÉNDICE

Cuadro A1.- Temperatura mínima, máxima y promedio °C durante el experimento 1.

Octubre	2	3	4	5	6	7	8	Prom
Temp. Máx. (°C)	28.8	39.3	37.0	34.8	33.8	32.5	33.3	34.2
Temp. Mín. (°C)	22.0	21.6	22.3	19.1	19.7	20.4	20.9	20.9
Prom T° (°C)	25.4	30	30	26.95	26.75	26.45	27.1	27.5

Octubre	9	10	11	12	13	14	15	Prom
Temp. Máx. (°C)	33.5	33.4	33.3	33.1	31.8	29.3	21.9	30.9
Temp. Mín. (°C)	18.8	18.2	18.0	20.0	19.7	19.1	12.2	18.0
Prom. T° (°C)	26.2	26	26	26.55	25.75	24.2	17.05	24.5

Octubre	16	17	18	19	20	21	22	Prom
Temp. Máx. (°C)	31.5	35.1	34.4	37.2	36.0	36.1	34.3	34.9
Temp. Mín. (°C)	14.6	16.6	21.6	19.2	20.5	22.9	23.6	19.9
Prom T° (°C)	23.1	26	28	28.2	28.25	29.5	28.95	27.4

Octubre	23	24	25	26	27	28	29	Prom
Temp. Máx. (°C)	34.0	34.7	32.0	31.9	32.3	32.4	32.1	32.8
Temp. Mín. (°C)	22.2	22.0	22.2	22.0	21.5	22.5	21.7	22.0
Prom T° (°C)	28.1	28	27	26.95	26.9	27.45	26.9	27.4

Octubre	30							Prom
Temp. Máx. (°C)	32.5							32.5
Temp. Mín. (°C)	20.1							20.1
Prom. T° (°C)	26.3							26.3

Prom Gral T° (°C)								26.7
-------------------	--	--	--	--	--	--	--	------

Cuadro A2.- Altura de plantas (cm) en los diversos muestreos durante el experimento 1.

Tratamientos	C1	C2	C3	C4
V1D1	17 01	22 15	26 07	29 72
V1D2	17 20	22 06	26 66	30 16
V2D1	21 75	28 63	37 02	38 58
V2D2	22 66	29 16	36 37	38 01

C1, C2, C3 y C4 = Muestreo a los 12, 15, 20 y 23 días respectivamente
D1 y D2 = Densidad de siembra con 2 y 3 kg m⁻², respectivamente
V1 y V2 = Variedades Pioneer 3025 y Pioneer 31G98, respectivamente

Cuadro A3.- Ancho de hojas (cm) en los diversos muestreos durante el experimento 1.

Tratamientos	C1	C2	C3	C4
V1D1	1.28	1.31	1.21	1.22
V1D2	1.35	1.30	1.22	1.23
V2D1	1.48	1.45	1.48	1.43
V2D2	1.47	1.45	1.36	1.32

C1, C2, C3 y C4 = Muestreo a los 12, 15, 20 y 23 días, respectivamente
D1 y D2 = Densidad de siembra con 2 y 3 kg m⁻², respectivamente
V1 y V2 = Variedades Pioneer 3025 y Pioneer 31G98 respectivamente

Cuadro A4.- Longitud de raíz (cm) en los diversos muestreos durante el experimento 1.

Tratamientos	C1	C2	C3	C4
V1D1	16 66	18 79	20 71	19 96
V1D2	13 65	16 12	19 06	20 21
V2D1	18 54	24 32	29 02	27 28
V2D2	17 78	23 39	25 96	29 04

C1, C2, C3 y C4 = Muestreo a los 12, 15, 20 y 23 días, respectivamente
D1 y D2 = Densidad de siembra con 2 y 3 kg m⁻², respectivamente
V1 y V2 = Variedades Pioneer 3025 y Pioneer 31G98, respectivamente.

Cuadro A5.- Producción de materia seca (g.m²) en los diversos muestreos durante el experimento 1.

