

INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS  
SUPERIORES DE MONTERREY  
CAMPUS MONTERREY  
DIVISION DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
PROGRAMA DE GRADUADOS EN INGENIERIA



**TECNOLÓGICO  
DE MONTERREY.**

VALORACION NUTRICIONAL DE LA PRODUCCION DE  
FORRAJE VERDE HIDROPONICO EN INVERNADERO  
COMO ALTERNATIVA SOSTENIBLE DE LA  
ALIMENTACION PARA GANADO

**TESIS**

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO ACADEMICO DE:  
MAESTRA EN CIENCIAS CON  
ESPECIALIDAD EN SISTEMAS AMBIENTALES

POR:

MOYRA EBHLING RUIZ GONZALEZ

MONTERREY, N. L.

MAYO DEL 2010



INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS  
SUPERIORES DE MONTERREY  
CAMPUS MONTERREY

DIVISION DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
PROGRAMA DE GRADUADOS EN INGENIERIA



TECNOLÓGICO  
DE MONTERREY®

VALORACION NUTRICIONAL DE LA PRODUCCION DE  
FORRAJE VERDE HIDROPONICO EN INVERNADERO  
COMO ALTERNATIVA SOSTENIBLE DE LA  
ALIMENTACION PARA GANADO

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO ACADEMICO DE:  
MAESTRA EN CIENCIAS CON  
ESPECIALIDAD EN SISTEMAS AMBIENTALES

POR:

MOYRA EBHLING RUIZ GONZALEZ

MONTERREY, N. L.

MAYO DEL 2010

**INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS  
SUPERIORES DE MONTERREY**

**CAMPUS MONTERREY**

**DIVISIÓN DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**PROGRAMA DE GRADUADOS EN INGENIERÍA**



**TECNOLOGICO  
DE MONTERREY®**

**VALORACIÓN NUTRICIONAL DE LA PRODUCCIÓN DE FORRAJE VERDE  
HIDROPÓNICO EN INVERNADERO COMO ALTERNATIVA SOSTENIBLE DE LA  
ALIMENTACIÓN PARA GANADO**

**TESIS**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA**

**OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE:**

**MAESTRA EN CIENCIAS**

**CON ESPECIALIDAD EN SISTEMAS AMBIENTALES**

**POR:**

***MOYRA EBHLING RUIZ GONZÁLEZ***

**MAYO, 2010**

**MONTERREY, N.L., MÉXICO**

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios Padre, quien me ha permitido llegar hasta aquí para disfrutar la culminación de esta etapa de mi vida. Gracias por darme la fuerza para terminar mi tesis.

A mis padres José María y Moyra Estela, a mis hermanos José María, Erika y Oscar, quienes con todo su amor me han apoyado en cada una de las metas que me he propuesto y siempre tienen palabras de aliento para mí.

A mis abuelos, con quienes no alcancé a compartir este trabajo en vida, pero sé que desde el cielo comparten esta gran alegría.

A mis tíos y primos con quienes he tenido momentos maravillosos; gracias por sus enseñanzas y compañía. Especialmente, a Alexandra y Ricardo por las veces que me han hecho sonreír.

A Anwar Olvera, gracias por tu gran apoyo y amor, este posgrado tomó un significado completamente distinto cuando te conocí.

## AGRADECIMIENTOS

A mi asesor, el Dr. Juan Ignacio Valiente, por orientarme y apoyarme en todo momento; gracias por tus consejos y tu amistad.

Agradezco a mis sinodales, el Dr. Gilberto Armienta y Dr. Mario Manzano, por colaborar con tanto interés en este proyecto de tesis, por resolver mis dudas y guiar mi trabajo.

Mi más sincero agradecimiento al Ing. Luis Elizondo, a su esposa y al equipo de Pró-orgánico, por su apoyo para la realización de esta investigación, su disponibilidad y gran interés. Gracias Octavio Salinas y Sr. Chuy.

A mis amigos, quienes estuvieron también presentes animando e inspirando mi trabajo: Laura Bovio, Laura Reséndez, Claudia Díaz, Itzaniel Reyna, Viridiana Garza, Karla Arrambide, Adriana Espada, Jesica Vargas, Javier Santos, Raquel Gálvez, Alma Beltrán, Mercedes Trujillo, Elva Villarreal, Mariana Berlanga, Alejandra Ureta, Gabriela Navarro, Karla Pizaña, Noris Casas, Alejandra Guevara, Magaly Medina, Lucía Martínez, Aline Sifuentes, Claudia Cobio, Ana Chew, Gloria Ceballos, Paola Cavazos, Flor Dávila, Kenya Escalante, Elizabeth Robles, Virginia Martin, Misael e Israim Olvera, Martha Castro, Lilia García, Beatriz Inzunza, Myrna Ruiz, Jaime Olivas, Rocío Díaz, Concepción Pulido, Aracely Uresti, Mónica Puente, Catalina Rodríguez, María Teresa Peschard, Dr. Fabián Lozano, Patricia Vela, Fabiola Yépez, Ing. Ignacio Moreno, Jorge Quiñónez, Guillermo Aquino, Adolfo Espinoza y a todas aquellas personas que de alguna forma contribuyeron para la culminación de este proyecto.

## Índice General

Dedicatoria	i
Agradecimientos	ii
Índice general	iii
Índice de tablas	v
Índice de figuras	vi
Resumen	viii
Introducción	1
Objetivo general	2
<b>Capítulo I. Antecedentes</b>	
1.1 Problemática de agua en México	3
1.2 Ganadería	4
1.3 El Forraje	7
1.4 Forraje Verde Hidropónico	16
1.5 Desarrollo del embrión y la planta	18
1.6 Justificación	24
<b>Capítulo II. Descripción del estudio, método experimental y material en campo y laboratorio</b>	
2.1 Sitio experimental	25
2.2 Metodología de producción	26
2.3 Trabajo experimental	27
2.4 Análisis de muestras	29
2.5 Variables medidas	30
2.6 Análisis estadístico	30

<b>Capítulo III. Resultados del estudio</b>	
3.1 Resultados	32
3.2 Tabla de composición	45
3.3 Temperatura media	46
3.4 Resultados del análisis estadístico	46
3.5 Cálculos de la ingesta de materia seca (DMI)	47
3.6 Cálculos del consumo de agua	47
3.7 Cálculos del espacio de producción	47
3.8 Costos de producción	48
3.9 Producción anual	48
3.10 Discusión	48
<b>Capítulo IV. Conclusiones</b>	55
<b>Capítulo V. Recomendaciones</b>	56
<b>Anexo I</b>	57
<b>Anexo II</b>	58
<b>Anexo III</b>	59
<b>Anexo IV</b>	63
<b>Anexo V</b>	65
<b>Literatura citada</b>	67

## Índice de tablas

Tabla 1. Consumo promedio de agua en diferentes tipos de ganado (Brown, L.; 2006).

Tabla 2. Diferencia en composición y digestibilidad del ensilado de maíz en diferentes estados de madurez (Hintz, *et al*, 1987; referenciado en Danley, M. y Vetter, R., 1973).

Tabla 3. Composición química porcentual del maíz (Hintz, *et al*, 1987; referenciado en el Atlas of Nutritional Data on United States and Canadian Feeds, 1971 ).

Tabla 4. Clasificación de la calidad nutricional del forraje a partir de la obtención del valor relativo del forraje (FEDNA, 2009).

Tabla 5. Análisis bromatológico en germinado de maíz (Carballo, *et al*, 2005).

Tabla 6. Descripción de temperaturas durante los ciclos de estudio.

Tabla 7 (a y b). Tabla de composición nutricional.

Tabla 8. Temperatura media de las muestras.

Tabla 9. Resultados del análisis estadístico de las variables dependientes.

Tabla 10. Resultados de la ingesta de materia seca.

Tabla 11. Resultados del consumo de agua.

Tabla 12. Resultados del espacio empleado para producción.

Tabla 13. Resultados costos de producción.

Tabla 14. Resultados de producción anual.

Tabla 15. Inversión estimada para la construcción del invernadero.



## Índice de figuras

Figura 1. Partes que componen la semilla de maíz (Anónimo 4, 2009).

Figura 2. Cambios metabólicos en el endosperma durante la germinación debido a la actividad enzimática.

Figura 3. Modelo de interacción hormonal con el ambiente (Shepherd, *et al*, 2007)

Figura 4. Cambios en diferentes partes del *Zea mays L.* durante la germinación (Ingle *et al*, 1964; citado por Mayer y Poljakoff-Mayber, 1989)

Figura 5. Vista externa del invernadero.

Figura 6. Vista interior del invernadero.

Figura 7. Localización de termopares dentro del invernadero.

Figura 8. Resultado de la proteína en el maíz.

Figura 9. Resultado de la proteína en la cebada.

Figura 10. Promedios, máximos y mínimos de la proteína en las 3 muestras de maíz.

Figura 11. Promedios, máximos y mínimos de la proteína en las 2 muestras de cebada.

Figura 12. Resultado de la materia seca en el maíz.

Figura 13. Resultado de la materia seca en la cebada.

Figura 14. Resultado de las cenizas en el maíz.

Figura 15. Resultado de las cenizas en la cebada.

Figura 16. Resultado del extracto etéreo en el maíz.

Figura 17. Resultado del extracto etéreo en la cebada.

Figura 18. Promedios, máximos y mínimos de la ceniza y extracto etéreo en las 3 muestras de maíz.

Figura 19. Promedios, máximos y mínimos de la ceniza y extracto etéreo en las 2 muestras de cebada.

Figura 20. Resultado del extracto libre de nitrógeno en el maíz.

Figura 21. Resultado del extracto libre de nitrógeno en la cebada.

Figura 22. Resultado de la fibra cruda en el maíz.

Figura 23. Resultado de la fibra cruda en la cebada.

Figura 24. Resultado de la fibra detergente ácido en el maíz.

Figura 25. Resultado de la fibra detergente ácido en la cebada.

Figura 26. Promedios, máximos y mínimos de fibra cruda y fibra detergente ácido en las 3 muestras de maíz.

Figura 27. Promedios, máximos y mínimos de fibra cruda y fibra detergente ácido en las 2 muestras de cebada.

Figura 28. Resultado de la fibra detergente neutro en el maíz.

Figura 29. Resultado de la fibra detergente neutro en la cebada.

Figura 30. Promedios, máximos y mínimos de fibra detergente neutro en las 3 muestras de maíz.

Figura 31. Promedios, máximos y mínimos de fibra detergente neutro en las 2 muestras de cebada.

Figura 32. Cronograma de las actividades realizadas.

Figura 33. Probabilidad normal de la proteína.

Figura 34. Probabilidad normal de la materia seca.

Figura 35. Probabilidad normal de las cenizas.

Figura 36. Probabilidad normal del extracto etéreo.

Figura 37. Probabilidad normal del extracto libre de Nitrógeno.

Figura 38. Probabilidad normal de la fibra cruda.

Figura 39. Probabilidad normal de la fibra detergente ácido.

Figura 40. Probabilidad normal de la fibra detergente neutro.

## Resumen

Con el objetivo de estimar la producción del Forraje Verde Hidropónico (FVH) en invernadero, se efectuaron veinticuatro muestreos (maíz y cebada) en un invernadero que produce este forraje. Esto, con la finalidad de analizar el valor nutricional del FVH, el cual es considerado como una alternativa nutritiva para la alimentación del ganado. Se considera que las ventajas más importantes de este tipo de producción son la posibilidad de tener forraje fresco durante todo el año para el suministro ganadero, una conversión de grano a forraje de 1:6 (aproximadamente) y el corto ciclo de producción.

Se efectuaron análisis de regresión para evaluar el impacto que tienen la temperatura, el día (dentro del ciclo de crecimiento) y el tipo de semilla dentro de las variaciones nutricionales y conocer el valor de confianza que estas ecuaciones representan para la estimación de posteriores resultados.

Se realizó el análisis de la temperatura en diversos puntos dentro del invernadero, además se analizaron las variables nutricionales en base a la proteína, materia seca, cenizas, extracto etéreo, fibra cruda, extracto libre de nitrógeno, fibra detergente ácido, fibra detergente neutro. Se estimó de la cantidad de agua empleada, la cantidad de materia seca ingesta, el espacio y los costos de producción, así como la producción anual; estas estimaciones fueron comparadas con alfalfa en floración temprana, ensilaje de maíz y heno de cebada, los cuales representan de los principales forrajes para el consumo animal en México.

Este estudio indica algunas desventajas que no se presentan en la literatura o que son opuestas a lo que se menciona. Se percibe una caída considerable en la mayoría de los nutrientes analizados y no se ha considerado la cantidad de agua, espacio y costo de producción para la obtención de la semilla que se colocará para la producción de FVH.

Adicionalmente, se detectaron otras desventajas en la producción de FVH como la mano de obra, en la cual se requiere que al menos una persona este diariamente al pendiente de los posibles problemas fitosanitarios que pueda haber, revisar la uniformidad del riego y realizar el tratamiento del grano. Además, la semilla debe ser de alta calidad, con un porcentaje de germinación del 75% o más, de lo contrario generará hongos al ser colocado en las charolas el cual puede expandirse fácilmente debido a la alta humedad que se encuentra dentro del invernadero.

## **Introducción**

La actividad ganadera es una de las actividades primordiales en México. Debido a la baja disponibilidad de agua y al gran territorio nacional empleado para esta actividad y la producción de alimento para ganado, se ha optado por considerar nuevas alternativas que produzcan alimento de alta calidad nutricional y que disminuyan los impactos negativos de la producción tradicional de forraje para alimento ganadero.

La producción de Forraje Verde Hidropónico (FVH) en invernadero, es considerado por la Food and Agriculture Organization (FAO) como una alternativa viable para los pequeños productores agropecuarios, obteniendo un forraje de alta calidad nutricional, palatable y con un bajo consumo de agua.

Además, esta tecnología impulsa a la producción sustentable de alimento para ganado, ya que uno de los problemas de deterioro de la vegetación y suelo mexicano, es debido al sobrepastoreo de ganado.

Según los estudios realizados, el FVH es una producción efectiva en los animales que lo consumen. Se ha incrementado el peso vivo del ganado, sobre todo los destetados con anticipación, se tiene una mayor producción en aves y vacas lecheras. Aunado a esto, es una producción eficiente en el uso de agua, en el espacio y tiempo de producción.

Lo más atractivo de este forraje la posibilidad de tener forraje fresco y de alta calidad nutricional durante todo el año.

## **Objetivo general**

Evaluar la producción de forraje verde hidropónico bajo invernadero como alternativa para la disminución de los impactos ambientales y económicos de la producción de forraje a campo abierto.

Dicha estimación se realizará a través de cuatro objetivos específicos:

1. Determinar el contenido nutricional del FVH del maíz y cebada, comparando esta calidad con respecto a otros pastos forrajeros
2. Estimar la eficiencia del uso del agua aplicada en cada una de las tecnologías (invernadero y campo abierto)
3. Determinar el nivel de producción y espacio utilizado para la obtención de forraje en cada tipo de tecnología
4. Obtener los costos de producción en ambas tecnologías

## **CAPÍTULO I. ANTECEDENTES**

### **1.1 Problemática del agua en México**

El agua representa un recurso natural indispensable para el desarrollo y seguridad nacional. En la actualidad, la disponibilidad de agua en nuestro país se encuentra comprometida por tres factores principales: (CONAGUA, 2007).

1. Escasez natural
2. Sobreexplotación de cuerpos de agua
3. Pérdida de la calidad

Adicionalmente, México es considerado un país con baja disponibilidad de agua al presentar una escasez de este recurso, teniendo en promedio una precipitación anual de 711 milímetros (CONAGUA, 2007).

Del territorio nacional, dos terceras partes entran en la clasificación de regiones áridas y semiáridas, teniendo una precipitación anual promedio de 400 milímetros, que corresponden al 25% del total de lluvia en el país (CONAGUA, 2007). Estas zonas se componen principalmente por los estados de Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Durango, Baja California, Baja California Sur, Sonora, Sinaloa, Zacatecas, Colima, Jalisco, México, Michoacán, Morelos, Nayarit, Puebla, Distrito Federal, San Luis Potosí, Aguascalientes, Guanajuato, Querétaro, Hidalgo, Tlaxcala y Tamaulipas. En estos estados habita el 77% de la población nacional y la menor disponibilidad del recurso hídrico (CONAGUA, 2005).

#### **1.1.1 Cantidad de agua aprovechable**

Además de las limitaciones de este recurso, la totalidad del agua de lluvia no es aprovechable, ya que el 70% del agua de lluvia se evapotranspira y regresa a la atmósfera, el 30% restante representa los escurrimientos naturales y las recargas acuíferas siendo el 84% del agua aprovechable escurrimientos en la superficie y solamente el 4.8% del total del agua de lluvia forma parte de la recarga de mantos acuíferos (CONAGUA,2005; SEMARNAT,2008).



### 1.1.2 Sobreexplotación de cuerpos de agua

El agua ha sido sobreexplotada por las diversas actividades económicas del país, presentándose en la actualidad una necesidad inminente de desarrollar esquemas viables para un mejor uso y distribución de este recurso (FAO, 2009).

Los cuerpos de agua presentan una disminución en su caudal y en su capacidad de retención de agua (FAO, 2009). Adicionalmente, el 15.92% del total de acuíferos presentan sobreexplotación, siendo la actividad agrícola una de las actividades que mayormente deteriora la calidad del agua (CONAGUA, 2005).

### 1.1.3 Calidad del agua

La actividad económica también ha contribuido a la contaminación, incrementando la problemática de disponibilidad del agua. Las aguas subterráneas presentan contaminación por la escorrentía e infiltración de contaminantes de la superficie (FAO, 2009). Además, la calidad del agua ha disminuido, en promedio el 14.5% de los cuerpos de agua en México están contaminados y el 6.2% de los cuerpos de agua entran en la categoría de fuertemente contaminados (CONAGUA, 2007).

### 1.1.4 Usos del agua

En México, el agua es usada principalmente en cuatro grandes actividades económicas: el sector *agrícola* que consume el 76.5% del total del agua almacenada, el sector *doméstico* y el *industrial* que consumen 11.5% y el 8.5% respectivamente. La actividad *ganadera*, consume aproximadamente un 3.5% del consumo total de agua (SEMARNAT, 2008). El volumen de agua que se utiliza en el sector agrícola se encuentra estrechamente relacionado con la ganadería, debido a la producción de alimento para el consumo pecuario (Osuna, 2009).

## 1.2 Ganadería

La ganadería en México es una actividad económica de primera importancia. Se estima que el 56% (109,782,300 hectáreas) del territorio nacional se ocupa para la realización de esta actividad (Villegas, 2001). En el año 2008, el inventario ganadero nacional constaba de ganado bovino (con un total de 28,792,622 cabezas), porcino (15,206,310

cabezas), caprino (16,077,718 cabezas) y aves (481,421,421 cabezas) (SEMARNAT, 2008).

### 1.2.1 Consumo de agua en la ganadería

El consumo de agua depende principalmente del tipo del ganado y de la etapa en la que se encuentra el animal. La siguiente tabla muestra el consumo promedio de agua en los diversos tipos de ganado.

<b>Tipo de ganado</b>	<b>Consumo promedio de agua por cabeza</b>
<b>Bovinos en crecimiento</b>	34 l/día
<b>Bovinos en engorda</b>	45 l/día
<b>Vacas en lactación</b>	45 l/día
<b>Ganado lechero</b>	136 l/día
<b>Ganado ovino</b>	13 l/día
<b>Ganado porcino</b>	8 l/día
<b>Aves</b>	1 l/día

Tabla 1. Consumo promedio de agua en diferentes tipos de ganado. (Brown, L.; 2006)

El consumo excesivo de agua para actividad ganadera (alimentación y cuidado del ganado), ha provocado impactos negativos en el ciclo hidrológico. La relación existente entre el consumo nacional de agua doméstico y pecuario es de 1:0.5 (SEMARNAT, 2008).

Además del consumo directo de agua de los animales, la huella hídrica (definida como el volumen total de agua dulce necesaria para el consumo de un individuo o producción de una actividad económica) (Hoekstra y Chapagain, 2005) se incrementa debido a la producción de forraje intensivo para el consumo del ganado. En promedio se utilizan 11,485m<sup>3</sup>/ha de agua para la producción de cultivos forrajeros. De esta cantidad de agua, solamente el 60% (aproximadamente) del agua de riego es aprovechada, por medio de la infiltración, por los cultivos de interés para forraje. El manejo del agua en los riegos a cielo abierto provoca que la cantidad de agua infiltrada para uso del cultivo

esté alrededor de este porcentaje (60%), y aunque depende de las condiciones ambientales en la zona, el escurrimiento y la evapotranspiración son inevitables, considerándose una pérdida del 40% del agua de riego en campo abierto (SEMARNAT, 2008).

Incluso el agua infiltrada en los campos agrícolas pueden disminuir su capacidad productiva. La concentración de diversos elementos y sales en el agua, se depositan en el suelo, reduciendo su productividad y por lo tanto limitando el alimento para el ganado, provocando la búsqueda de nuevos territorios para pastoreo o alternativas para la producción de alimento (OECD, 1999).

### 1.2.2 Superficie de pastoreo

Para cubrir la alta demanda de alimento para ganado, el territorio sembrado con cultivos forrajeros incrementó, pasando de 1 millón de hectáreas en 1990 a 2 millones 300 mil hectáreas en el año 2002 (Jiménez, 1989; IMAC, 2008).

México tiene una superficie de pastoreo de 130 millones de hectáreas, que corresponde al 66% del territorio nacional. La degradación por el pastoreo es uno de los efectos principales que impacta negativamente al suelo. Aproximadamente el 70% de la superficie de pastoreo se localiza en zonas áridas y semiáridas, afectando directamente a la vegetación nativa de estas zonas (Jiménez, 1989).