Tratamientos	C1	C2	C3	C4
V1D1	1272 73	1206 06	1006 29	950 42
V1D2	2096 97	1700 22	1500 64	1620 68
V2D1	1506 06	1033 67	1032 18	1047 79
V2D2	2376 71	1803 10	1478 88	1296 51

C1, C2, C3 y C4 = Muestreo a los 12, 15, 20 y 23 días, respectivamente
D1 y D2 = Densidad de siembra con 2 y 3 kg m², respectivamente
V1 y V2 = Variedades Pioneer 3025 y Pioneer 31G98, respectivamente

Cuadro A6.- Análisis bromatológico del FVH para los primeros dos muestreos durante el experimento 1.

Observación	Cenizas BS (%)	PC BS (%)	FNDLCEN BS (%)
Corte 1			
V1D1	2 7	10 0	33 2
V1D2	2 5	9 4	34 1
V2D1	2 8	11 5	35 2
V2D2	2 9	12 0	35 8
Corte 2			
V1D1	3 4	11 5	45 0
V1D2	3 2	11 4	45 5
V2D1	4 1	13 0	47 2
V2D2	3 7	13 6	47 0

BS = Determinación en base seca

C1, C2, C3 y C4 = Muestreo a los 12, 15, 20 y 23 días, respectivamente
D1 y D2 = Densidad de siembra con 2 y 3 kg m², respectivamente
V1 y V2 = Variedades Pioneer 3025 y Pioneer 31G98, respectivamente

Cuadro A7.- Beneficio económico (\$/kg MS/módulo) para los primeros dos muestreos durante el experimento 1.

Sin mano de obra a los 12 días

Trata	Semilla (\$)	Sem/Mod (\$)	Cloro/Mod (\$)	Luz/Mod (\$)	\$ Man Ob/Mod	Sumator \$	kg MS/Mod	\$/kg MS/Mod
V1D1	1 523	29 49	3 00	0 60	0	33 09	12 32	2 69
V1D2	1 523	44 23	3 00	0 60	0	47 83	20 30	2 36
V2D1	1 308	25 32	3 00	0 60	0	28 92	14 58	1 98
V2D2	1 308	37 98	3 00	0 60	0	41 58	23 01	1 81

D1 y D2 = Densidad de siembra con 2 y 3 kg m⁻², respectivamente

V1 y V2 = Variedades Pioneer 3025 y Pioneer 31G98, respectivamente

Sin mano de obra a los 15 días

Trata	Semilla (\$)	Sem/Mod (\$)	Cloro/Mod (\$)	Luz/Mod (\$)	\$ Man Ob/Mod	Sumator \$	kg MS/Mod	\$/kg MS/Mod
V1D1	1 523	29 49	3 00	0 74	0	33 23	11 67	2 85
V1D2	1 523	44 23	3 00	0 74	0	47 97	16 46	2 91
V2D1	1 308	25 32	3 00	0 74	0	29 06	10 01	2 90
V2D2	1 308	37 98	3 00	0 74	0	41 72	17 45	2 39

D1 y D2 = Densidad de siembra con 2 y 3 kg m⁻², respectivamente.

V1 y V2 = Variedades Pioneer 3025 y Pioneer 31G98, respectivamente

Con mano de obra a los 12 días

Trata	Semilla (\$)	Sem/Mod (\$)	Cloro/Mod (\$)	Luz/Mod (\$)	\$ Man Ob/Mod	Sumator \$	kg MS/Mod	\$/kg MS/Mod
V1D1	1 523	29 49	3 00	0 60	81 46	114 55	12 32	9 30
V1D2	1 523	44 23	3 00	0 60	81 46	129 29	20 30	6 37
V2D1	1 308	25 32	3 00	0 60	81 46	110 38	14 58	7 57
V2D2	1 308	37 98	3 00	0 60	81 46	123 04	23 01	5 35

D1 y D2 = Densidad de siembra con 2 y 3 kg m⁻², respectivamente

V1 y V2 = Variedades Pioneer 3025 y Pioneer 31G98, respectivamente

Con mano de obra a los 15 días

Trata	Semilla (\$)	Sem/Mod (\$)	Cloro/Mod (\$)	Luz/Mod (\$)	\$ Man Ob/Mod	Sumator \$	kg MS/Mod	\$/kg MS/Mod
V1D1	1 523	29 49	3 00	0 74	97 40	130 63	11 67	11 19
V1D2	1 523	44 23	3 00	0 74	97 40	145 37	16 46	8 83
V2D1	1 308	25 32	3 00	0 74	97 40	126 46	10 01	12 64
V2D2	1 308	37 98	3 00	0 74	97 40	139 12	17 45	7 97

D1 y D2 = Densidad de siembra con 2 y 3 kg m⁻², respectivamente

V1 y V2 = Variedades Pioneer 3025 y Pioneer 31G98, respectivamente

Cuadro A8.- Temperatura mínima, máxima y promedio °C durante el experimento 2.

Noviembre	3	4	5	6	7	8	9	Prom
Temp Máx (°C)	24.2	27.0	31.9	30.0	31.9	31.5	29.9	29.5
Temp Mín (°C)	6.5	6.1	6.9	5.5	7.8	9.7	16.9	8.5
Prom T° (°C)	15.4	16.55	19.4	17.75	19.9	20.6	23.4	19.0

Noviembre	10	11	12	13	14	15	16	Prom
Temp Máx (°C)	28.2	29.9	29.4	18.2	16.0	16.0	19.1	22.4
Temp Mín (°C)	15.5	12.6	15.3	12.1	11.1	12.7	9.3	12.7
Prom T° (°C)	21.9	21.25	22.35	15.15	13.6	14.35	14.2	17.5

Noviembre	17	18	19	20	21	22	23	Prom
Temp Máx (°C)	21.3	28.6	29.9	25.1	26.8	25.5	30.5	26.8
Temp. Mín (°C)	14.8	14.7	18.4	18.7	18.8	19.7	18.1	17.6
Prom T° (°C)	18.1	21.65	24.15	21.9	22.8	22.6	24.3	22.2

Noviembre	24	25	26	27	28	29	30	Prom
Temp Máx (°C)	33.0	28.4	24.6	28.0	29.4	29.0	33.7	29.4
Temp. Mín (°C)	11.4	7.7	10.6	8.3	9.4	15.0	12.4	10.7
Prom T° (°C)	22.2	18.05	17.6	18.15	19.4	22	23.05	20.1

Diciembre	1	2	3	4	5	6	7	Prom
Temp Máx (°C)	14.5	17.4	25.5	25.2	21.6	22.7	23.3	21.5
Temp Mín (°C)	8.7	7.3	14.4	13.8	14.1	14.6	14.7	12.5
Prom. T° (°C)	11.6	12.4	20.0	19.5	17.9	18.7	19.0	17.0

Diciembre	8	9	10	11	12	13	14	Prom
Temp Máx (°C)	28.3	27.4	34.7	27.4	28.2	33.7	21.7	28.8
Temp. Mín (°C)	11.1	10.0	13.7	6.5	6.9	12.4	9.8	10.1
Prom. T° (°C)	19.7	18.7	24.2	16.95	17.6	23.05	15.75	19.4

Diciembre	15	16	17	18	19	20	21	Prom
Temp Máx (°C)	18.7	18.8	23.9	17.8	23.9	23.0	30.8	22.4
Temp Mín (°C)	0.9	3.7	12.5	6.7	7.4	5.1	6.3	6.1
Prom T° (°C)	9.8	11.25	18.2	12.25	15.7	14.05	18.55	14.3

Prom Gral T° (°C)								18.5
-------------------	--	--	--	--	--	--	--	------

Cuadro A9.- Altura de plantas (cm) en los diversos muestreos durante el experimento 2.

Tratamientos	C1	C2	C3	C4
V1D1	16 69	21 34	25 68	29 73
V1D2	17 12	21 23	25 90	30 29
V2D1	22 82	27 17	36 38	40 19
V2D2	21 95	27 07	36 83	40 25

C1, C2, C3 y C4 = Muestreo a los 20, 26, 39 y 48 días, respectivamente

D1 y D2 = Densidad de siembra con 2 y 3 kg m², respectivamente

V1 y V2 = Variedades Pioneer 3025 y Pioneer 31G98, respectivamente

Cuadro A10.- Ancho de hojas (cm) en los diversos muestreos durante el experimento 2.