El 24% del territorio nacional es afectado por la ganadería con sobrepastoreo, mientras que el 32% presenta ganadería sin sobrepastoreo y el 44% es territorio sin ganadería. Una cuarta parte del suelo de México se afecta por el sobrepastoreo (SEMARNAT, 2008), induciendo la desertificación, la cual se presenta en suelos con agricultura intensiva y sobrepastoreo, provocado por la sobrecarga de los ecosistemas.

El sobrepastoreo de terrenos ganaderos es una de las cuatro principales presiones causantes de la degradación del suelo. *Sobrepastorear* terrenos es responsable del 40.57% de la degradación de suelos. La *agricultura* (considerando también los cultivos realizados para alimento ganadero) impacta en un 42.18%, seguido de la *deforestación* (13.85%) y la *urbanización y sobreexplotación* para uso doméstico (3.40%). Estas actividades degradan los componentes biológicos, químicos y físicos del suelo, provocando la pérdida de suelo por erosión hídrica o eólica (SEMARNAT, 2008).

Para evitar el sobrepastoreo y la degradación de los ecosistemas de pastizales permanentes en México, se recomienda que por cada cabeza de ganado se tengan entre 10 y 11 hectáreas de pastizales, sin embargo esta relación es entre 3 y 6 hectáreas de pastizal por cabeza provocando la degradación del ecosistema (IMAC, 2008 referenciado en Challenger, 1998).

#### 1.2.2.1 Desertificación

La desertificación es la pérdida de productividad del suelo con el consecuente incremento en la limitación hídrica y nutricional, lo cual impacta de forma negativa a la ganadería debido a que los suelos son menos productivos a causa de la compactación, pérdida de porosidad, estructura del suelo y permeabilidad. Estos factores disminuyen la productividad de alimento para el ganado, propiciando la desnutrición y la búsqueda de nuevos sitios para pastoreo, contribuyendo a la pronta degradación de estas zonas (Santa Olalla, 2001).

### 1.3 El Forraje

El forraje es la biomasa vegetal destinada para el consumo animal. (Dowell, *et al.*, 1974; Jiménez 1989).

#### 1.3.1 Fuentes de forraje

La producción intensiva de forraje surge de la necesidad de proporcionarle alimento al ganado. Existen cuatro principales fuentes de forraje: *pastizales*, que son zonas delimitadas por condiciones ecosistémicas, que no tienen aptitud agrícola y tienen un uso extensivo en la ganadería, (el 13.7% del territorio nacional es de pastizal); *praderas*, áreas de cultivo generadas por el hombre para la producción de forraje anual o perenne y su manejo intensivo en la ganadería, (abarca el 4.7% del territorio nacional); *subproductos agrícolas y agroindustriales*, que son residuos de actividades agrícolas con valor nutricional medio y bajo costo, (por ejemplo el rastrojo del maíz); *cultivos forrajeros*, realizados para obtener alto rendimiento en la cosecha, son de ciclo corto y se les da de alimento al ganado en fresco (Jiménez, 1989).

Dependiendo de la composición, los tipos de forraje se pueden clasificar en:

- *Concentrados*. Contienen escasa cantidad de fibra cruda y agua; se identifican por el alto contenido en proteína. En esta clasificación se considera a las semillas, y subproductos industriales (Flores, 1986).
- *Lastre*. Su alto contenido en fibra cruda y celulosa hace menos digestible este alimento y la aportación de nutrientes al animal es menor. Las pajas y rastrojos son los alimentos de lastre (Flores, 1986).
- *Suculentos*. Los alimentos suculentos poseen alto contenido en agua y poco valor nutritivo. Son considerados en esta clasificación las raíces y el forraje en estado vegetativo (forraje tierno) (Flores, 1986).

Dependiendo del tratamiento que se les aplique a los forrajes se pueden clasificar en:

- *Forrajes secos o henos*. Son generados principalmente como fuente alimenticia para aportación de fibra. Tienen alrededor del 20% de humedad, lo que permite un mejor manejo del forraje en cuanto a almacenaje y duración del mismo sin pérdida considerable de nutrientes (Jiménez, 1989)
- *Pajas y rastrojos*. Material residual que se obtiene a partir de las actividades agrícolas (Jiménez, 1989)
- *Forrajes conservados*. Es forraje acidificado con mayor tiempo de duración en almacenaje para cubrir épocas con escasez de alimento (Jiménez, 1989)
- *Harinas y aglomerados*. Son forrajes procesados y secados para concentrar los nutrientes y balancear dietas (Jiménez, 1989)
- *Forraje verde*. Es el forraje en su estado natural, sin tratamiento. Se pueden encontrar en algunas zonas de pastoreo como forraje tierno o se produce al proveer al animal forraje en desarrollo vegetativo de algún grano (Jiménez, 1989)

### 1.3.2 Calidad nutricional

La calidad nutricional de un forraje se mide a partir de los nutrientes que contiene. Los nutrientes son los elementos primordiales que mantienen las funciones y procesos vitales del animal (Church, *et al.*, 2004).

La calidad nutricional se cuantifica mediante el análisis de su composición química, que varía según maduración, especie y temporada. Esta composición se analiza a través del análisis de proteína, extracto etéreo, extracto libre de nitrógeno, Fibra Detergente Neutro (FDN), la Fibra Detergente Ácido (FDA) y cenizas (Church, *et al.*, 2004).

En pastoreo, un forraje aporta hasta el 30% de los nutrientes que requiere un animal. (Morrison, 1966; Jiménez, 1989) La calidad nutricional de un forraje no es constante, ya que existen factores que la afectan, como la lignificación de los pastos y el contenido proteico, desencadenando una falta de nutrientes en el ganado (Cobio, 2004). La mala calidad nutricional del forraje y/o falta de forraje provoca la disminución en peso vivo del animal y reduce la capacidad de fertilidad (Osuna, 2009).

#### 1.3.2.1 Proteínas

Las proteínas son macromoléculas formadas por cadenas nitrogenadas. Existen variaciones en las proteínas en cuanto a su composición química, física, solubilidad, tamaño y funciones biológicas, dependiendo de la estructura de la molécula y de sus unidades básicas, los aminoácidos, que son proteínas que pasaron por hidrólisis (de calentamiento en ácido fuerte o por acción de las enzimas) (Church, *et al.*, 2004).

Existen cadenas proteicas que no son solubles, minimizando la cantidad de proteínas ingeridas por el animal (Gallardo, 2009).

El porcentaje de proteínas que se le suministra al animal en la dieta es de gran importancia, debido a que son fuente de aminoácidos que permiten el buen funcionamiento de las actividades biológicas en los rumiantes (Tamminga y Chen, 2000).

Las proteínas se encuentran en todas las células, permitiendo las actividades de producción como lactancia o preñez y el crecimiento normal del animal; son indispensables para la asimilación de nutrientes, transporte de oxígeno, tejido muscular, la piel, pelo y pezuñas, por lo que los animales en crecimiento requieren más cantidad proteica que un animal maduro (Church, *et al.*, 2004).

#### 1.3.2.2 Extracto etéreo o lípidos

El extracto etéreo o lípidos son compuestos orgánicos (básicamente ésteres) insolubles en agua. Los lípidos de mayor importancia en los seres vivos se clasifican en: *lípidos*



*simples*, (forman cadenas orgánicas junto con radicales de alcohol); *lípidos compuestos*, (contiene radicales proteicos, de carbohidratos y alcohol); *lípidos derivados*, (se forman a partir de la hidrólisis de los lípidos simples y compuestos); *los esteroides*, (compuestos estructurales de mayor complejidad); y *los terpenos*, (estructura como el isopreno) (Church, *et al.*, 2004).

Entre las funciones principales del extracto etéreo en los seres vivos se encuentran la de suministrar energía para las actividades de producción, transportar las vitaminas y la producción de ácidos grasos esenciales. Si la dieta contiene menos del 10% de lípidos, disminuye la digestibilidad (Church, *et al.*, 2004). Se considera que un porcentaje de mayor al 14% puede ser contraproducente en la salud del animal, provocando acumulación de grasas en el hígado (Gallardo, 2009).

Cuantitativamente, los aceites y grasas (lípidos simples) predominan en el alimento para ganado (Church, *et al.*, 2004).

#### 1.3.2.3 Carbohidratos

Los carbohidratos son compuestos constituidos por carbono, hidrógeno y oxígeno que constituyen el 70% de la materia seca de los forrajes y el 85% de las semillas. Su principal función es proporcionar energía al animal para los procesos vitales. Estos compuestos se encuentran en los tejidos de plantas y animales (Church, *et al.*, 2004).

Los carbohidratos se generan a partir de la fotosíntesis. Se clasifican en cuatro grupos: monosacáridos, oligosacáridos, polisacáridos y compuestos especializados, dependiendo de las unidades de glucosas y los números de átomos de carbono que presente la molécula (Hintz, *et al.*, 1987).

La calidad nutricional de los carbohidratos, depende de los tipos de glucosa presentes y la lignina que contiene el alimento, ya que algunos carbohidratos no son aprovechables por el animal debido a su composición (Van Soest, 1994).

La cetosis y la diabetes son enfermedades relacionadas con la acumulación de carbohidratos en el organismo (Church, *et al.*, 2004).

#### 1.3.2.4 Cenizas

Las cenizas representan el contenido de minerales en el forraje y son residuos inorgánicos que forman parte del forraje a través de la movilidad de los nutrientes (Gallardo, 2009).

Aunque las cenizas no proporcionan valor energético, son indispensables para el animal, ya que aportan elementos como calcio, fósforo, magnesio sodio, cloro, potasio y azufre. Los elementos proporcionados al animal constituyen una importante fuente para sus procesos vitales y su buen mantenimiento corporal (Hoffman, 2009).

El calcio es absorbido para la estructura del esqueleto y desempeña otras funciones como controlar actividades motrices y la coagulación de la sangre. La deficiencia de calcio genera problemas principalmente en el esqueleto como raquitismo o anomalías en los huesos del animal. Por otro lado, el fósforo es esencial para la estructura del esqueleto y para el metabolismo energético; en caso de deficiencia, se presenta raquitismo (Church, *et al.*, 2004).

El magnesio tiene diversas funciones en todo el cuerpo; como para el desarrollo de la estructura ósea, para actividades cardíacas, enzimáticas y musculares. La deficiencia de magnesio provoca anorexia, poca ganancia de peso y en casos severos, la muerte. El sodio, cloro y potasio están relacionados principalmente con la actividad osmótica de los líquidos celulares; la falta de estos elementos produce un nivel de crecimiento menor, deficiencias en el músculo cardíaco, debilidad muscular. El azufre es necesario para complementar los compuestos orgánicos, de todas las células y para la síntesis de proteínas. Si hay deficiencia se presenta un nivel de crecimiento menor y disminución en la ganancia de peso (Church, *et al.*, 2004).

El valor de las cenizas dentro del alimento debe ser menor al 10%, si este porcentaje es mayor el forraje puede estar contaminado por algún mineral del suelo (Gallardo, 2009; Hoffman, 2009).

#### 1.3.2.5 Extracto libre de nitrógeno (ELN)

El ELN está constituido por carbohidratos libres de celulosa, como el almidón, parte de lignina, azúcares y hemicelulosa. El extracto libre de nitrógeno indica la capacidad para degradar las proteínas, es recomendable un valor menor a 15% (Gallardo, 2009).

Si el forraje es tierno, el ELN es aprovechado por la mayoría de los animales , mientras que en forrajes más secos este extracto tiende a disminuir su capacidad de nutrición (Church, *et al.*, 2004).

#### 1.3.2.6 Fibras

La Fibra Detergente Neutro (FDN) se constituye por la pared celular de las plantas, principalmente formada por hemicelulosa, celulosa y lignina. El valor del FDN depende del grado de lignificación y representa la cantidad de fibra contenida en el forraje. Si las partículas de su composición química son pequeñas, la fibra efectiva (FDNef) es menor (Gallardo, 2009).

El FDN representa un factor determinante con respecto a la calidad nutricional del forraje. Porcentajes bajos de FDN contribuyen a la obtención de alimento de mayor calidad nutricional (Hoffman, *et al.*, 2009).

Este tipo de fibra tiende a aumentar cuando madura el pasto. Esta madurez va acompañada de menor digestibilidad (40% menos) (Hoffman, *et al.*, 2007).

La digestibilidad del FDN varía ya que durante la etapa de crecimiento (elongación radicular) los valores del FDN disminuye paulatinamente, pero durante el desarrollo, la digestibilidad se reduce con rapidez, debido a la formación del xilema y comienzo de la lignificación (Hoffman, *et al.*, 2009). La digestibilidad en forrajes y pastos vegetativos puede llegar a ser mayor del 70%, no obstante, al surgir el tallo y las hojas este porcentaje desciende de forma rápida. El FDN del tallo es menos digestible que el FDN presente en las hojas, debido a la lignificación de la pared celular del tallo. Por otro lado, la maduración del forraje presenta una relación alta en tallo y baja en hojas, ocasionando menor digestibilidad del forraje maduro (Hoffman, *et al.*, 2007).

Otra variable que afecta al FDN es la temperatura. Los forrajes producidos en condiciones frías son más digestibles que los producidos en ambientes de temperaturas altas (Hoffman, *et al.*, 2009).

La Fibra Detergente Ácido (FDA) es parte de la pared celular y también determina la digestibilidad del forraje; el forraje maduro contiene más materia seca y lignina, por lo que es menos digerible, (Gallardo, 2009) debido a que la pared celular aumenta y el contenido celular disminuye (Hintz, *et al.*, 1987).

En la siguiente tabla se puede visualizar el efecto que tiene la materia seca (madurez de la planta) y la lignina en la digestibilidad (en este caso in vitro) del ensilado de maíz:

DPE <sup>1</sup>	%MS <sup>2</sup>	%PC <sup>3</sup>	%CPC <sup>4</sup>	%Celulosa	%Lignina	%DIVMS <sup>5</sup>
70	26	4	27	13	1.8	69
100	39	4	30	14	1.9	67
130	43	7	42	20	2.8	65
160	71	5	60	26	3.6	60

1 Días de post-emergencia; 2 Materia seca expresada en porcentaje; 3 Proteína cruda expresada en porcentaje; 4 Constituyentes de la pared celular expresado en porcentaje; 5 Digestibilidad in vitro de la materia seca expresada en porcentaje.

Tabla 2. Diferencia en composición y digestibilidad del ensilado

de maíz en diferentes estados de madurez. (Hintz, *et al.*, 1987; referenciado en Danley, M. y Vetter, R., 1973)

La FDA contiene principalmente la celulosa, que es el carbohidrato estructural más importante en las plantas. En las semillas el carbohidrato se encuentra en el almidón y en la cubierta seminal; en la maduración de la planta, los carbohidratos se presentan como celulosa, en mayor cantidad en los tallos que en las hojas (Hintz, *et al.*, 1987).

#### 1.3.2.7 Agua

Aunque el agua no es considerada específicamente como un nutriente, forma parte vital en el buen funcionamiento de todas las actividades en el cuerpo del ser vivo. En los animales maduros, el agua representa la mitad o hasta dos terceras partes de la masa corporal y constituye un 90% en los animales recién nacidos (Church, *et al.*, 2004).

Las funciones del agua se encuentran reflejadas principalmente en actividades corporales como el metabolismo, la regulación de la temperatura corporal, (Church, *et al.*, 2004), como solvente para facilitar las reacciones celulares, lubricación de articulaciones, amortiguador en el fluido cerebro-espinal, y también forma parte importante de los sentidos como el oído y la vista (Hintz, *et al.*, 1987).

Las tres fuentes principales de agua son: agua consumida directamente por el animal, agua presente en su comida (forraje fresco) y agua metabólica, la cual se genera en los

procesos metabólicos al oxidarse el hidrógeno en los carbohidratos de glucosa (McDonald, *et al.*, 1988).

Restricciones en el consumo de agua pueden afectar severamente el funcionamiento corporal. La sangre se vuelve más viscosa y el corazón no tiene la capacidad para hacer fluir con rapidez la sangre por todo el cuerpo, provocando que la temperatura corporal aumente, pudiendo llegar hasta la muerte. Un animal en las primeras etapas de deshidratación, se rehúsa a comer cualquier alimento seco, hasta que le sea proporcionado suficiente agua (Hintz, *et al.*, 1987). El consumo de agua aproximado se encuentra entre los 2 a 5 kg de agua por kilogramo de alimento seco consumido (Church, *et al.*, 2004).

En la siguiente tabla se presenta la composición química del maíz con los nutrientes mencionados. Dependiendo del tipo de alimento, se obtienen diferentes proporciones de nutrientes:

	<b>Agua (%)</b>	<b>Proteína (%)</b>	<b>Grasa (%)</b>	<b>Carbohidratos (%)</b>	<b>Ceniza (%)</b>
<b>Planta verde</b>					
<b>Maíz (<i>Zea mays L.</i>)</b>	66.4	2.6	0.9	28.7	1.4
<b>Productos vegetales secos</b>					
<b>Granos de maíz</b>	14.6	8.9	3.9	71.3	1.3
<b>Rastrojo de maíz</b>	15.6	5.7	1.1	71.4	6.2

Tabla 3. Composición química porcentual del maíz. (Hintz, *et al.*, 1987; referenciado en el Atlas of Nutritional Data on United States and Canadian Feeds, 1971 )

En las plantas, las proteínas son compuestos que están presentes en los tejidos activos; cuando la planta está madurando, la movilidad de las proteínas es de las hojas hacia la semilla, para proveerle a ésta los nutrientes necesarios para que continúe el crecimiento y desarrollo de la planta. Los lípidos o grasa se encuentran en mayor proporción en las semillas, para permitir la germinación posterior (Hintz, *et al.*, 1987).

### 1.3.3 Valoración del forraje.

Todo alimento que se le proporciona al ganado debe cumplir con los requerimientos mínimos de nutrientes para que el organismo del animal cumpla con todas las funciones vitales. Para esto, las plantas absorben energía solar, agua, dióxido de carbono, nitratos y otros minerales para convertirlos en proteínas, lípidos, carbohidratos, que son elementales y necesarios para el buen desarrollo y funcionamiento del cuerpo del animal; es decir, las plantas acumulan energía que es utilizada por los animales (Hintz, *et al.*, 1987).

Para medir la calidad nutricional del forraje, existe el Valor Relativo del Forraje (VRF), que es un "índice que supone la valoración objetiva de la calidad del forraje que se refleja en la ingestión de la materia seca y su digestibilidad, dicho índice permite la clasificación de los forrajes en calidades excelente, primera, segunda, tercera, cuarta y quinta "(FEDNA, 2009).

La ingesta y digestibilidad de la materia seca se obtienen por medio de las fórmulas: (FEDNA, 2009)

$$\text{IMS} = 120 / \% \text{FDN}$$

$$\text{DMS} = 88.9 - (0.779 * \% \text{FDA})$$

A partir de estos valores se calcula el valor relativo del forraje:

$$\text{VRF} = \text{IMS} * \text{DMS} / 1.29$$

Donde:

IMS= ingesta de materia seca

DMS= digestibilidad de la materia seca

FDN= fibra neutro detergente

FDA= fibra detergente ácido

VRF= valor relativo del forraje

Considerando el valor obtenido a partir del VRF, se puede obtener la clasificación nutrimental del forraje:



<b>Valor relativo del forraje</b>	<b>Clasificación de calidad</b>
Mayor a 151	Excelente
125-151	Primera
103-124	Segunda
87-102	Tercera
75-86	Cuarta
Menor a 75	Quinta

Tabla 4. Clasificación de la calidad nutricional del forraje a partir de la

obtención del valor relativo del forraje (FEDNA, 2009).

La escasez de forrajes y los factores climáticos adversos, han propiciado la búsqueda de nuevas formas de producción de forraje, minimizando la pérdida de los ganaderos por la falta de alimento y agua. Para subsanar esta necesidad, se incrementó el territorio de cultivos forrajeros, en 1990 se tenía una extensión de cultivos de forrajes de 1 millón de hectáreas pasando a 2 millones 300 mil hectáreas en el año 2002, sin embargo este forraje no cumple con las necesidades nutricionales del ganado debido a la lignificación del forraje y la falta de nutrientes en el suelo para producir un forraje con mayor nutrientes (IMAC, 2008).

#### **1.4 Forraje Verde Hidropónico**

Una alternativa para evitar la escasez de alimento para ganado, principalmente en épocas de sequía es el Forraje Verde Hidropónico bajo Invernadero. El Forraje Verde Hidropónico (FVH) es la biomasa vegetal sin suelo, que se produce en agua o solución nutritiva (Resh, 2001).

El proceso de producir FVH bajo invernadero comienza con el tratamiento de la semilla al colocarse en agua durante un día para activar su metabolismo y que comience la imbibición para romper la capa externa de la semilla y permitir el alargamiento de la célula coleorriza, aquí es donde empieza el proceso de germinación (Bewley y Black, 1985).

El ambiente en el que se va a desarrollar la semilla es importante para que la germinación ocurra. La temperatura favorable, disponibilidad de oxígeno y sustrato húmedo, son factores esenciales que permiten que el proceso de germinación inicie, ya que al inicio todos los nutrientes se obtienen de una reserva que contiene la semilla (endosperma), en donde se almacena un porcentaje muy alto de almidón (hasta un 88% en la semilla de maíz) (Bewley y Black, 1985).

Una ventaja que presenta la producción de FVH bajo invernadero es el uso eficiente del agua, para producir 1 kg de FVH se necesitan 2 l de agua para su riego (Tarrillo, 2006), mientras que a campo abierto el 40% del agua utilizada se pierde en escorrentía y evaporación. El FVH es proporcionado al ganado en verde, conteniendo una alta humedad, por lo que el ganado tiene menos necesidad de consumir agua y todos los nutrientes son digeridos, ya que al secar el forraje algunos elementos nutritivos se volatilizan (Juscafresa, 1983). En el Anexo I se presenta la metodología propuesta por la Organización de Alimento y Agricultura (FAO) para la producción de FVH.

Se ha considerado que el FVH es un forraje de alta calidad nutricional en comparación con otros tipos de alimentos para el ganado (Carballo, *et al.*, 2005). En la siguiente tabla se muestran los valores obtenidos en un análisis bromatológico de germinado de maíz.