Tratamientos	C1	C2	C3	C4
V1D1	1 35	1 21	1 23	1 20
V1D2	1 31	1 25	1 13	1 17
V2D1	1 58	1 47	1 39	1 35
V2D2	1 57	1 48	1 36	1 28

C1, C2, C3 y C4 = Muestreo a los 20, 26, 39 y 48 días, respectivamente

D1 y D2 = Densidad de siembra con 2 y 3 kg m², respectivamente

V1 y V2 = Variedades Pioneer 3025 y Pioneer 31G98, respectivamente

Cuadro A11.- Longitud de raíz (cm) en los diversos muestreos durante el experimento 2.

Tratamientos	C1	C2	C3	C4
V1D1	11 97	14 23	16 06	16 64
V1D2	10 17	10 79	11 61	14 60
V2D1	18 18	23 26	24 70	29 21
V2D2	18.45	20 36	20 35	26 63

C1, C2, C3 y C4 = Muestreo a los 20, 26, 39 y 48 días, respectivamente

D1 y D2 = Densidad de siembra con 2 y 3 kg.m², respectivamente

V1 y V2 = Variedades Pioneer 3025 y Pioneer 31G98, respectivamente.

Cuadro A12.- Producción de materia seca (g.m^{-2}) en los diversos muestreos durante el experimento 2.

Tratamientos	C1	C2	C3	C4
V1D1	1507 50	1371.29	958 31	891 94
V1D2	2226 36	2199 19	1695 03	1549 60
V2D1	1468 33	1282 61	1077 90	911 94
V2D2	2334 33	1906 83	1614 20	1037 43

C1, C2, C3 y C4 = Muestreo a los 20, 26, 39 y 48 días, respectivamente

D1 y D2 = Densidad de siembra con 2 y 3 kg m^{-2} , respectivamente

V1 y V2 = Variedades Pioneer 3025 y Pioneer 31G98, respectivamente

Cuadro A13.- Análisis bromatológico del FVH para los primeros dos muestreos durante el experimento 2.

Observación	Cenizas BS (%)	PC BS (%)	FNDLCEN BS (%)
Corte 1			
V1D1	2.2	9.2	32.8
V1D2	2.2	9.3	32.8
V2D1	2.8	11.9	41.2
V2D2	2.8	11.2	37.5
Corte 2			
V1D1	3.4	11.8	44.6
V1D2	2.8	10.8	37.5
V2D1	3.8	14.1	49.1
V2D2	3.6	13.4	48

BS = Determinación en base seca

C1 y C2 = Muestreo a los 20 y 26 días, respectivamente

D1 y D2 = Densidad de siembra con 2 y 3 kg m^{-2} , respectivamente

V1 y V2 = Variedades Pioneer 3025 y Pioneer 31G98, respectivamente

Cuadro A14.- Beneficio económico (\$/kg MS/módulo) para los primeros dos muestreos durante el experimento 2.

Sin mano de obra a los 20 días

Trata	Semilla (\$)	Sem/Mod (\$)	Cloro/Mod (\$)	Luz/Mod (\$)	\$ Man Ob/Mod	Sumator \$	kg MS/Mod	\$/kg MS/Mod
V1D1	1 523	29 49	3 00	1 02	0	33 51	14 59	2 30
V1D2	1 523	44 23	3 00	1 02	0	48 25	21 55	2 24
V2D1	1 308	25 32	3 00	1 02	0	29 34	14 21	2 06
V2D2	1 308	37 98	3 00	1 02	0	42 00	22 60	1 86

D1 y D2 = Densidad de siembra con 2 y 3 kg m⁻², respectivamente

V1 y V2 = Variedades Pioneer 3025 y Pioneer 31G98, respectivamente

Sin mano de obra a los 26 días

Trata	Semilla (\$)	Sem/Mod (\$)	Cloro/Mod (\$)	Luz/Mod (\$)	\$ Man Ob/Mod	Sumator \$	kg MS/Mod	\$/kg MS/Mod
V1D1	1 523	29 49	3 00	1 32	0	33 81	13 27	2 55
V1D2	1 523	44 23	3 00	1 32	0	48 55	21 29	2 28
V2D1	1 308	25 32	3 00	1 32	0	29 64	12 42	2 39
V2D2	1 308	37 98	3 00	1 32	0	42 30	18 46	2 29