<b>Determinación</b>	<b>Base húmeda</b>	<b>Base seca</b>
Humedad %	77.65	---
Cenizas %	0.41	1.84
Proteína %	2.74	12.26
Extracto etéreo %	0.95	4.25
Fibra cruda %	1.98	8.87
Extracto libre de Nitrógeno	16.27	72.78

Tabla 5. Análisis bromatológico en germinado de maíz (Carballo, *et al.*, 2005).

Otras ventajas son el espacio para producción de FVH es muy reducido, ya que según Tarrillo, un invernadero de FVH de 75m<sup>2</sup> equivale a 3 hectáreas para producción de forraje en campo abierto y la considerable relación de producción la cual tiene una

conversión de aproximadamente de 6 a 8 kg de forraje por cada kilo de semilla (Tarrillo, 2006).

El crecimiento rápido de la planta y su productividad (germinación y desarrollo de la planta) no se debe específicamente a la hidroponia, si no que, contrario al campo abierto, dentro del invernadero se optimiza la nutrición de planta y el riego, lo que hace que la planta ahorre energía y la emplee para desarrollarse (Centro Virtual de Información del Agua, 2009).

### 1.5 Desarrollo del embrión y la planta

La semilla tiene la capacidad de germinar cuando está formada por el embrión desarrollado, el endosperma (reserva de nutrientes) y la cubierta seminal (Chong, *et al.*, 1995). Además, se necesita que los factores fisiológicos y ambientales sean adecuados. Los factores más trascendentales son: humedad, la imbibición de la semilla comienza el proceso de la germinación, para dar paso a la activación del metabolismo e hidrólisis para transformar las reservas en energía; temperatura, ya que permite la translocación de nutrientes en la planta y también determina la dormancia o germinación; el aire es necesario para la oxidación de algunas reservas; la luz, que se requiere en diferentes fotoperiodos dependiendo de la especie de la semilla (Chong, *et al.*, 1995).

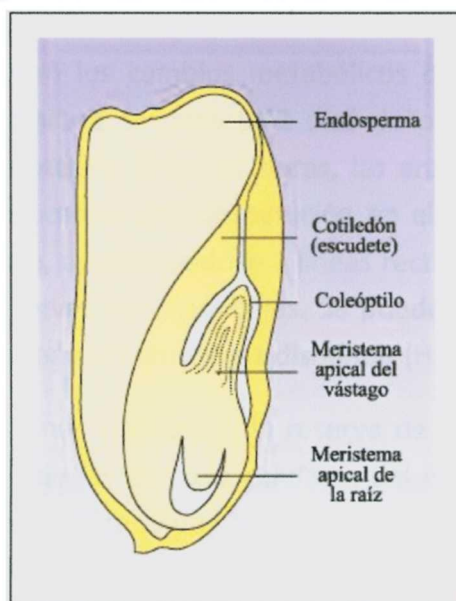


Figura 1. Partes que componen la semilla de maíz (Anónimo 1, 2009).

El proceso de germinación inicia cuando la semilla tiene las condiciones óptimas para crecer y desarrollarse, comenzando con una intensa actividad metabólica dentro de

ésta para dar inicio a la germinación (Bewley y Black, 1985). La semilla se nutre a través de las reservas que contiene en endosperma: almidón (carbohidratos), proteínas, hemicelulosa, polifosfatos y lípidos. Por medio de la imbibición y respiración las reservas se convierten en energía debido a la activación enzimática de las lipasas, proteasas, fitasas y  $\alpha$ -amilasa (Shepherd, *et al.*, 2007).

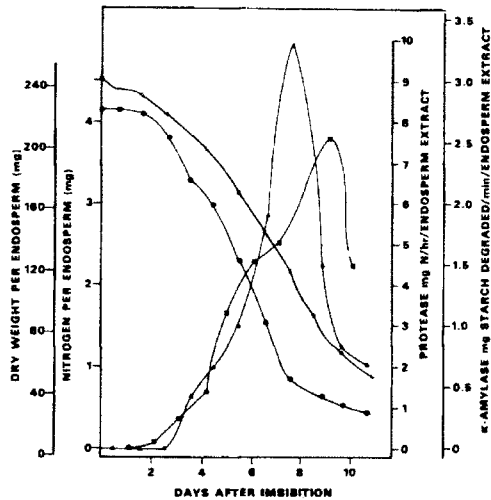


Figura 2. Cambios metabólicos en el endosperma durante la germinación debido a la actividad enzimática. Peso seco (○), nitrógeno total (●), actividad de la proteasa (▲) y actividad de  $\alpha$ -amilasa (■) (Harvey y Oaks, 1973).

En la figura 2 se muestran los cambios metabólicos causados por la proteasa y  $\alpha$ -amilasa. La enzima  $\alpha$ -amilasa se detecta 2 días después de la imbibición, seguida tiempo después de la proteasa. A las 48 horas, las enzimas hidrolizan la reserva de proteína y almidón, provocando una disminución en el endosperma. Se observa que esta disminución es rápida, aproximándose a líneas rectas; este efecto cambia a partir del día 9, cuando las reservas son muy bajas. Se puede observar que al agotarse las reservas, la actividad enzimática comienza a disminuir (Harvey y Oaks, 1973).

La forma en que las enzimas convierten la reserva de la semilla en nutrientes, es a través de la degradación de las paredes celulares del endosperma e hidrolizando las moléculas para liberar energía y lograr la germinación. La enzima  $\alpha$ -amilasa lleva a cabo la degradación de las paredes del endosperma, activada por la hormona giberelina (Shepherd, *et al.*, 2007).

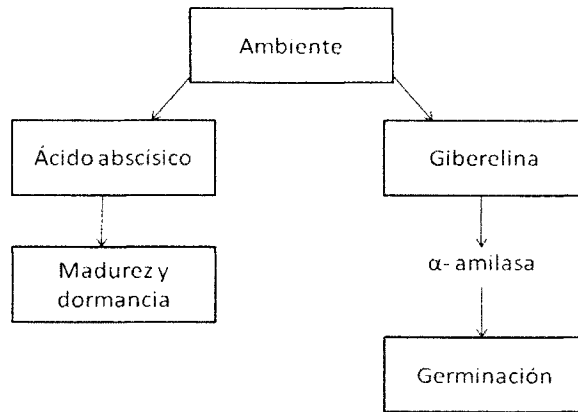


Figura 3. Modelo de interacción hormonal con el ambiente (Shepherd, *et al.*, 2007)

Esta actividad enzimática origina cambios dentro de la semilla para abastecer las necesidades nutrimentales del embrión y comenzar la germinación. En la siguiente imagen se muestran algunos de los componentes de la semilla de maíz (*Zea mays L.*) con los cambios presentes durante la germinación en los primeros 5 días (Mayer y Poljakoff-Mayber, 1989).

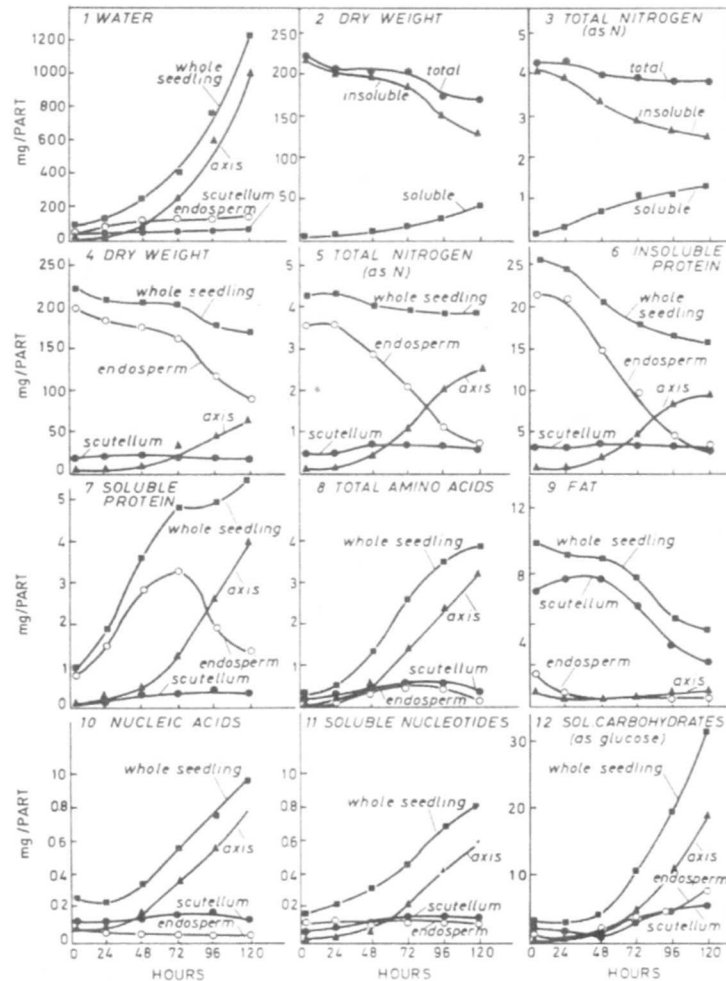


Figura 4. Cambios en diferentes partes del *Zea mays* L. durante la germinación (Ingle *et al.*, 1964; citado por Mayer y Poljakoff-Mayber, 1989)

En la figura 4 se puede distinguir el cambio de nutrientes, así como el metabolismo de la semilla y los cambios en los constituyentes químicos dentro de ella. Uno de los cambios más significativos en la imagen es la absorción de agua por la semilla (Figura 1), aumentando un 131% el contenido de agua en el embrión axial. Con la hidratación de la semilla, se observan intercambios entre los componentes solubles e insolubles, componentes principalmente formados por carbohidratos (Figura 2) (Ingle, *et al.*, 1963).

En la Figura del peso seco (4) y nitrógeno total (5) se puede observar la disminución en la semilla y endosperma, mientras que el axial del embrión y el escutelo presentan un incremento. En la Figura de proteínas solubles (7) se presenta un aumento en la semilla y una parábola indicando los cambios que tiene el endosperma en la cantidad de

proteínas conforme pasa el tiempo (Mayer y Poljakoff-Mayber, 1989). Los carbohidratos solubles (Figura 12), representan entre un 50%-75% de la semilla, aumentando su contenido durante la imbibición hasta un 173% (Ingle, *et al.*, 1963). La tendencia general es la aportación de nutrientes del endospermo hacia los meristemas primarios para lograr la germinación y crecimiento de la planta (Mayer y Poljakoff-Mayber, 1989).

Después de que los nutrientes se absorben por el embrión, la raíz embrionaria (primera raíz o meristema apical de la raíz) rompe la testa o cubierta seminal para surgir de la semilla. La fase de germinación termina con la elongación de la esta radícula (Bewley y Black, 1985).

Posteriormente surge el meristema apical del vástago, que es la estructura que brota de la semilla (parte aérea) y que de ella se desarrollarán el tallo, hojas y yemas. A este proceso se le conoce como crecimiento primario, en donde se comenzará la diferenciación entre sus diversas estructuras vegetativas (Chong, *et al.*, 1995).

Durante el proceso de crecimiento de la plántula, el endosperma continuará abasteciendo las necesidades nutrimentales de la planta joven; en tanto el vástago siga creciendo, las primeras hojas que surgen a partir de él comienzan a realizar fotosíntesis y en las raíces se formarán pelos radicales para la absorción de agua y solutos, por lo que paulatinamente el endosperma dejará de ser el proveedor de nutrientes (Leubner-Metzger, *et al.*, 2007).

Los solutos (principalmente minerales) y el agua recabada por la planta joven serán transportados a través de la planta por medio del xilema, mientras que la translocación de azúcares y compuestos orgánicos generados a partir de la fotosíntesis es realizado por el floema. El xilema y el floema se desarrollaron junto con la planta joven para proporcionar a toda la planta los nutrientes necesarios para continuar con su desarrollo (Madore, 2005).

Los fenómenos fisiológicos de la planta se encuentra bajo la influencia de cinco hormonas (principalmente) que controlan la regulación del crecimiento, el desarrollo vegetativo y las actividades metabólicas. La *auxina*, es una hormona que estimula el alargamiento de la plántula induciendo el crecimiento de los primeros brotes. Está presente en el fototropismo y geotropismo. La *citoquinina*, está implicada en la división celular, la germinación de la semilla y la movilización de nutrientes de la reserva

endospérmica a la planta joven. El *etileno* principalmente incita la floración y maduración del fruto. La *giberelina* es la hormona que favorece la división celular principalmente del vástago y estimula la prolongación celular de los brotes; también determina el momento de la germinación. El *ácido abscísico*, que funge como regulador en el crecimiento de la planta cuando las condiciones no son adecuadas (inhibe el crecimiento). Estimula la dormancia para prevenir la muerte o la germinación precoz de la semilla (Basra, 2006; Weaver, 1990).



## 1.6 Justificación

La producción de forraje a cielo o campo abierto tiene un impacto negativo en los ecosistemas y sus funciones, debido a que este tipo de producción es un sistema poco eficiente en el suministro de agua y degrada extensos terrenos agrícolas. (SEMARNAT, 2008; Jiménez, 1989) Adicionalmente, el forraje producido bajo esta tecnología presenta una menor calidad nutricional y digestibilidad debido a los factores climáticos que afectan directamente al forraje al estar expuesto a las variaciones de las condiciones meteorológicas. Sumado a esto, la producción de forraje a campo abierto tiene una mayor posibilidad de problemas fitosanitarios. (Carballo, *et al.*, 2005)

Debido a la gran extensión de territorio enfocado a la ganadería y las limitantes (principalmente meteorológicas) para sustentar la alimentación del ganado, se considera que la producción de FVH bajo invernadero es una opción para disminuir los riesgos de la producción a campo abierto. (Resh, 2001)

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), la producción de FVH bajo invernadero es una alternativa para la obtención de forraje tierno en poco tiempo, con un alto valor nutritivo y palatabilidad, asegurando alimento para el ganado durante todo el año y sin ser afectada por las condiciones climáticas. (FAO, 2001)

Es necesario estimar la producción de FVH bajo invernadero comparándolo con la producción de forrajes a campo abierto para presentar las diferencias entre ambas tecnologías. Esto con la finalidad de definir la tecnología de mayor sustentabilidad, tanto en ahorro de agua, espacio, costos, así como el valor nutritivo del forraje producido.

La falta de información y el costo de la infraestructura para la obtención de FVH, ha sobrevalorado los beneficios de esta tecnología de producción. Sin embargo, los beneficios que aporta son mayores que la producción a campo abierto (FAO, 2001).

La viabilidad de este estudio es posible a partir de datos actuales de la producción a campo abierto y de la investigación de campo realizada para el FVH.

## CAPÍTULO II. DESCRIPCIÓN DEL ESTUDIO, MÉTODO EXPERIMENTAL Y MATERIAL EN CAMPO Y LABORATORIO

### 2.1 Sitio experimental

El estudio se llevó a cabo en el Rancho San Francisco, en el municipio de Arteaga, ubicado al sur del estado de Coahuila en las coordenadas 25° 25' latitud norte y 101° 50' longitud oeste, con una altitud de 1,660 msnm. (INAFED, 2005) El clima es templado subhúmedo con lluvias escasas todo el año. La temperatura media anual es de 13°C con una precipitación total anual entre 450 y 500 mm. En esta zona se presentan heladas, alrededor de 60 días al año (INEGI, 2009).

#### 2.1.1 Descripción de la instalación de producción

El invernadero es tipo vertitunel, de 10 mts de ancho por 18 mts de largo dando una superficie de 180 m<sup>2</sup>; cuenta con cobertura de polietileno con malla 95% sombra. (Fig.1.)

El invernadero cuenta con ventilación lateral y se maneja manualmente para permitir la corriente de aire dentro del mismo.

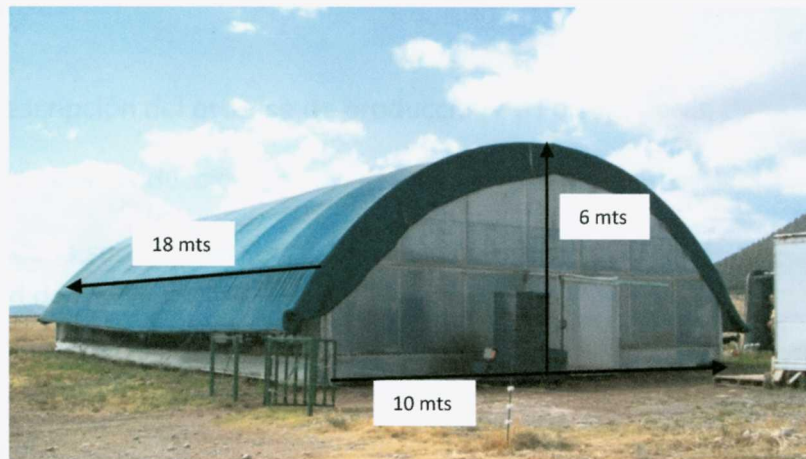


Figura 5. Vista externa del invernadero.

En su interior se encuentran 12 unidades de producción (*racks*) de 1.6 mts de ancho por 4.8 mts de largo y 2 mts de altura. Cada unidad de producción tiene 4 niveles con capacidad de soportar 32 charolas.

El sistema de riego es por microaspersión, se realiza mediante 12 aspersores colocados en cada nivel, teniendo un total de 48 aspersores en la unidad de producción. El riego es controlado por 12 válvulas Rain Bird instaladas en cada flujo de dichas unidades.

Un programador de riego automatiza el riego según las necesidades del invernadero y la temporada.

En el invernadero, la temperatura es regulada por medio del riego. Durante la época de invierno utilizan un calentador ubicado en la parte superior para controlar las bajas temperaturas y evitar el daño del forraje por congelamiento.

## **2.2 Metodología de producción**

Para este estudio, se produjo Forraje Verde Hidropónico bajo invernadero a partir del grano de maíz en temporada de primavera y verano o cebada en otoño e invierno. La mayoría de los años, el maíz es sembrado a partir de marzo hasta principios de noviembre, que es cuando se espera la primera cosecha de grano de cebada para cubrir los otros meses del año. El grano es guardado en sacos para su conservación.

La semilla utilizada para la producción de FVH es orgánica, haciendo labores orgánicas para su producción, esto es evitando el uso de productos químicos en la producción.

### **2.2.1 Descripción del proceso de producción de Forraje Verde Hidropónico**

El proceso para la producción de FVH tiene los siguientes pasos:

1. Lavado de la semilla con fungicida orgánico o una solución de agua con cal, con la finalidad de retirar granos rotos, restos de planta e impurezas.
2. El grano se coloca en agua durante 24 horas, para que la semilla comience el proceso de imbibición y se active la germinación del grano.
3. La semilla se deja reposar 3 días para la germinación.
4. Se coloca entre 0.9 y 1 kg de grano en las charolas y se llevan al invernadero.
5. Las charolas son regadas 30 segundos cada 3 ó 4 horas 5 veces al día. La unidad de producción que contenga las charolas recién colocadas deberá permanecer en reposo y sin riego, recibiendo la humedad que se encuentra dentro del invernadero.

## 2.3 Trabajo experimental

El estudio se realizó del 4 de septiembre del 2008 al 13 de junio del 2009 y consistió en:

- *Medición de riego:* estimar la cantidad de consumo de agua para la estimación del volumen utilizado en la producción de FVH.
- *Medición de temperatura:* monitoreo de temperatura dentro del invernadero para estimar el efecto sobre la producción de forraje.
- *Muestras para el análisis del forraje:* muestreo para analizar el comportamiento químico del forraje.



Figura 6. Vista interior del invernadero.

### 2.3.1 Medición de riego

Durante los ciclos productivos se midió la cantidad de agua suministrada en la producción de FVH y su eficiencia respecto a la cantidad de agua utilizada en campo abierto para la producción de diversos cultivos forrajeros. La forma de estimar esta cantidad es por medio de la colocación de un vaso de precipitado de 1 l al momento de comenzar el riego en alguna de las unidades de producción.

Se tomaron varias muestras de agua para confirmar la información y sacar un valor promedio de agua empleada en el invernadero.

Lo anterior, permitirá comparar el volumen de agua utilizado para la producción de 1 kg de materia seca de cada uno de los forrajes analizados.

### 2.3.1 Temperatura

Con la finalidad de estar en posición de relacionar la temperatura con el posible cambio de la calidad nutricional que se presentaba en cada uno de los niveles de las unidades de producción, se realizó la medición de temperatura con termopares tipo T con indicador de temperatura digital tipo K.

Se colocó dentro del invernadero un datalogger CR1000 marca Campbell Scientific para el monitoreo de la temperatura en 9 diferentes puntos. El datalogger se usó para registrar los datos cada hora, así como las temperaturas máximas y mínimas diarias. El programa empleado para monitorear las temperaturas es el Campbell Scientific PC200W.

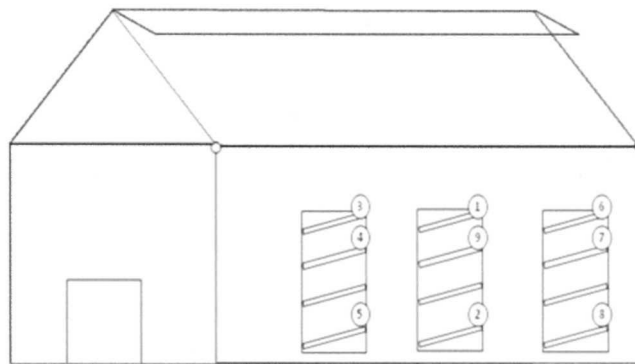


Figura 7. Localización de termopares dentro del invernadero.

En la figura 7 se muestra la posición de los termopares dentro del invernadero.

### 2.3.2 Forraje

Se realizaron muestras en las diversas etapas de maduración del forraje para analizar el comportamiento de la composición química. Se analizaron 5 muestras de forraje verde hidropónico, siendo 2 muestras de cebada y 3 de maíz.

El forraje germina y se desarrolla durante 12 días dentro del invernadero, este tiempo se considera un ciclo completo, se tomaron muestras en los días 0 (antes del colocar el grano en agua), día 4, día 6, día 8, día 10, día 12. Considerando que el día 1 es día en el que el grano se coloca en la charola dentro del invernadero para comenzar el reposo y el día 12 es el último día del ciclo.

Número de muestra	Tipo de semilla	Periodo	Temperatura máxima	Temperatura mínima	Temperatura promedio
1	Maíz	29/09/08 al 10/10/08	30.64°C	7.90°C	17.63°C
2	Maíz	25/10/08 al 5/11/08	27.88°C	6.76°C	15.10°C
3	Maíz	26/05/09 al 6/06/09	32.44°C	10.19°C	18.87°C
4	Cebada	19/10/08 al 30/10/08	28.95°C	6.91°C	15.65°C
5	Cebada	16/11/08 al 27/11/08	24.82°C	4.77°C	12.78°C

Tabla 6. Descripción de temperaturas durante los ciclos de estudio.

En cada una de estas corridas se tomaron muestras de 2 kgs en diferentes etapas de maduración del forraje. Estas muestras fueron colocadas en papel periódico para evitar la generación de hongos por humedad y fueron analizadas al término de cada ciclo del forraje.

Con estas muestras se realizarán los análisis de costos de producción por la cantidad de proteína en cada kg de FVH con respecto a la alfalfa en floración, ensilaje de maíz y heno de cebada, los cuales son forrajes comúnmente utilizados en México.

Además, se estimará la producción anual de materia seca de cada uno de estos forrajes por metro cuadrado de cultivo empleado.

## 2.4 Análisis de muestras

Los estudios realizados incluyen análisis de fibra detergente neutra, la fibra detergente ácida y el bromatológico completo el cual incluye: porcentaje de proteína, humedad, cenizas, extracto etéreo, fibra cruda y extracto libre de nitrógeno.

Las muestras se enviaron al Laboratorio Central Regional de Monterey del Comité para el Fomento y Protección Pecuaria del Estado de Nuevo León, A.C. para su análisis.

En el Anexo I y II se presenta la información que complementa el proceso de producción de FVH..

## 2.5 Variables medidas

A partir de las muestras realizadas y los datos registrados, se obtuvieron las mediciones de las siguientes variables:

1. Contenido de proteína en base seca (%)
2. Contenido de humedad en base seca (%)
3. Contenido de cenizas en base seca (%)
4. Contenido de extracto etéreo en base seca (%)
5. Contenido de fibra cruda en base seca (%)
6. Contenido de extracto libre de nitrógeno en base seca (%)
7. Contenido de fibra detergente ácido en base seca (%)
8. Contenido de fibra detergente neutro en base seca (%)
9. Tipo de semilla
10. Temperatura (°C)
11. Riego (ml)

## 2.6 Análisis estadístico

Se llevaron a cabo tres repeticiones para las muestras de maíz y dos para la cebada. Se partió del modelo  $Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + E$  para el análisis estadístico de las muestras, donde:

$Y_n$  = variable dependiente (n= proteína, humedad, cenizas...)

$B_n$  = coeficiente (n=0,1,2,3)

$X_n$  = variable independiente (n= tipo de semilla, días, temperatura)

E= error experimental

El riego no fue introducido en el análisis experimental debido a que es un valor constante.

Se realizaron regresiones para identificar el comportamiento de las observaciones obtenidas de las variables dependientes, modificando la variable independiente "día" dentro de la ecuación, tomando las siguientes formas:

- Ecuación lineal:  $Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3$
- Ecuación cuadrática:  $Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2^2 + \beta_3 X_3$
- Ecuación inversa:  $Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 (1/X_2) + \beta_3 X_3$
- Ecuación logarítmica:  $Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 (\ln X_2) + \beta_3 X_3$

Cada una de las variables (observaciones) fue estimada en las diversas ecuaciones para conocer el comportamiento que mejor define a cada una de las variables dependientes, realizándose 32 regresiones en total. De estas regresiones, la ecuación que se ajusta con más precisión a los datos es decir, que tenga un coeficiente de determinación ( $R^2$  ajustada) mayor, es la ecuación que se considera válida para la variable dependiente.

Además, para la comprobación de los resultados de las regresiones, se realizaron análisis de Varianza (ANAVA) para confirmar el grado de ajuste de la ecuación seleccionada para cada variable dependiente.

El programa empleado para realizar los análisis estadísticos es Minitab 15®.



## **CAPÍTULO III. RESULTADOS DEL ESTUDIO**

### **3.1 Resultados**

Los resultados obtenidos del análisis de forraje se presentan a continuación. Las primeras tablas muestran los resultados porcentuales de los análisis bromatológicos expedidos por el laboratorio del forraje en base seca. También, se presentan figuras de promedios con máximos y mínimos, las cuales marcan la variabilidad entre los datos del mismo tipo.

Las figuras de análisis de regresión (Anexo III) presentan el comportamiento de cada una de las variables dependientes y su ajuste en el modelo de la ecuación. Las variables en las ecuaciones de regresión son:

Y= variable dependiente

X<sub>1</sub>= Tipo de semilla (cebada o maíz)

X<sub>2</sub>= Días

X<sub>3</sub>= Temperatura

### 3.1.1 Resultados de proteína

En la evolución del contenido proteico se observa una disminución en cada una de las muestras realizadas tanto para maíz como cebada. Este comportamiento se relaciona con la germinación y crecimiento de la plántula.

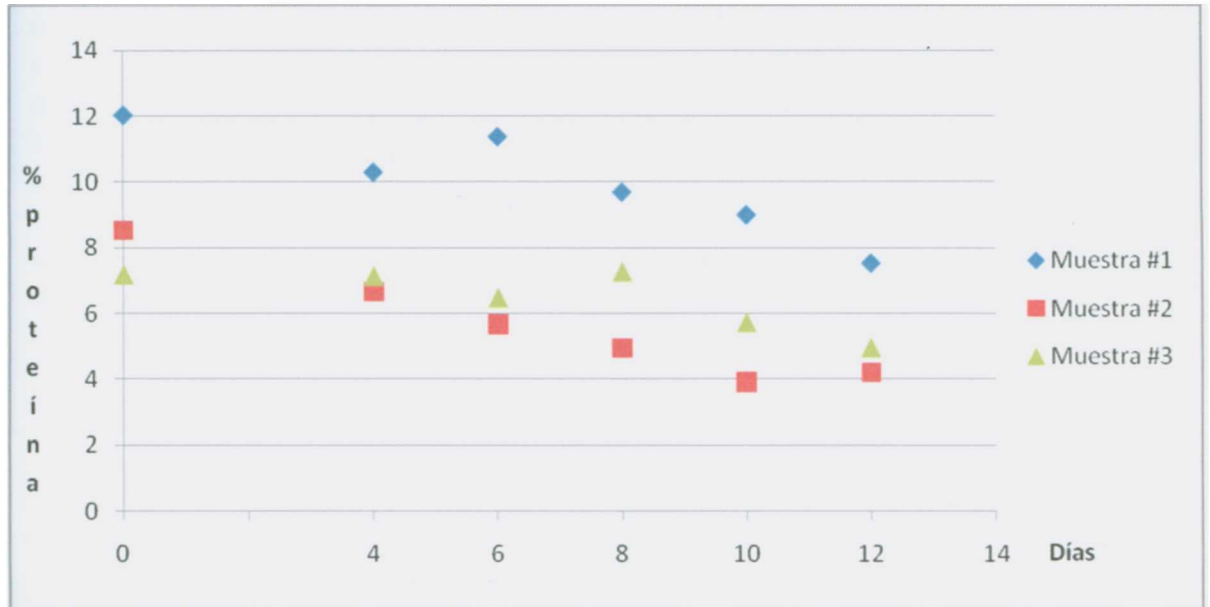


Figura 8. Resultado de la proteína en el maíz.

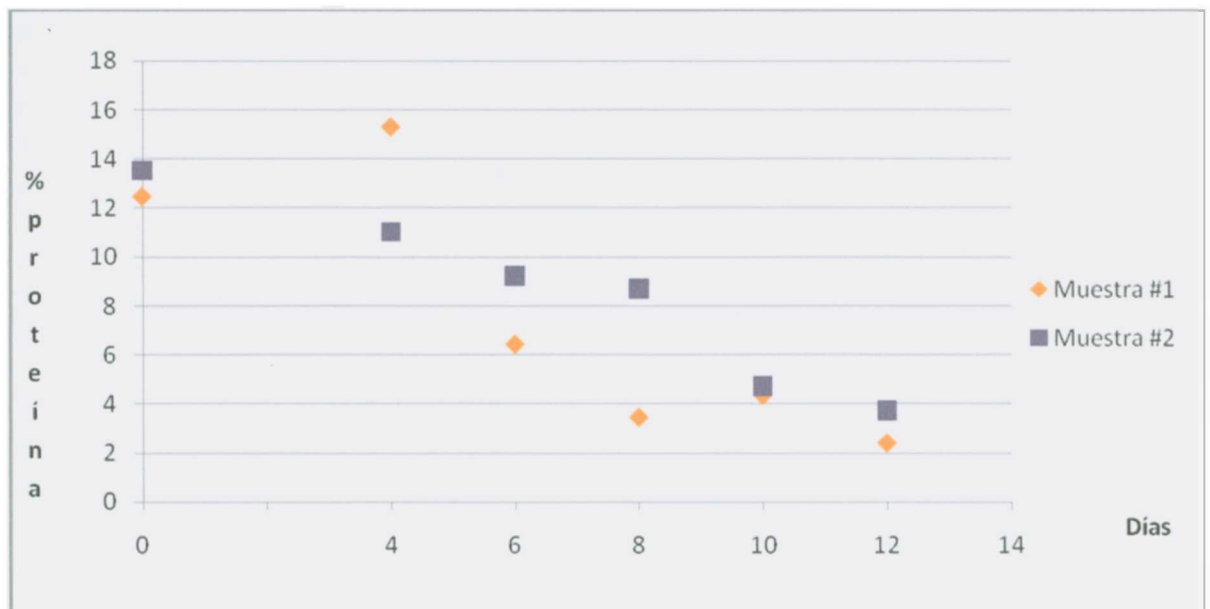


Figura 9. Resultado de la proteína en la cebada.

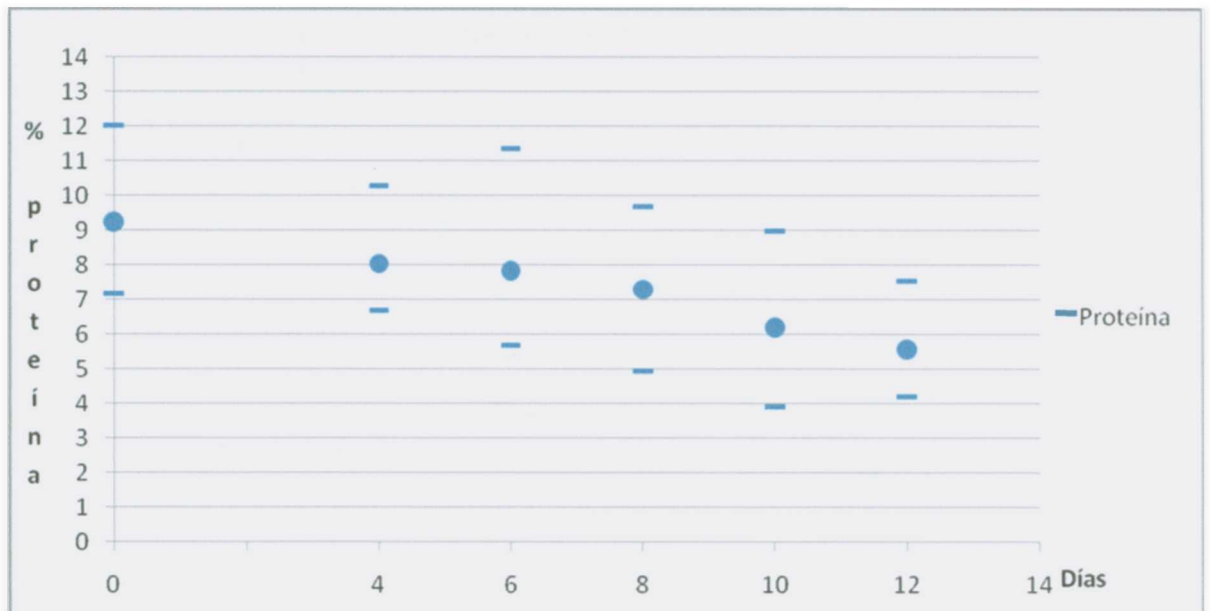


Figura 10. Promedios, máximos y mínimos de la proteína en las 3 muestras de maíz.

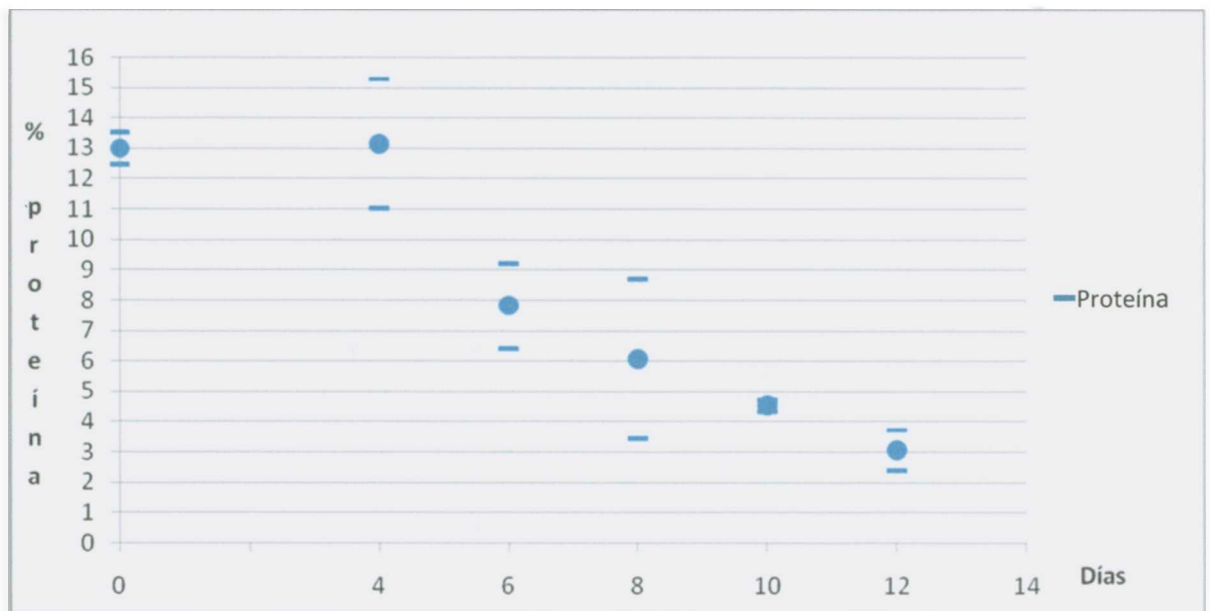


Figura 11. Promedios, máximos y mínimos de la proteína en las 2 muestras de cebada.

### 3.1.2 Resultados de la materia seca

Debido a la alta humedad que contiene el FVH, el porcentaje de materia seca con el paso de los días disminuye.

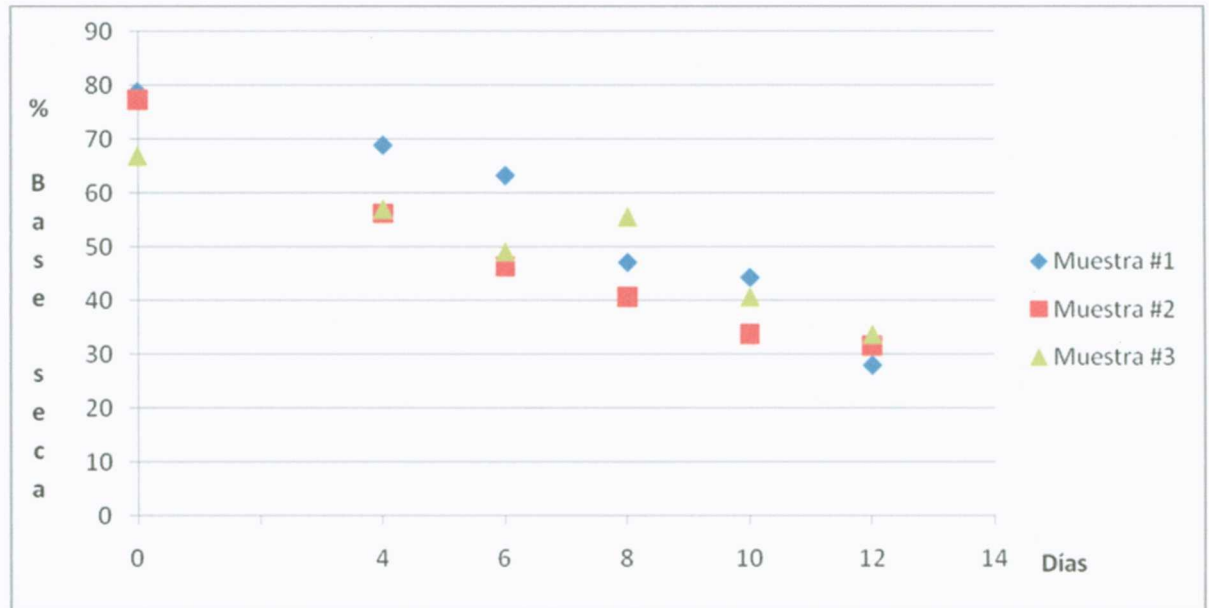


Figura 12. Resultado de la materia seca en el maíz.

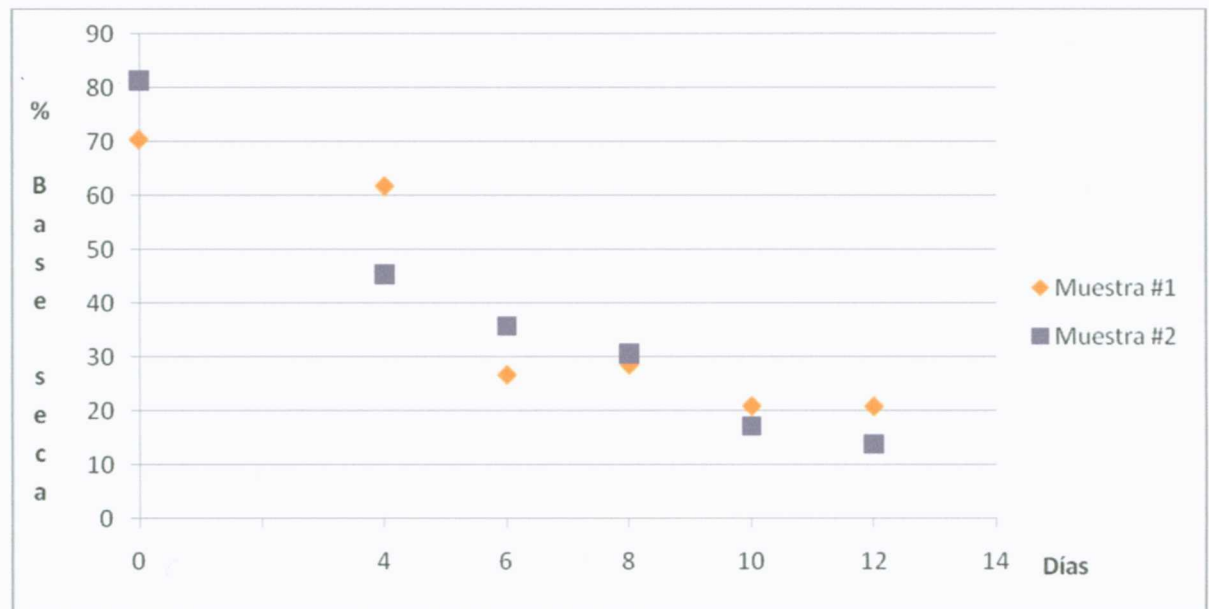


Figura 13. Resultado de la materia seca en la cebada.

### 3.1.3 Resultados de cenizas

Las cenizas presentan también un decremento en el FVH con el paso de los días. En las cenizas se encuentran algunos de los nutrientes necesarios para el buen desarrollo del animal. Sin embargo, porcentajes mayores al 10% pueden poner en riesgo su salud (Gallardo, 2009).

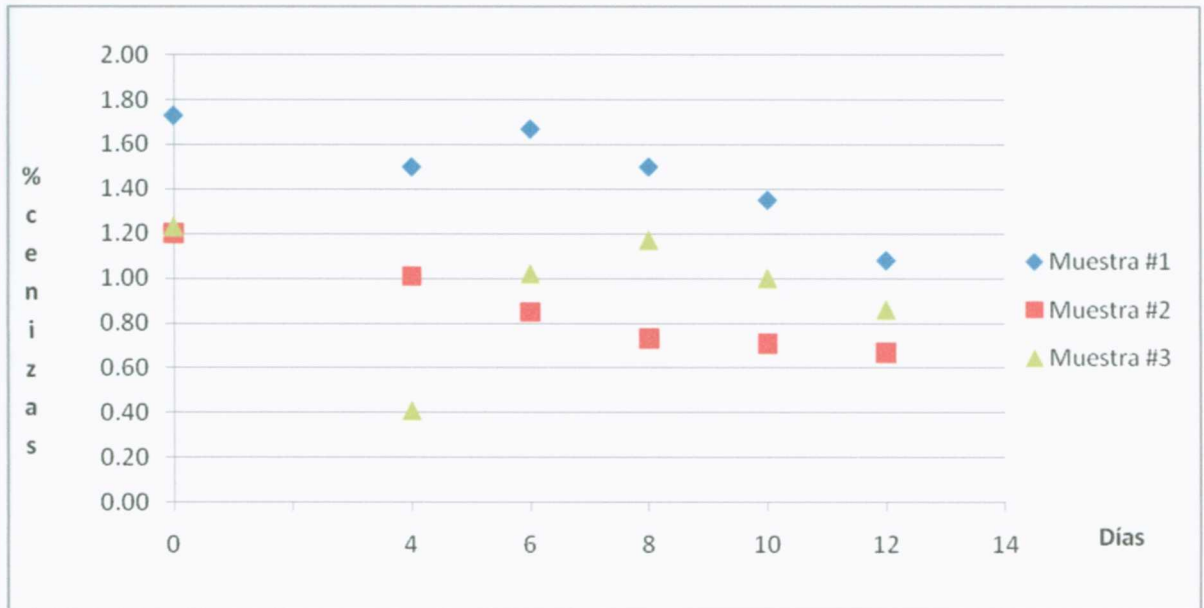


Figura 14. Resultado de las cenizas en el maíz.