D1 y D2 = Densidad de siembra con 2 y 3 kg m⁻², respectivamente

V1 y V2 = Variedades Pioneer 3025 y Pioneer 31G98, respectivamente

Con mano de obra a los 20 días

Trata	Semilla (\$)	Sem/Mod (\$)	Cloro/Mod (\$)	Luz/Mod (\$)	\$ Man Ob/Mod	Sumator \$	kg MS/Mod	\$/kg MS/Mod
V1D1	1 523	29 49	3 00	1 02	123 96	157 47	14 59	10 79
V1D2	1 523	44 23	3 00	1 02	123 96	172 21	21 55	7 99
V2D1	1 308	25 32	3 00	1 02	123 96	153 30	14 21	10 79
V2D2	1 308	37 98	3 00	1 02	123 96	165 96	22 60	7 34

D1 y D2 = Densidad de siembra con 2 y 3 kg m⁻², respectivamente

V1 y V2 = Variedades Pioneer 3025 y Pioneer 31G98, respectivamente.

Con mano de obra a los 26 días

Trata	Semilla (\$)	Sem/Mod (\$)	Cloro/Mod (\$)	Luz/Mod (\$)	\$ Man Ob/Mod	Sumator \$	kg MS/Mod	\$/kg MS/Mod
V1D1	1 523	29 49	3 00	1 32	155 83	189 64	13 27	14 29
V1D2	1 523	44 23	3 00	1 32	155 83	204 38	21 29	9 60
V2D1	1 308	25 32	3 00	1 32	155 83	185 47	12 42	14 94
V2D2	1 308	37 98	3 00	1 32	155 83	198 13	18 46	10 73

D1 y D2 = Densidad de siembra con 2 y 3 kg m⁻², respectivamente

V1 y V2 = Variedades Pioneer 3025 y Pioneer 31G98, respectivamente

Cuadro A15.- Análisis bromatológico del grano y el FVH en ambos experimentos.

Observación	Cenizas Bs (%)	PC Bs (%)	FNDLCEN Bs (%)
Grano			
V1	1.6	7.0	16.3
V2	2.3	10.6	18.3
FVH			
Experimento 1			
Corte 1			
V1D1	2.7	10.0	33.2
V1D2	2.5	9.4	34.1
V2D1	2.8	11.5	35.2
V2D2	2.9	12.0	35.8
Corte 2			
V1D1	3.4	11.5	45.0
V1D2	3.2	11.4	45.5
V2D1	4.1	13.0	47.2
V2D2	3.7	13.6	47.0
Experimento 2			
Corte 1			
V1D1	2.2	9.2	32.8
V1D2	2.2	9.3	32.8
V2D1	2.8	11.9	41.2
V2D2	2.8	11.2	37.5
Corte 2			
V1D1	3.4	11.8	44.6
V1D2	2.8	10.8	37.5
V2D1	3.8	14.1	49.1
V2D2	3.6	13.4	48.0

Abreviaturas: (Bs) base seca (PC) proteína cruda, (FNDLCEN) fibra neutro detergente libre de cenizas, (V1) variedad Pioneer 3025, (V2) variedad Pioneer 31G98, (D1) densidad de siembra 2 kg m⁻², (D2) densidad de siembra 3 kg.m⁻².

Cuadro A 16.- Análisis del agua utilizada para riego.

Elementos	Contenido
Ca (meq/l)	6.0
Ca+Mg (meq/l)	7.8
Mg (meq/l)	1.8
CO ₃ (meq/l)	0.0
HCO ₂ (meq/l)	5.8
Cl (meq/l)	5.0 - 2.5
pH	7.1
CE (μS)	760
SO ₄ (meq/l)	0
ΣAniones (meq/l)	8.3
Na (meq/l)	0
ΣCationes (meq/l)	7.8
SE (meq/l)	2.0
SP (meq/l)	2.5
RAS	0
CSR (meq/l)	0
PSP	0

En general el agua es buena