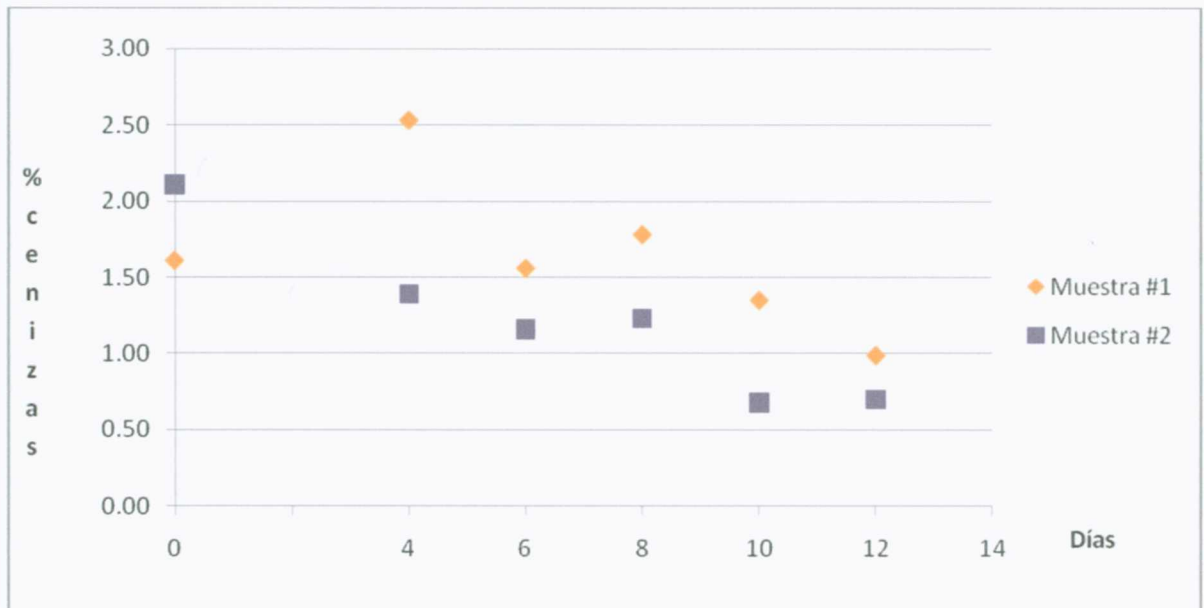


Figura 15. Resultado de las cenizas en la cebada.

### 3.1.4 Resultados de extracto etéreo

Los lípidos disminuyen con el paso de los días. Un porcentaje menor al 8% puede afectar la digestibilidad del forraje (Church, *et al.*, 2004).

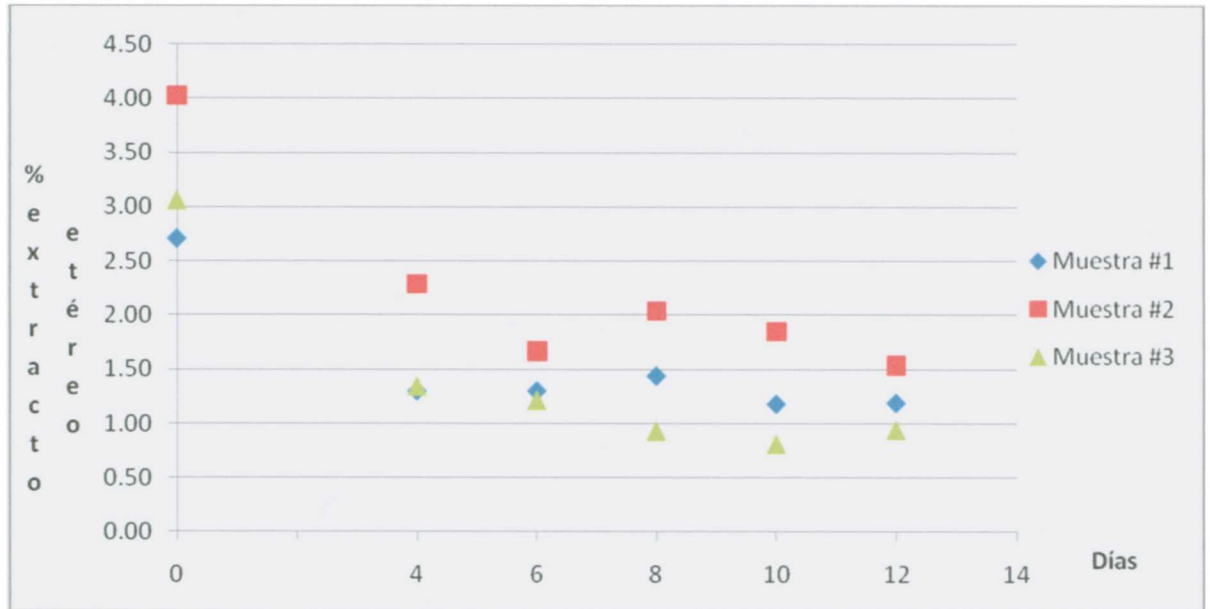


Figura 16. Resultado del extracto etéreo en el maíz.

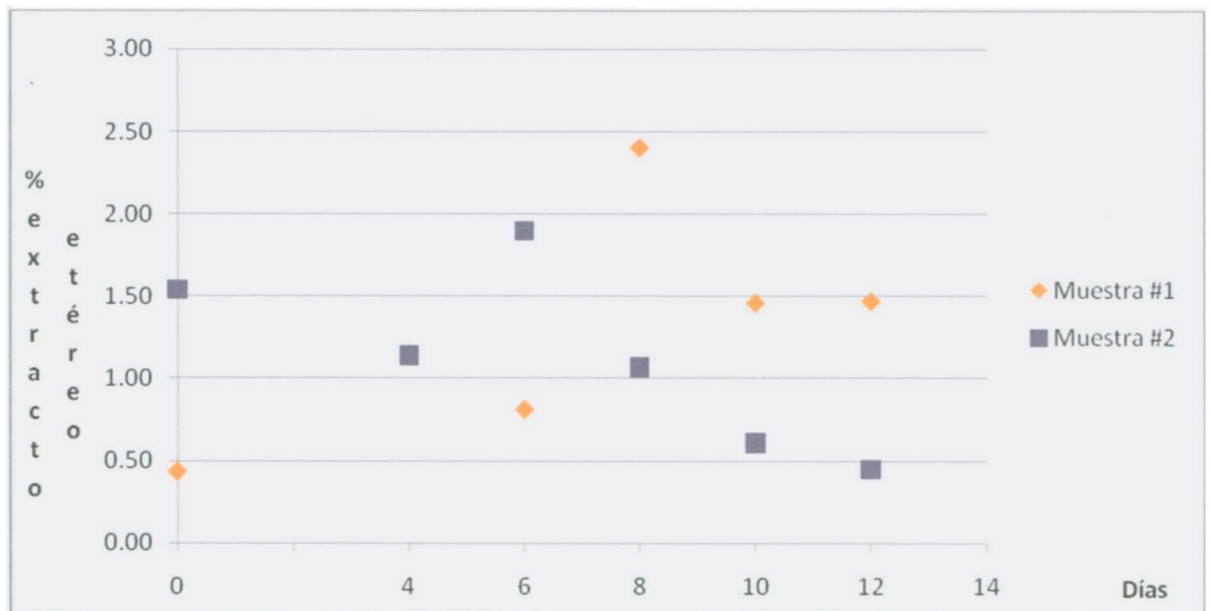


Figura 17. Resultado del extracto etéreo en la cebada.

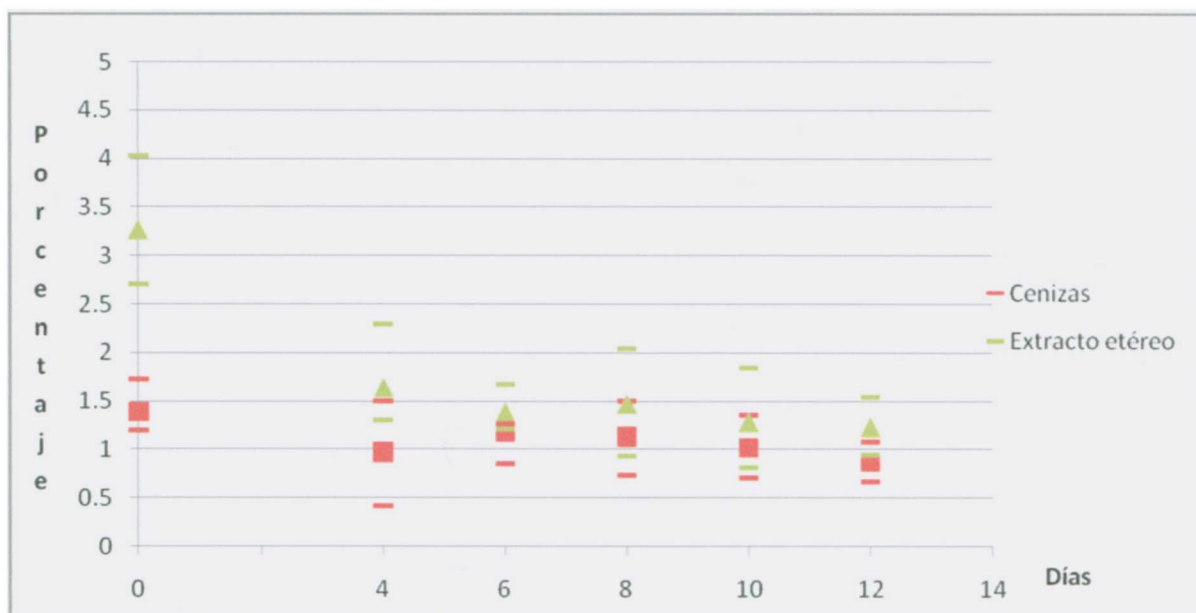


Figura 18. Promedios, máximos y mínimos de la ceniza y extracto etéreo en las 3 muestras de maíz.



Figura 19. Promedios, máximos y mínimos de la ceniza y extracto etéreo en las 2 muestras de cebada.

### 3.1.5 Resultados del extracto libre de nitrógeno

El FVH tiene pérdidas del extracto libre de nitrógeno en el transcurso de los días. Representa el almidón y azúcares, por lo cual el crecimiento de la planta consume gran parte de este nutriente.

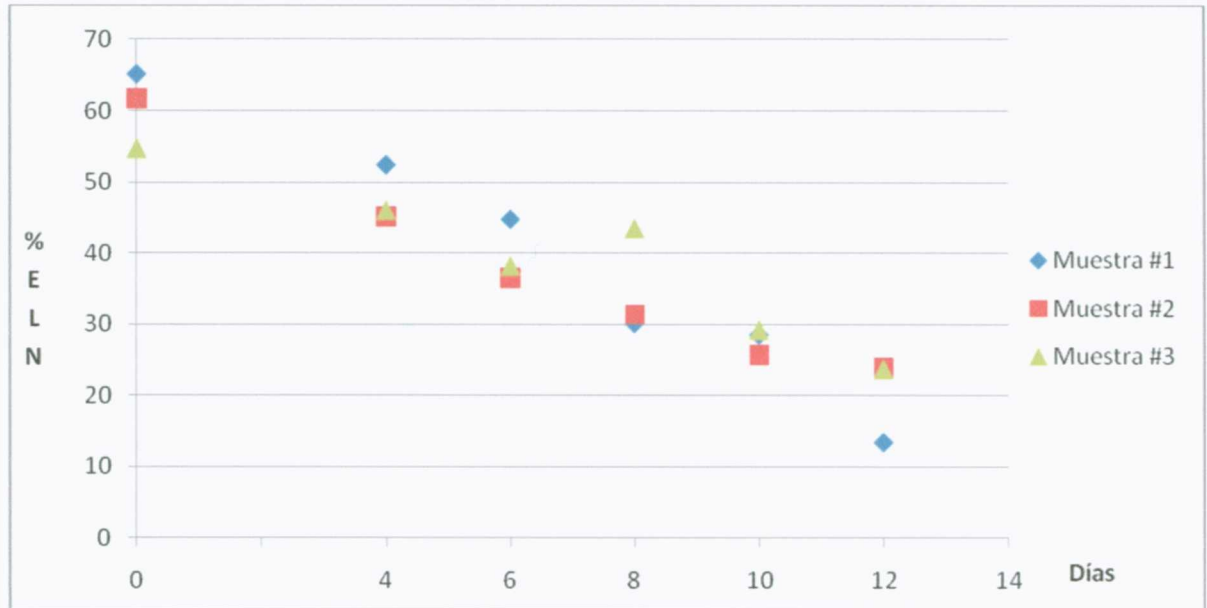


Figura 20. Resultado del extracto libre de nitrógeno en el maíz.

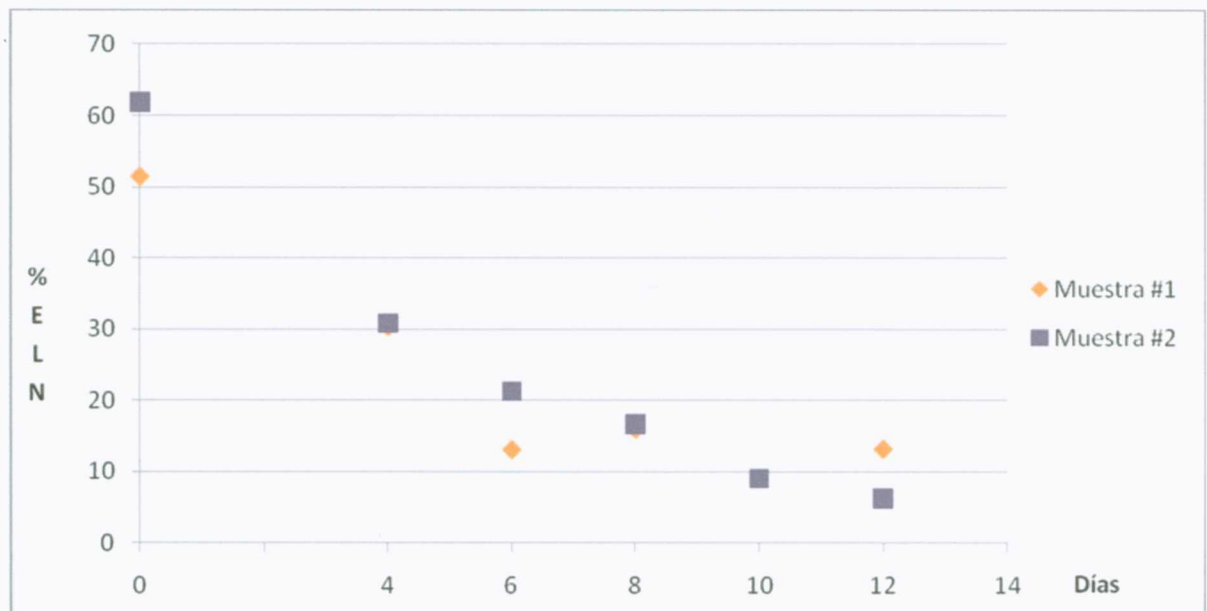


Figura 21. Resultado del extracto libre de nitrógeno en la cebada.



### 3.1.6 Resultados de la fibra cruda

La fibra cruda se compone de los elementos de algunos elementos que se encuentran en la pared celular vegetativa. Durante el crecimiento y desarrollo de la planta la fibra aumenta debido resistencia de sus tallos.

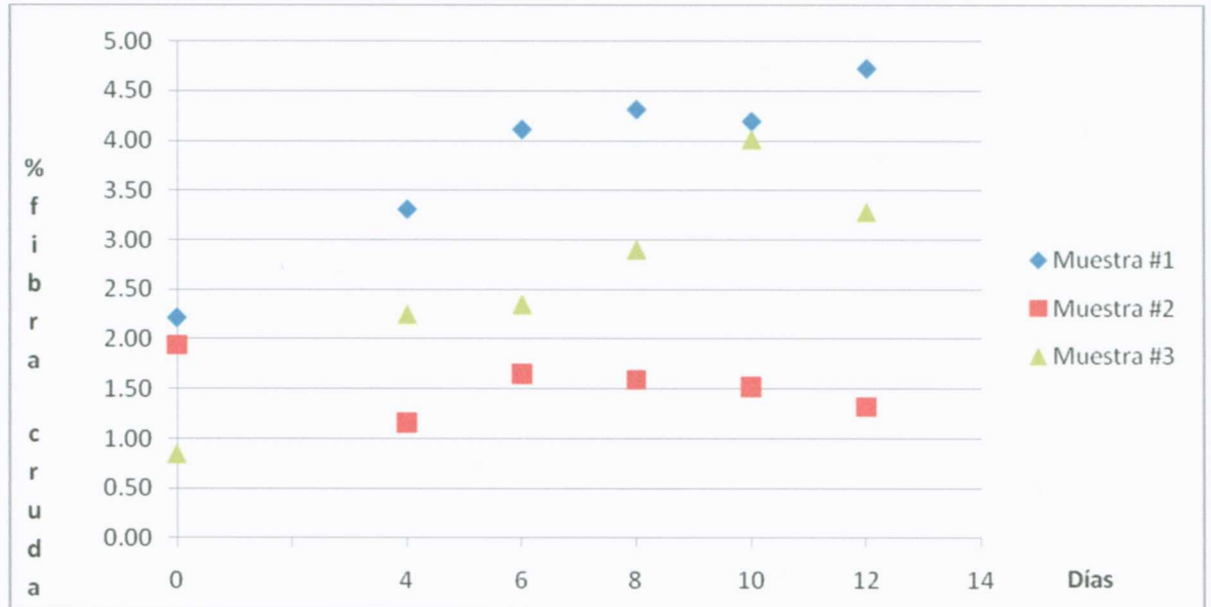


Figura 22. Resultado de la fibra cruda en el maíz.

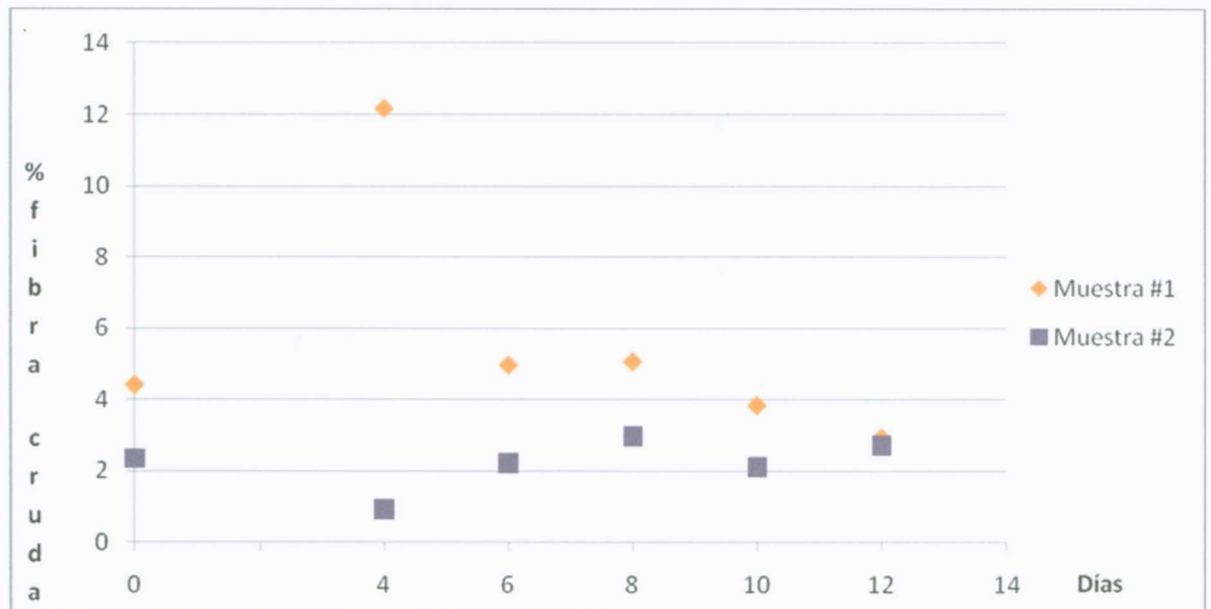


Figura 23. Resultado de la fibra cruda en la cebada.

### 3.1.7 Resultados de la fibra detergente ácido

La fibra detergente ácido esta relacionada con la digestibilidad del forraje. Esta fibra se compone de celulosa, lignina, cenizas insolubles y proteína que se encuentra en la pared celular.

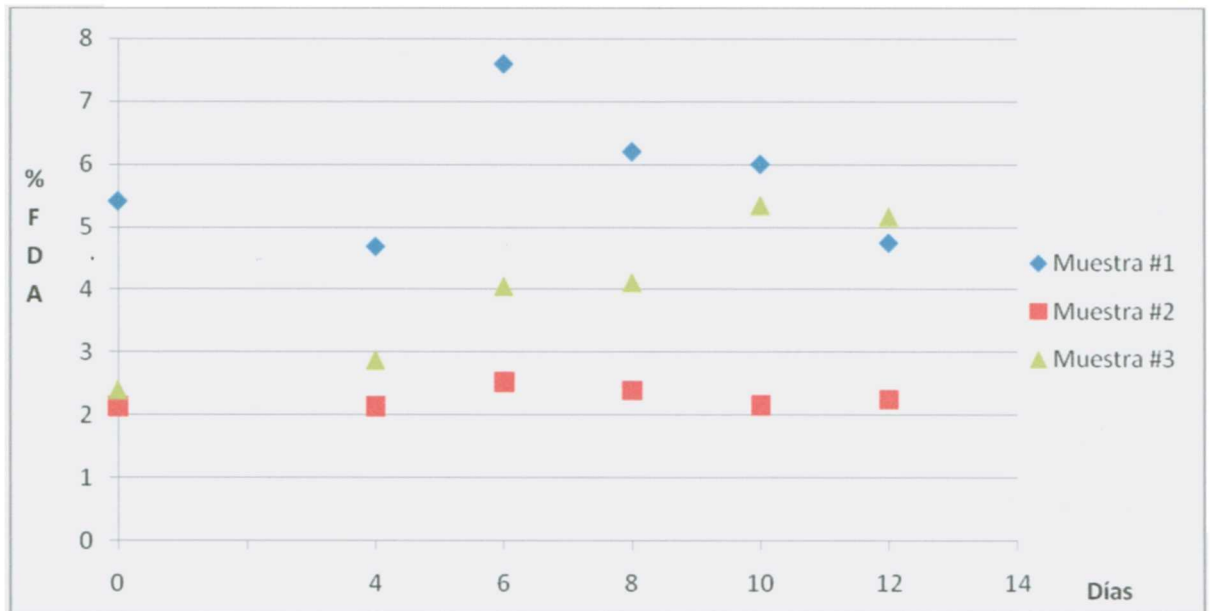


Figura 24. Resultado de la fibra detergente ácido en el maíz.

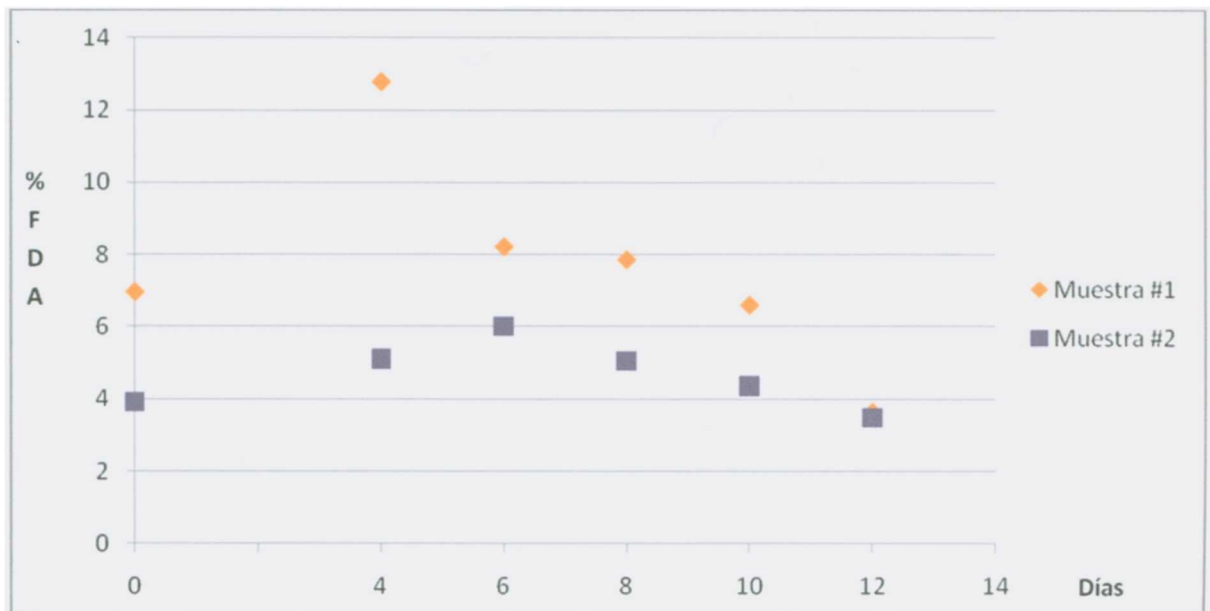


Figura 25. Resultado de la fibra detergente ácido en la cebada.

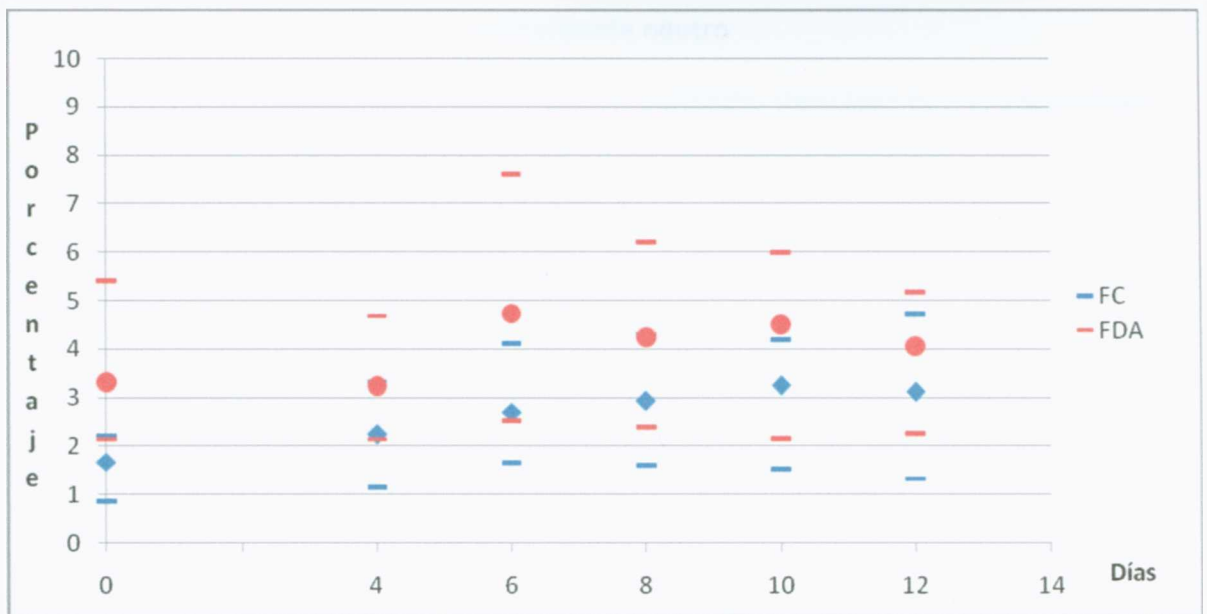


Figura 26. Promedios, máximos y mínimos de fibra cruda y fibra detergente ácido en las 3 muestras de maíz.

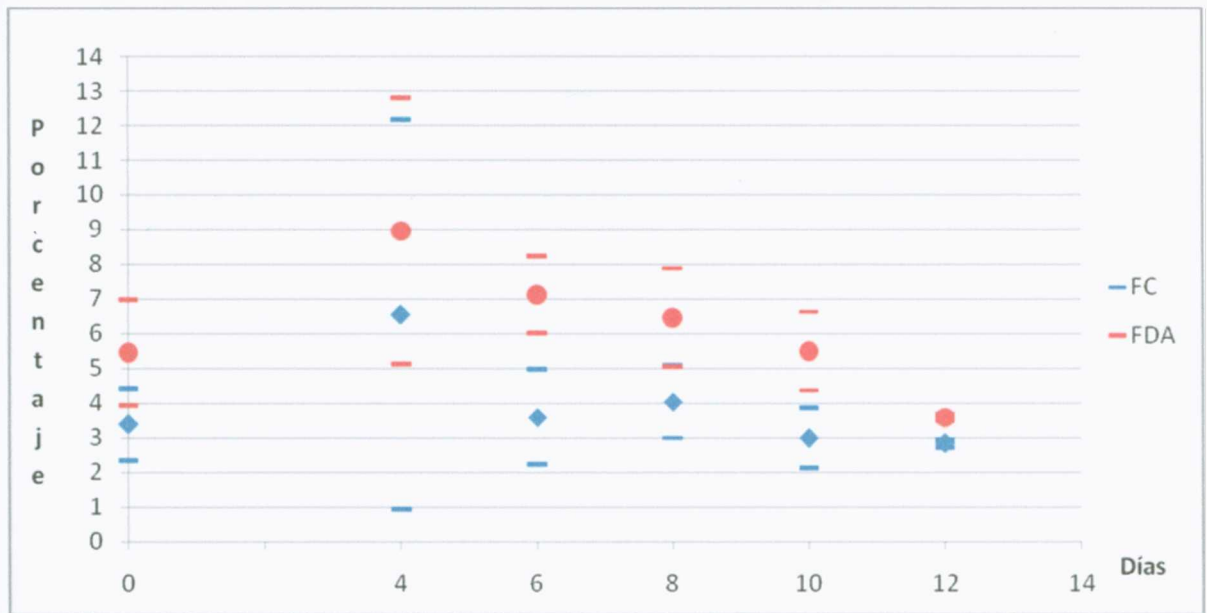


Figura 27. Promedios, máximos y mínimos de fibra cruda y fibra detergente ácido en las 2 muestras de cebada.

### 3.1.8 Resultados de la fibra detergente neutro

La fibra detergente neutro contiene las pectinas y solubles digeribles que se encuentran en la pared celular. Este valor esta relacionado con la calidad del forraje.

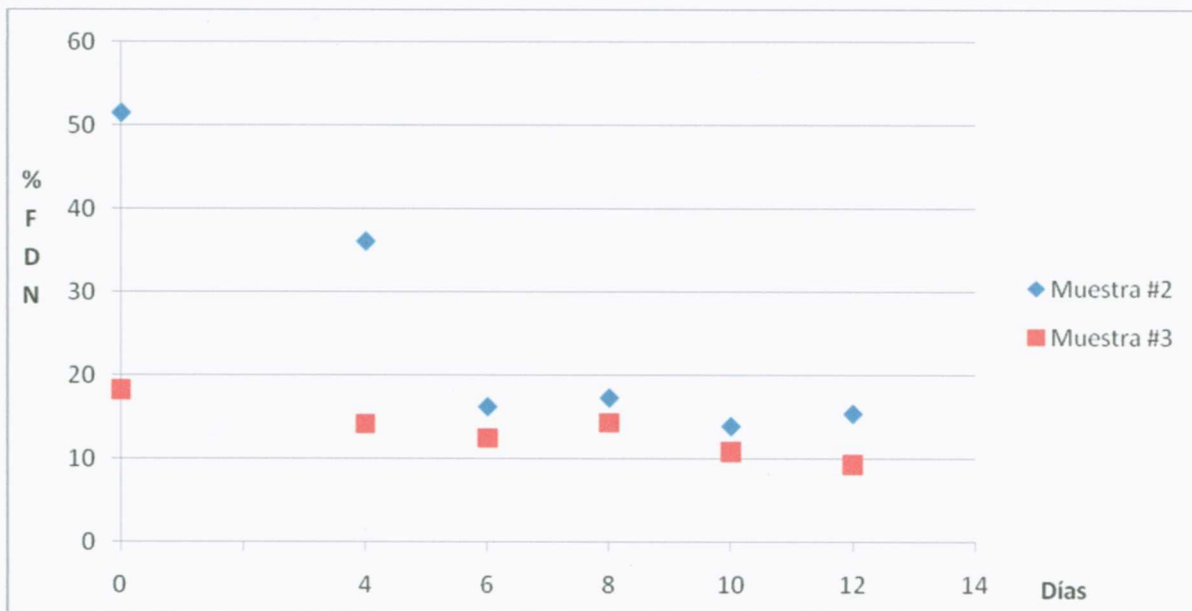


Figura 28. Resultado de la fibra detergente neutro en el maíz.

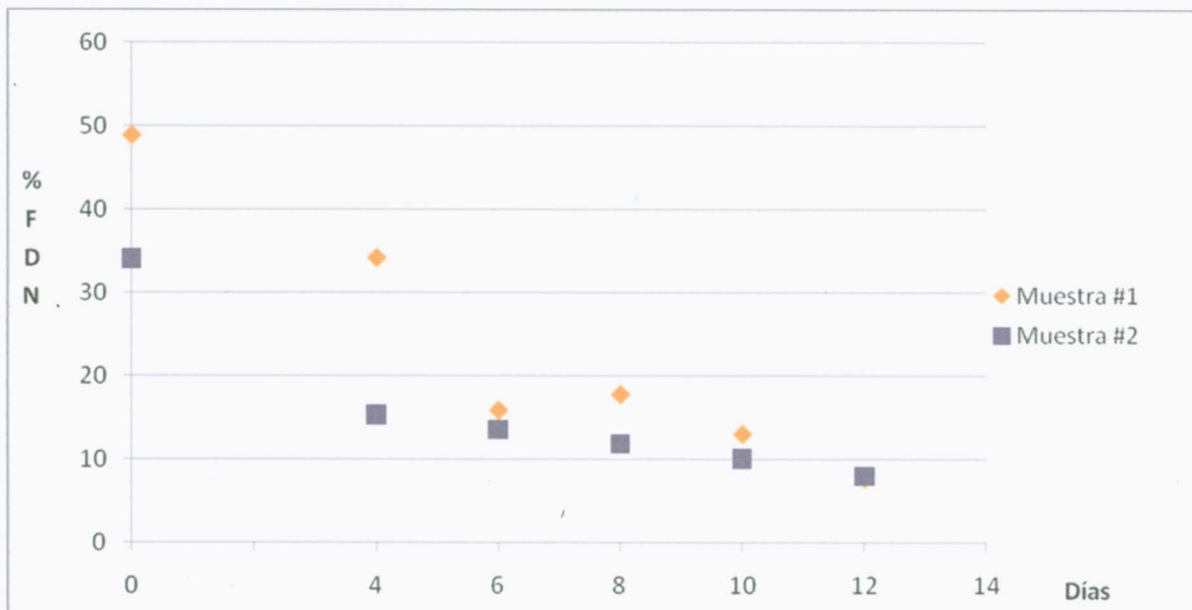


Figura 29. Resultado de la fibra detergente neutro en la cebada.

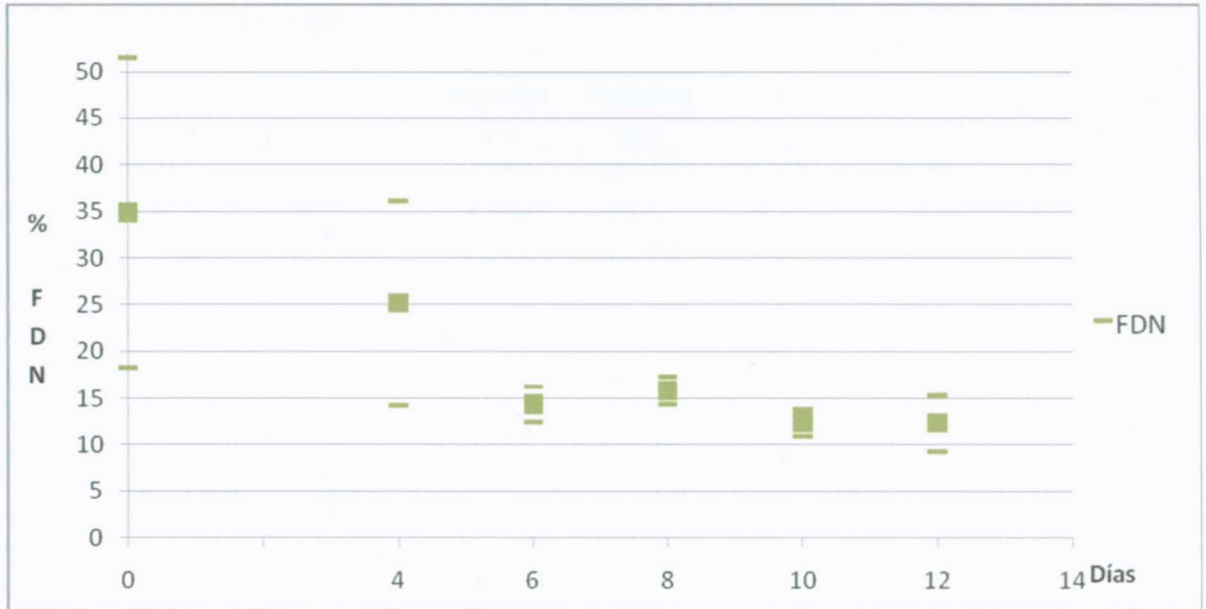


Figura 30. Promedios, máximos y mínimos de fibra detergente neutro en las 3 muestras de maíz.

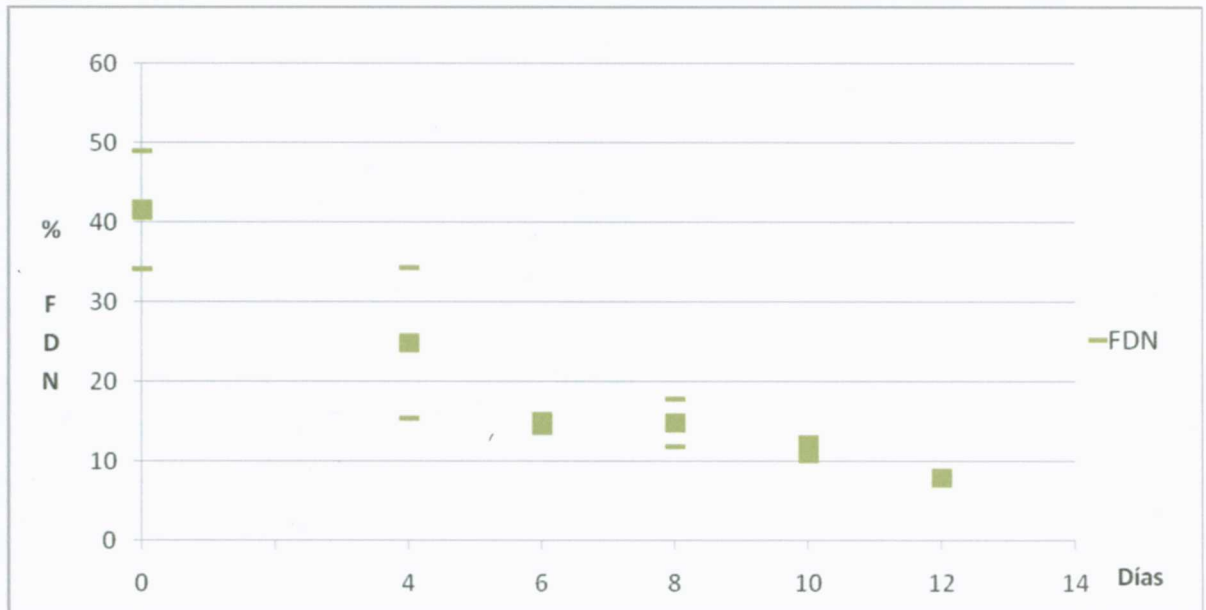


Figura 31. Promedios, máximos y mínimos de fibra detergente neutro en las 2 muestras de cebada.

### 3.2 Tabla de composición

Tipo de Muestra	Muestra (gr)	Proteína (gr)	Cenizas (gr)	Extracto etéreo (gr)	Fibra cruda (gr)
Muestra #1 maíz	2,100	118.57	17.45	23.96	60.05
Muestra #2 maíz	2,300	69.95	10.42	35.25	24.11
Muestra #3maíz	2,050	68.36	9.92	21.78	41.08
Muestra #1 cebada	2,200	76.22	14.30	20.31	87.73
Muestra #2 cebada	2,100	72.39	10.27	17.62	35.04
Alfalfa en floración temprana*	2,150	58.97	9.07	2.27	24.95
Ensilaje de maíz*	2,150	11.56	8.26	3.63	29.03
Heno de cebada*	2,150	146.40	127.63	8.17	104.34

\*(National Research Council (U.S.). Subcommittee on Feed Composition, 1972. Sauvart,D. *et al.*, 2003)

Tabla 7a. Tabla de composición nutricional.

Tipo de Muestra	Extracto libre de nitrógeno (gr)	Fibra detergente ácido (gr)	Fibra detergente neutro (gr)
Muestra #1 maíz	616.48	90.96	-
Muestra #2 maíz	589.16	35.78	280.18
Muestra #3maíz	618.05	63.04	137.16
Muestra #1 cebada	349.16	121.30	188.04
Muestra #2 cebada	383.73	73.42	112.83
Alfalfa en floración temprana*	39.92	113.41	186.00
Ensilaje de maíz*	66.69	127.02	267.65
Heno de cebada*	216.84	136.10	273.55

\*(National Research Council (U.S.). Subcommittee on Feed Composition, 1972. Sauvart,D. *et al.*, 2003)

Tabla 7b. Tabla de composición nutricional (cont.).

### 3.3 Temperatura media

La temperatura media registrada para cada una de las muestras se presenta en la siguiente tabla:

Tipo de Muestra	Día 4	Día 6	Día 8	Día 10	Día 12
Muestra #1 maíz	16.14°C	16.68°C	16.67°C	16.97°C	17.25°C
Muestra #2 maíz	15.71°C	14.87°C	14.90°C	14.86°C	14.87°C
Muestra #3 maíz	19.61°C	19.10°C	18.62°C	18.54°C	18.87°C
Muestra #1 cebada	15.12°C	15.63°C	15.82°C	15.93°C	15.50°C
Muestra #2 cebada	12.14°C	12.08°C	12.27°C	12.32°C	12.41°C

Tabla 8. Temperatura media de las muestras

### 3.4 Resultados del análisis estadístico

Variable	Ecuación de regresión	R <sup>2</sup>	n	P-valor
Proteína	$Y = 11.3 - 0.556 * X_2$	44.6%	30	0
Humedad	$Y = 11.2 + 9.82 X_1 + 28.3 \ln(X_2) - 1.39 X_3$	87.5%	30	0
Cenizas	$Y = 0.951 + 0.428 X_1 - 0.502 \ln(X_2) + 0.0394 X_3$	32.6%	30	0.004
Extracto etéreo	$Y = 3.37 - 0.682 X_1 - 0.0692 X_2$	35.9%	30	0.001
Fibra cruda	$Y = -0.57 + 1.90 X_1 - 1.44 \ln(X_2) + 0.264 X_3$	15.4%	30	0.062
Extracto libre de Nitrógeno	$Y = 77.8 - 13.4 X_1 - 22.0 \ln(X_2) + 0.779 X_3$	90.8%	30	0
Fibra detergente ácido	$Y = -0.12 + 2.93 X_1 - 1.88 \ln(X_2) + 0.309 X_3$	29.8%	30	0.007

<b>Fibra detergente neutro</b>	$Y = 38.5 - 11.5 \ln(X_2)$	61.5%	24	0
	Donde: $x_1$ =Tipo de semilla, $x_2$ = Días y $x_3$ =Temperatura.			

Tabla 9. Resultados del análisis estadístico de las variables dependientes.

El Anexo III contiene las figuras de los análisis de regresión (probabilidad normal) en donde se presentan los ajustes a las ecuaciones propuestas para cada variable.

### 3.5 Cálculos de la ingesta de materia seca (DMI)

Tipo de forraje	% Ingesta de materia seca (DMI)	
	<i>Menor</i>	<i>Mayor</i>
Forraje verde hidropónico	6.749	15.464
Alfalfa en floración temprana	2.791	3.077
Ensilaje de maíz	1.690	2.50
Heno de cebada	1.99	

Tabla 10. Resultados de la ingesta de materia seca.

### 3.6 Cálculos del consumo de agua

Tipo de forraje	Cantidad de agua(l/kg MS)*
Forraje verde hidropónico	2.342
Alfalfa en floración temprana	476.19
Ensilaje de maíz	347.222
Heno de cebada	1,492.537

\*Los valores de consumo de agua de los forrajes que se han considerado son en base a la UEA (uso eficiente del agua) a excepción del FVH.

Tabla 11. Resultados del consumo de agua.

### 3.7 Cálculos del espacio de producción



Tipo de forraje	Rendimiento (kg/m <sup>2</sup> )
Forraje verde hidropónico	4.978
Maíz	0.2756
Cebada	0.3001

Tabla 12. Resultados del espacio empleado para producción.

Tipo de forraje	Costo (\$/kg proteína)
Forraje verde hidropónico	13.09
Alfalfa en floración temprana	25.03
Ensilaje de maíz	64.63
Heno de cebada	21.64

Tabla 13. Resultados costos de producción.

En el Anexo IV se presentan el costo de inversión para la producción de FVH bajo invernadero.

### 3.9 Producción anual

Tipo de forraje	Producción anual (ton MS/m <sup>2</sup> )
Forraje verde hidropónico	0.9085
Alfalfa en floración temprana	0.002
Ensilaje de maíz	0.0024
Heno de cebada	0.0008

Tabla 14. Resultados de producción anual.

### 3.10 Discusión

#### a. Proteínas

Las proteínas se encuentran principalmente en la cubierta seminal y el embrión de la semilla (Hintz, *et al.*, 1987), conforme la planta madura, el porcentaje de proteína va

disminuyendo. Esto concuerda con la tendencia a disminuir que se observa en todas las muestras de FVH realizadas.

En este estado de forraje tierno el crecimiento de la parte aérea y raíces es acelerado, por lo que la planta contiene menos fibra y mayor cantidad de proteína; la proteína está en formación, por lo que los aminoácidos que se encuentran libres son asimilados por los animales con más facilidad.

En el maíz se observa que en el día 8 existe una caída muy baja en la proteína con respecto a los días anteriores (Fig. 8), y también su variabilidad con respecto a los valores máximo y mínimo es menor (Fig. 10). Esto presenta la posibilidad de retirar el forraje al día 8, teniendo mayor cantidad de proteína en el alimento proporcionado.

En la cebada, la proteína declina marcadamente con el paso de los días (Fig. 9). El día 4 es cuando se presenta el contenido mayor de proteína, así como una variabilidad menor (Fig. 11). En este día el producto es germinado de cebada, los valores altos se deben a la cantidad de proteína que contiene el embrión de la semilla.

Hay un decremento promedio del 45.53% de la proteína en las muestras analizadas en un intervalo de tiempo de 12 días, un factor que influye en este decremento es la falta de aplicación de una solución nutritiva, siendo mayor la pérdida de proteína si el FVH no es fertilizado con nitrógeno (FAO, 2001).

#### **b. Materia seca**

Otra variable que presenta un decremento porcentual es la materia seca (Fig. 12 y 13), debido a que el FVH tiene un valor alto de humedad ( $\%MS=100-\%humedad$ ). La importancia de la materia seca reside en que ella se encuentra los nutrientes que contiene el forraje; es decir, la materia seca está compuesta por proteína, cenizas, grasas y los diferentes tipos de fibra. La caída promedio que presenta esta variable es del 34.70% y es incidente en todas las muestras tomadas sin importar el tipo de grano. Esto coincide con la información de literatura, que menciona que los forrajes inmaduros contienen un menor porcentaje de materia seca que los forrajes maduros (Cofré y Velasco, 2009).

La FAO menciona que el ciclo óptimo para cosechar el FVH es al 10° día, ya que ciclos más largos disminuyen la materia seca y la calidad nutricional (FAO, 2001), más un alto porcentaje de materia seca no está relacionado precisamente con un alto porcentaje de nutrientes. Esta diferencia se puede apreciar al comparar el contenido de proteína

en la materia seca en las figuras 5-10. Se observa que el ensilaje de maíz con 71% de materia seca contiene 5% de proteína, por otro lado, el forraje verde hidropónico contiene 7.52% de proteína en 27.96% de materia seca.

### **c. Cenizas**

Otra variable analizada fueron las cenizas, que representan los macro y micro elementos dentro del forraje y son indispensables para el desarrollo y el buen funcionamiento del organismo del animal. Las cenizas no deben ser mayores al 10% (Gallardo, 2009), los resultados obtenidos en el FVH se encuentran dentro de este límite (Fig. 14 y 15). En los resultados presentados, el porcentaje de cenizas tiene una caída promedio del 56.57%, observándose un decremento en todas las muestras analizadas.

### **d. Extracto etéreo**

El extracto etéreo es una variable que también presenta una disminución porcentual del 34%. El valor recomendado del extracto etéreo o lípidos es del 8% (Church, *et al.*, 2004), ya que un porcentaje menor afecta a la digestibilidad del forraje, sin embargo, usualmente las dietas forrajeras contienen alrededor de 1.5% de lípidos. Además, el metabolismo del animal está adaptado a absorber cantidades pequeñas de lípidos, el 3% de la materia seca consumida (Palmquist, 1996).

El decremento en el extracto etéreo (Fig. 16 y 17) significa que la dieta con forraje verde hidropónico deberá complementarse con algún suplemento alimenticio para tener una ingesta mayor de lípidos.

En las muestras analizadas, los lípidos tienen una caída del 35.52%, sin embargo existen valores atípicos principalmente en la primer muestra de cebada (Fig. 17) que provocan que la razón de cambio en esta muestra sea positiva y exista un incremento en la cantidad de extracto etéreo. El día 6 en el maíz y el día 4 en la cebada se presentan los valores más altos para las cenizas, con un promedio de 1.18% y 1.96% respectivamente (Fig. 16 y 17).

### **e. Extracto libre de nitrógeno**

El extracto libre de nitrógeno es uno de los nutrientes más aprovechados por el ganado cuando el forraje es tierno. La tendencia del extracto libre de nitrógeno es disminución de su porcentaje en un 27.69% (Fig. 20 y 21), observándose una caída más fuerte en la cebada (Fig. 21). Este valor está asociado con la proteína, por lo que se asemejan las tendencias.

#### **f. Fibra cruda**

La fibra cruda muestra algunos valores atípicos. Se tiene un decremento promedio del 67.28% en la muestra #2 del maíz (Fig. 22) y muestra #1 de la cebada (Fig.23); las demás tendencias tienen un incremento promedio del 238.08%. Se puede considerar que estas variaciones son provocadas por los cambios de temperatura. Particularmente, existe una variación porcentual muy marcada de la fibra cruda en el día 4 de la cebada, siendo el valor mínimo el que representa un valor atípico en esta variable. (Fig. 23)

#### **g. Fibra detergente ácido**

Otra variable analizada es la Fibra detergente ácido, la digestibilidad del forraje está inversamente correlacionada con el FDA; mientras más tierno sea el forraje, los nutrientes de éste serán más asimilables. En los resultados se presenta una combinación de tendencias (Fig. 24 y 25), presentando valores atípicos principalmente en las muestras #1 del maíz y cebada. Existe un decremento promedio del 76.45% en la muestra #1 del maíz y en ambas muestras de cebada. El incremento promedio se presenta en las muestras restantes de maíz (#2 y 3) y es del 160.49%.

En el FVH la cantidad lignina tiende a aumentar con respecto al contenido de lignina en el grano, indicando una actividad sintética durante el crecimiento de la planta para la formación de estructuras celulares (FAO, 2001).

Aunque la tendencia aumenta con respecto al grano, los porcentajes de fibra detergente ácido en el FVH son bajos con respecto a los valores de FDA de otros forrajes, por lo que se considera que el FVH es un pasto de alta digestibilidad para el ganado, ya que la maduración del forraje produce la lignificación del mismo y por lo tanto, una menor digestibilidad (Gallardo, 2009).

#### **h. Fibra detergente neutro**

La tendencia de disminución de la fibra detergente neutro (Fig. 28 y 29) esto indica que el FVH es un forraje de alto valor nutricional, ya que porcentajes bajos de FDN proporcionan alimento de mayor calidad nutrimental. El FDN está inversamente correlacionado con el consumo de materia seca. (Hoffman, *et al.*, 2009)

La pared celular del FVH (constituyente principal del FDN) tiende a disminuir con el paso del tiempo debido al aumento en el sistema radicular (FAO, 2001). Esta tendencia se refleja en el decremento presentado en las Figuras, teniendo una caída promedio del 30.08%.

La FAO menciona que los días de mayor valor nutricional en el FVH son el 7° y 8°, (FAO, 2001) lo que concuerda con la mayoría de las variables analizada experimentalmente. El día 8 del ciclo representa el día de menor decremento promedio que los otros días. Se considera que los primeros días (0, 4 y 6) el maíz se considera germinado, ya que las raíces y partes aéreas comienzan a surgir.

#### **i. Tablas**

En la tabla 7 (a y b) se muestran las proporciones de nutrientes (en gramos) de cada una de las muestras realizadas y de los forrajes que se emplean para la comparación; considerando que los forrajes de alfalfa en floración temprana, ensilaje de maíz y heno de cebada son muestras de 2,150 grs.

Las diferencias que se encuentran en la tabla son debido a que el cálculo de los nutrientes es en base seca. A pesar de que la alfalfa tiene un alto porcentaje de proteína (alrededor del 16%) la cantidad de materia seca que tiene en floración temprana es muy poca, es decir, al igual que el FVH cuenta con un alto porcentaje de humedad. Opuesto a lo anterior, en el heno de cebada se observa que hay una mayor proporción de proteína debido a que el porcentaje de materia seca de este forraje es muy alto.

En la tabla 8 se presenta la temperatura media registrada para cada uno de los ciclos de muestreo. Esta variación en la temperatura puede significar cambios en la composición química del FVH.

La tabla 9 muestra las ecuaciones de regresión que se obtienen a partir del análisis de los datos obtenidos. Estas ecuaciones pueden ser de utilidad para la obtención de los porcentajes de las variables dependientes. En estas ecuaciones, se observa un mayor

impacto generado por las variables “días” y “tipo de semilla”. Según los resultados, en la mayoría de las variables analizadas no influye el factor temperatura, esto puede ser debido a que la temperatura promedio en el tiempo de análisis fue casi constante.

En la tabla 10 se indican los valores obtenidos de la proporción de ingesta de materia seca que consume el animal ( $DMI=120/\%FDN$ ). A mayor valor porcentual de FDN la ingesta de materia seca es menor.

Si el consumo de materia seca (DMI) es mayor, el consumo de nutrientes se incrementa. Para realizar este análisis se tomaron en cuenta los valores del FDN experimental (FVH) y valores de literatura para la alfalfa en floración temprana, ensilaje de maíz y heno de cebada. Se observa una diferencia marcada entre la ingesta de FVH y los otros forrajes, esto significa el ganado consumirá un valor mayor de materia seca lo que proporciona mayor cantidad de nutrientes.

La tabla 11 presenta el consumo de agua de los tipos de forrajes analizados. Este valor depende del el rendimiento que se obtiene en la cosecha y el porcentaje de materia seca que contiene según el grado de maduración del mismo. El consumo de agua presenta una marcada variación que nos indica que el FVH bajo invernadero es una tecnología eficiente en el uso del agua. Por otro lado, el FVH con su alto contenido de humedad, proporciona agua que es aprovechada por el ganado al momento de su consumo. Este consumo de agua es una de las principales fuentes de agua disponible para el ganado y minimiza la cantidad de agua consumida por el animal (McDonald, *et al.*, 1988).

Son dos principales factores los que influyen entre la variación de agua presentada en el forraje verde hidropónico y los demás forrajes; para la producción de forraje verde hidropónico el riego es automatizado y por estar en un microclima no es necesario regar constantemente. Este ahorro de agua permite ser un sistema eficiente y con una alta producción de forraje (rendimiento) que impacta fuertemente a la producción tradicional, ya que en campo abierto el consumo de agua es mayor y con una menor producción, teniendo que invertir más agua para producir 1 kg de materia seca.

Para el rendimiento del FVH (tabla 12) se considera la producción por metro cuadrado para cada tipo de forraje. En el FVH el rendimiento es mayor debido al espacio utilizado para producción es menor en comparación a la producción a campo abierto y la alta producción obtenida en los ciclos del FVH.

Los costos de producción (tabla 13) se basan en el costo de producir 1 kg de proteína. Este valor se ve afectado por el costo de producción para cada tipo de forraje y el porcentaje de proteína que contiene. El FVH tiene un porcentaje alto de proteína (alrededor del 10%) y un bajo costo (\$13MN/kg proteína) en comparación a otros forrajes, por lo que el costo por kilogramo de proteína es menor. En este costo no se considera la mano de obra, inversión de equipo, labranza de la tierra y otros factores (transportación, costo de cosecha, fertilización).

La alfalfa tiene un alto contenido de proteína, sin embargo, tiene también un alto costo de producción, por lo cual el costo por kilogramo de proteína es mayor que el de FVH. En los casos del ensilaje de maíz y heno de cebada, el costo es menor, sin embargo la cantidad de proteína es muy baja, lo que hace que el costo en este tipo de alimento aumente.

En la tabla 14 se muestra producción anual de los tipos de forraje. Aunque la materia seca contenida en el FVH es menor, la producción anual por metro cuadrado es mayor en el FVH, resultando una mayor producción de materia seca en el FVH.

## CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES

- Las pruebas realizadas permiten evidenciar un patrón de caída en los valores nutricionales del FVH, sin embargo, el valor nutricional del FVH aporta una mayor cantidad de nutrientes con respecto a otros forrajes. Además, la cantidad de biomasa que se obtiene al realizar esta producción (conversión) es mayor y de mejor palatabilidad y aceptación (menor FDA) por el ganado, lo que implica una mayor ingesta de materia (DMI) y por lo tanto una mayor ingesta de nutrientes.
- Contiene mayor cantidad de lípidos (pero menor al 8% recomendado), lo cual mejora la digestibilidad del forraje.
- Después del 6° día la calidad nutricional cae rápidamente debido a la energía que se consume por la planta para poder crecer y desarrollarse.
- A pesar de que la producción de FVH bajo invernadero es eficiente en el consumo de agua (debido a la tecnología empleada), no se considera en este trabajo la cantidad de agua virtual (agua empleada para la producción del grano a campo abierto) lo cual incrementaría la cantidad de agua consumida para esta producción.
- La producción anual de FVH (nivel de producción) es mayor a las producciones de otros forrajes, lo cual permite la obtención de forraje verde durante todo el año independientemente de las condiciones climatológicas y en un espacio menor (120 m<sup>2</sup>) que el utilizado en campo abierto.
- El costo de producción del FVH es menor con respecto a los costos de la alfalfa en floración temprana, el ensilaje de maíz y el heno de cebada, debido a que relaciona el costo de producir un kilogramo de proteína, a pesar de que el FVH tiene un valor proteico menor al de la alfalfa, éste es menos costoso, lo que genera que su costo de producción sea menor. Por otro lado, el ensilaje del maíz y el heno de cebada son cultivos de menor costo debido a la baja calidad proteica que contienen.
- La producción de FVH es una alternativa viable para la producción de forraje fresco durante todo el año.



## CAPÍTULO V. RECOMENDACIONES

- Aún siendo el FVH un forraje considerado de alto valor nutricional con respecto a otros forrajes, es importante realizar una dieta balanceada, ya que contiene un bajo porcentaje de fibra.
- Utilizar una solución nutritiva aplicada a través del riego, puede implicar una menor caída o una mejora en los índices nutricionales con respecto a los valores iniciales en el grano. Esto se debe a que la plántula adsorbería una mayor cantidad de nutrientes y cabe la posibilidad de obtener un mayor volumen de producción y con más nutrientes.
- Es recomendable aplicar esta tecnología para pequeños rumiantes como cabras y borregos, debido a que el ganado vacuno tiene una mayor necesidad de consumo.
- Esta tecnología puede generar una ganadería autosuficiente, en la cual se pueda proporcionar al ganado alimento fresco de buena calidad nutricional y durante todo el año.
- Se debe considerar qué variable tiene más peso al momento de realizar la producción, si la calidad o la cantidad de forraje. Si se desea una mejor calidad nutricional, se puede hacer el ciclo hasta el 6° día, en donde se tiene un valor promedio mayor y una menor variación entre los porcentajes nutricionales. Si se desea una mayor cantidad (volumen) de forraje, se puede realizar el ciclo durante 12 días.
- Se recomienda comenzar el proyecto con una escala entre 80 m<sup>2</sup> y 120 m<sup>2</sup> para tener un mejor control y monitoreo en el invernadero.
- Recomiendo la producción de FVH en invernadero, en base a la buena calidad nutricional que presenta y su eficiencia, ya que se produce en un espacio menor y con menor cantidad de agua.

En el Anexo V se presenta una guía técnica en la cual se mencionan otros puntos importantes a considerar para la producción de FVH en invernadero.

## ANEXO I

### Cronograma de las actividades realizadas en el invernadero

	2008					2009					
	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Registros de temperatura	[Red bar indicating activity from August 2008 to June 2009]										
Medición de riego		[Blue bar]		[Blue bar]		[Blue bar]		[Blue bar]		[Blue bar]	
Muestras de forraje		[Green bar]									[Green bar]

Figura 32. Cronograma de actividades realizadas.

## ANEXO II

Según el Manual Técnico de Forraje Verde Hidropónico de la FAO el procedimiento que se debe seguir para lograr una buena producción de FVH es con inocuidad: (FAO, 2001)

1. Seleccionar la especie y la semilla que es utilizada para este tipo de germinado, como avena, maíz, cebada y trigo.
2. Lavar la semilla con una solución de hipoclorito de sodio al 1% en un litro de agua, con la finalidad de quitar impurezas en el grano. Este proceso tiene una duración entre 30 segundos y tres minutos, para después lavar con agua.
3. Sumergir la semilla en agua durante no más de 24 horas, para que la semilla comience el proceso de imbibición y germinación.
4. Colocar la semilla en las charolas a una densidad de siembra entre 2.2 kg y 3.4 kg por metro cuadrado, y colocar arriba de las semillas papel húmedo y un plástico negro, que les permita mantener una humedad relativa muy alta y acelerar el proceso de germinación.
5. Regar por medio de aspersores o nebulizadores, permitiendo que el forraje obtenga el agua que necesita y no tenga problemas fitosanitarios.
6. FAO recomienda regar el forraje con solución nutritiva para asegurarse que el forraje contenga los nutrientes necesarios para el ganado. La FAO propone una solución nutritiva, pero también se puede utilizar solamente agua (FAO, 2001).

Después de 12 ó 14 días, el forraje estará listo para el consumo del animal, sin embargo, FAO indica que la mayor cantidad de nutrientes está contemplada entre el 7º y 8º día (FAO, 2001).

Es recomendable que la producción de FVH tenga la mayor condición de sanidad posible. Para esto, la semilla debe presentar un alto porcentaje de germinación, arriba del 75% para evitar la pudrición de las semillas restantes. También, se debe de cuidar la iluminación para permitir la fotosíntesis y crecimiento de las plantas, así como la temperatura dentro del invernadero, la cual se sugiere que esté en el rango de 18 a 26°C y una humedad relativa mayor al 90% de ser posible (FAO, 2001).

### ANEXO III

Figuras de ajuste de probabilidad normal para las variables analizadas.

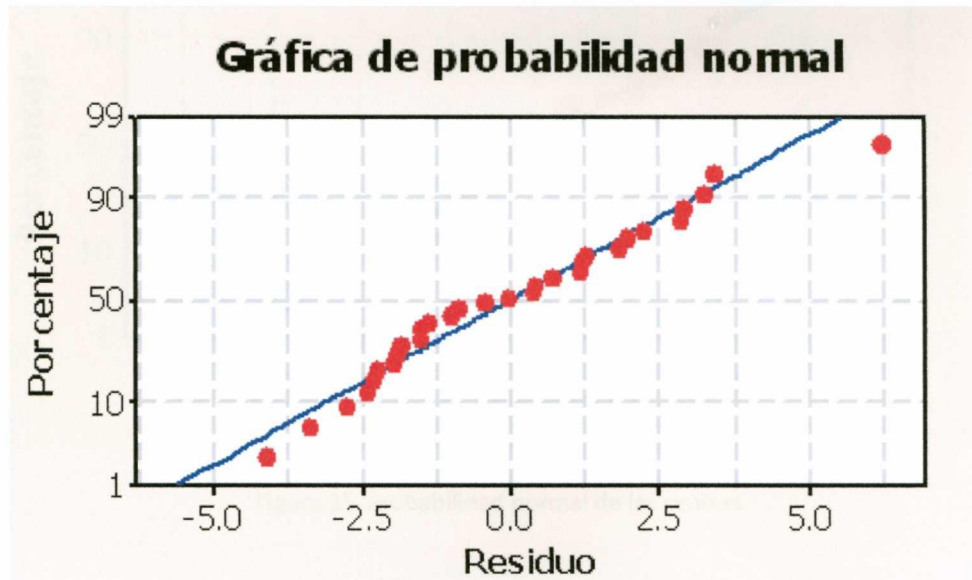


Figura 33. Probabilidad normal de la proteína.

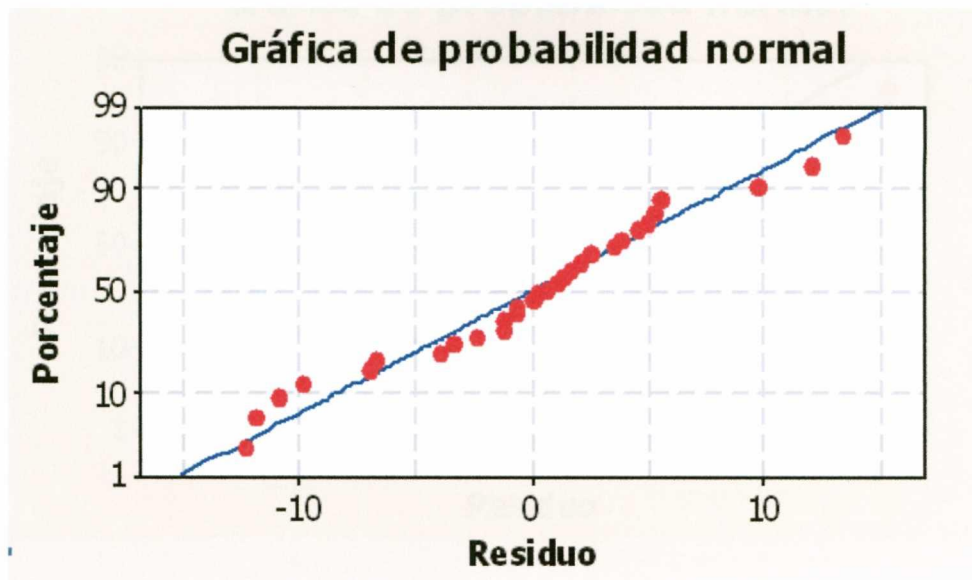


Figura 34. Probabilidad normal de la materia seca.

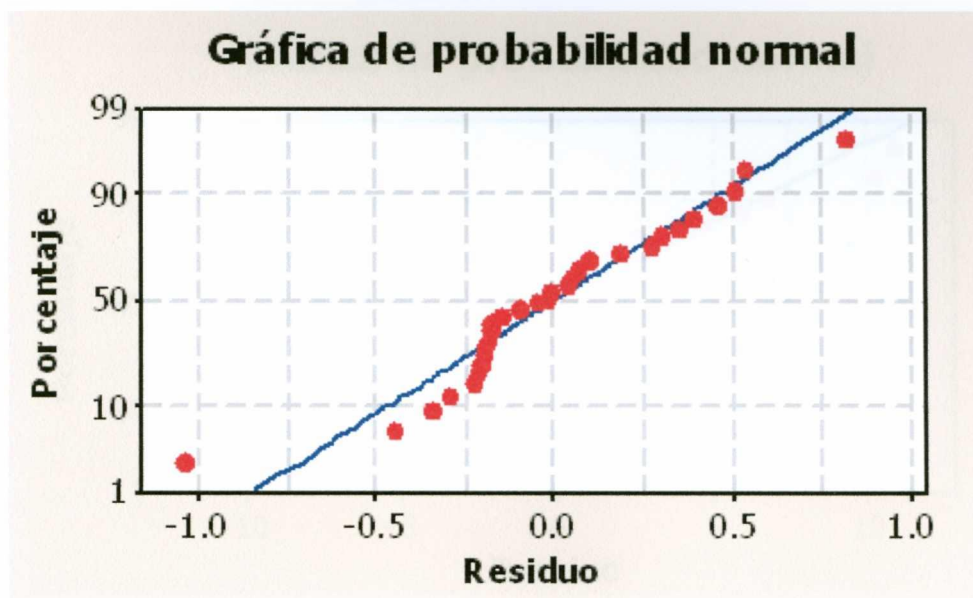


Figura 35. Probabilidad normal de las cenizas.

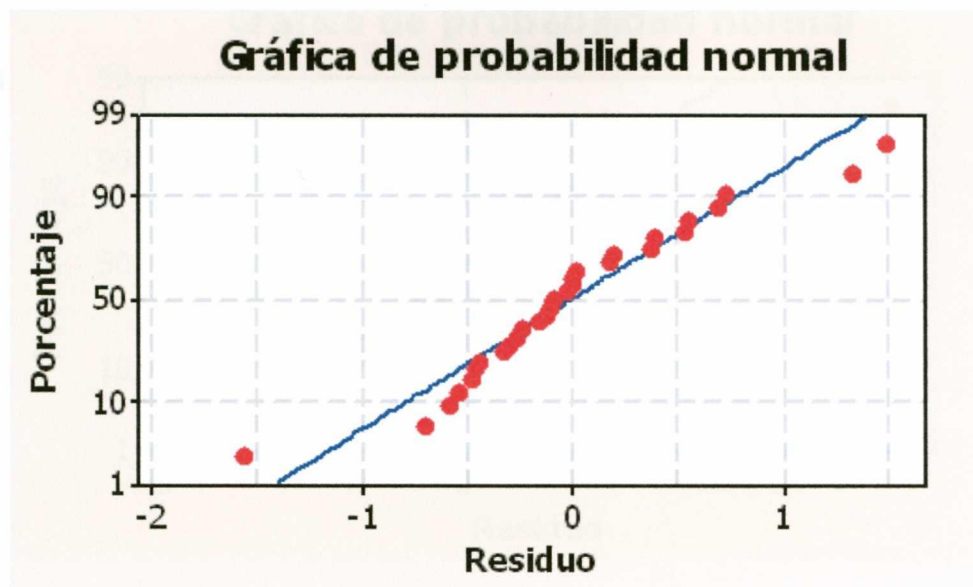


Figura 36. Probabilidad normal del extracto etéreo.

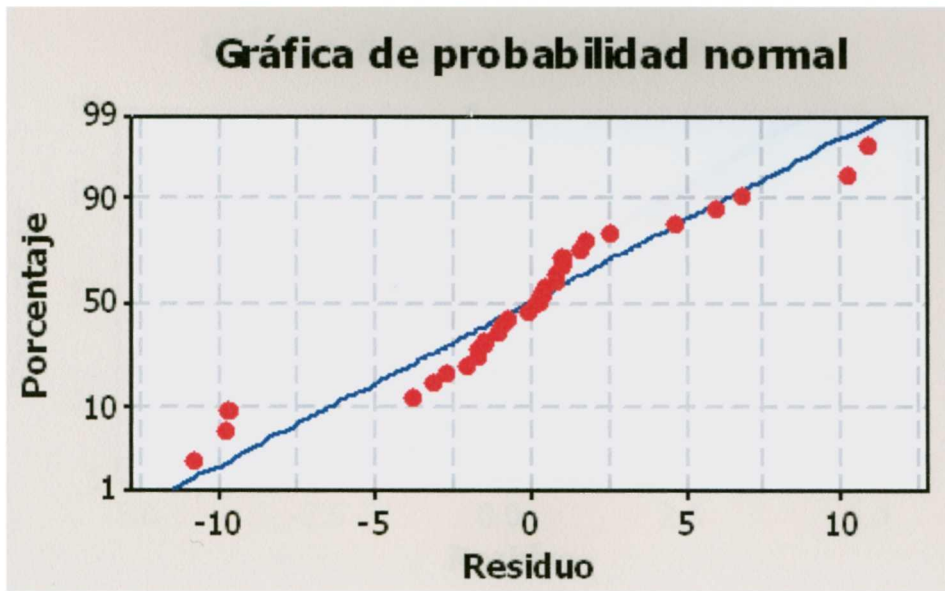


Figura 37. Probabilidad normal del extracto libre de Nitrógeno.

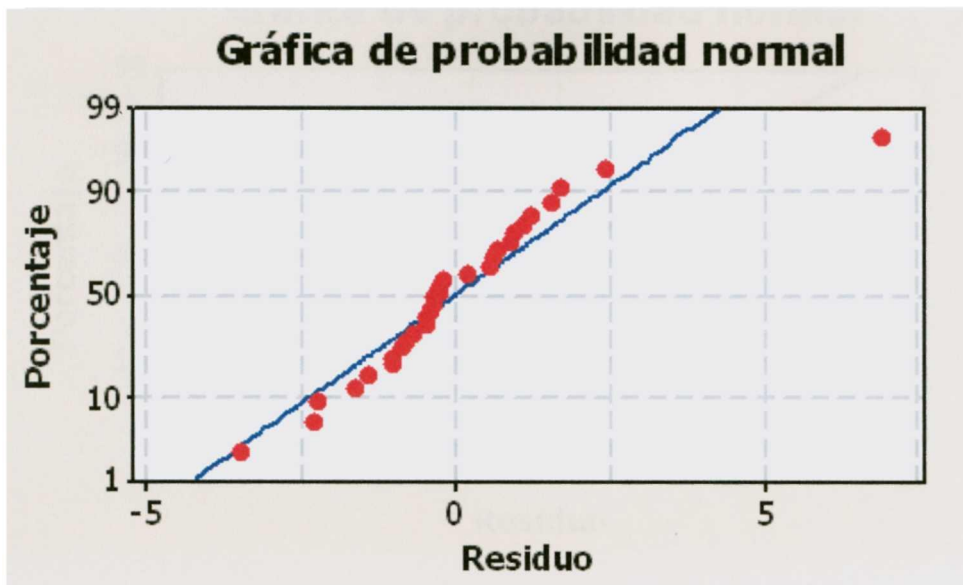


Figura 38. Probabilidad normal de la fibra cruda.

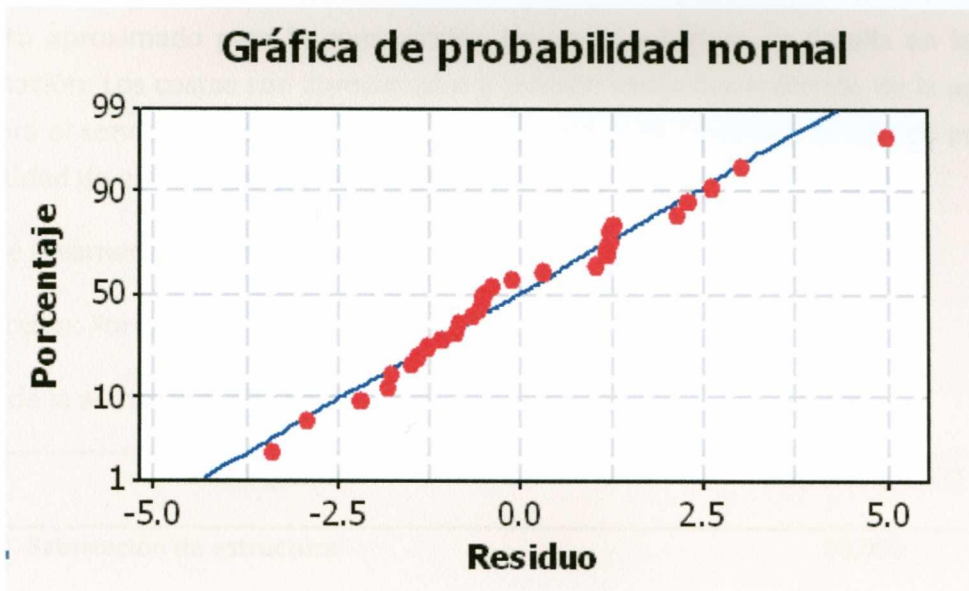


Figura 39. Probabilidad normal de la fibra detergente ácido.

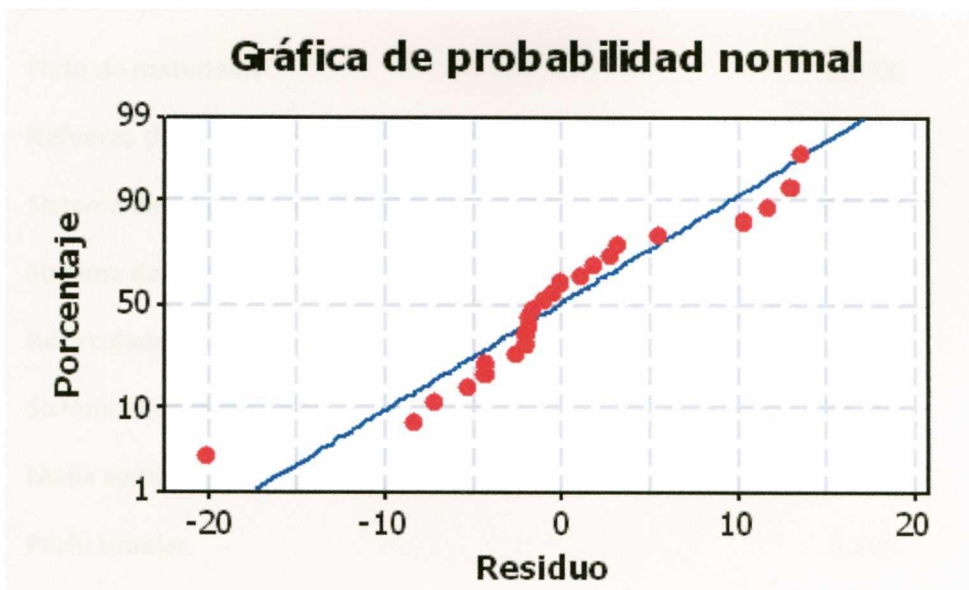


Figura 40. Probabilidad normal de la fibra detergente neutro.

## ANEXO IV

El costo aproximado para la construcción de un invernadero se detalla en la siguiente información. Los costos son aproximados y pueden variar dependiendo de la agencia que realizará el servicio, la zona en donde se elaborará el invernadero, el tipo de estructura y la cantidad de elementos que se incluirán.

Tipo de invernadero: Vertitunel

Producción: Forrajera

Costo de la estructura: \$347,600 MN

Descripción	Importe (\$MN)
Fabricación de estructura	56,000
Polietileno	6,000
Malla para cortinas laterales	2,100
Material para ventila cenital	4,400
Flete de materiales	12,000
Refuerzo diagonal con cable de acero	4,500
Sistema de riego por nebulización	60,000
Sistema de calefacción	16,500
Recirculador	7,600
Sistema de ozonificación	33,700
Malla sombra (95% sombra)	6,300
Perfil tubular	5,200
Charolas de polietileno	53,700
Racks o unidades de producción	55,800
Sistema de fertirriego	23,800

Tabla 15. Inversión estimada para la construcción del invernadero.



Los costos presentados anteriormente son referentes al material empleado para la estructura. Hay un costo adicional con respecto a la dirección técnica para la construcción y la mano de obra para el montaje del invernadero y equipo. El monto de estos servicios está alrededor de \$70,000 MN.

Usualmente también se ofrece el servicio de capacitación para el uso y manejo del invernadero, dicho servicio está alrededor de \$30,000 MN.

## ANEXO V

- El agua de riego que permanece estancada en el suelo y la estructura de fierro (racks) comienzan a generar hongos debido a la alta humedad, lo que provoca problemas fitosanitarios; se recomienda realizar actividades de limpieza para evitar dicha problemática.
- Para considerar la producción de FVH bajo invernadero es importante contar con el ganado al que se le alimentará con dicho forraje, ya que el FVH se suministra en verde, y con el paso de los días se pierde la humedad y también nutrientes por medio de la volatilización.
- La calidad de la semilla que se utiliza para la producción de FVH debe ser con alto porcentaje de germinación, mayor al 75% (FAO, 2001) lo que incrementa el costo de la producción.
- Emplear una solución desinfectante al ingresar al invernadero evita la contaminación del microclima.
- Al detectar problemas fitosanitarios (hongos y semilla no germinada) en el forraje, retirar la parte contaminada en una bolsa de plástico sellada para evitar la dispersión del hongo y llevarlo fuera del invernadero.
- Para evitar que el forraje se queme debido a la exposición del sol, es necesario contar con una malla sombra y de preferencia hacer rotación en las charolas. Usualmente el forraje que se encuentra en la parte superior de los racks sufre quemaduras o no alcanza a desarrollarse como las charolas que se encuentran en la parte inferior debido a la exposición del sol.
- Otra recomendación para el punto anterior es colocar charolas vacías en el nivel más alto del rack, para disminuir la cantidad de luz solar a los niveles inferiores.
- Revisar constantemente los aspersores debido a que el orificio se satura por las sales del agua de riego, obstruyendo el riego o la uniformidad de la aspersión.
- Principalmente, los problemas que se observan dentro de un invernadero que produce FVH es la falta de uniformidad del riego, provocando pudrición de las semillas y hongos. Además, la alta humedad relativa (85% o más) presente en el invernadero incrementa la posibilidad de dispersión de hongos.
- Se requiere de mano de obra diaria para efectuar las actividades que se llevan a cabo dentro y fuera del invernadero ya que hay una constante entrada grano para germinar y salida de FVH.

- La limpieza del invernadero es otro factor importante. Debido a la alta humedad relativa y al constante riego, los racks o unidades de producción pueden generar moho, lavar las unidades y el piso con una solución con cloro puede evitar la exposición del forraje a esta posible contaminación.
- Otro problema que se puede enfrentar al tener un invernadero para producción de FVH son las ratas, las cuales perforan el plástico del invernadero para ingresar y comer la semilla.
- Es recomendable delimitar la zona del invernadero. Se pueden colocar estacas alrededor de la zona del invernadero con alambre de púas para evitar que el ganado destruya el invernadero.
- Programar y modificar el sistema de riego es de suma importancia. En primavera y verano es necesario que se efectúe un riego adicional, ya que el calor puede quemar las plantas.
- Durante estas mismas épocas es recomendable abrir las ventanas (laterales y cenital) para que el viento entre al invernadero y evite altas temperaturas dentro del mismo.
- El cuidado y monitoreo diario del FVH es importante para lograr una alta producción y los mejores rendimientos nutricionales.

## Literatura Citada

- Anónimo1. "La vida de la plantas". Fecha de acceso: Junio, 2009. Disponible en: <http://iescarin.educa.aragon.es/depart/biogeo/varios/BiologiaCurtis>
- Basra, A. "Handbook of seed science and technology". Food Products Press. Año 2006.
- Bewley, D. & Black, M. "Seeds. Physiology of development and germination". Plenum Press. Año 1985.
- Blum, W. *et al.* "Methods for assessment of soil degradation". CRC Press. Año 1997.
- Brown, L. "Livestock watering requirements". British Columbia. Ministry of Agriculture and Lands. Enero de 2006.
- Carballo, C. *et al.* "Manual de procedimientos para la producción de forraje verde hidropónico para la alimentación animal". Academia de forrajes. Universidad Autónoma de Sinaloa. Marzo de 2005.
- Centro Virtual de Información del Agua (Agua.org.mx). Centro virtual de información del agua. "La hidroponía entenderla para romper mitos". Disponible en: <http://www.agua.org.mx/content/view/7332/97/> Fecha de acceso: Mayo, 2009.
- Chong, C. *et al.* "Germination and Emergence" Handbook of plant and crop physiology. Marcel Dekker, Inc. Año 1995.
- Church, D. *et al.* "Fundamentos de nutrición y alimentación de animales". Segunda edición. Limusa Wiley. Año 2004.
- Cobio, C. Tesis: "Composición química y digestibilidad de la materia seca de pastos nativos colectados en General Terán, Nuevo León". Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Ciencias Biológicas. Agosto de 2004.
- Cofré, P. y Velasco, R. "Forrajeras: calidad y costo de producción". Investigación INIA. Noviembre, 2009.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). "Estadísticas del agua en México". Junio, 2005.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). "Estadísticas del agua en México". Junio, 2007.

- De Santa Olalla, F. *et al.* "Agricultura y desertificación". Mundi Prensa. Año 2001.
- Flores, J. "Manual de la alimentación animal". Ediciones Ciencia y Técnica, S.A. Año 1986.
- Food and Agriculture Organization (FAO). Oficina Regional de la FAO para América Latina y El Caribe. "Manual Técnico de Forraje Verde Hidropónico". Año 2001. Disponible en: <http://www.rlc.fao.org/prior/segalim/forraje.htm>
- Food and Agriculture Organization (FAO). "El estado mundial de la alimentación y la agricultura". Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/003/t0800s/t0800s09.htm> Fecha de acceso: Mayo, 2009.
- Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal (FEDNA). "Tablas de forrajes". Disponible en: <http://www.etsia.upm.es/fedna/introtabla.htm> Fecha de acceso: Enero, 2009.
- Gallardo, M. "El valor de los alimentos". Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Estación experimental Rafaela. Disponible en: [http://www.inta.gov.ar/rafaela/info/documentos/nutricion/nutricion\\_valordealimentos.htm](http://www.inta.gov.ar/rafaela/info/documentos/nutricion/nutricion_valordealimentos.htm) Fecha de acceso: Enero, 2009.
- Harvey, B. y Oaks, A. "The hydrolysis of endosperm protein in *Zea mays L.*". Department of Biology, McMaster University. Hamilton, Ontario, Canadá. Año 1973.
- Hintz, H. *et al.* "Ganadería. Guía para la reproducción, nutrición, cría y mejora del ganado". McGraw-Hill. Año 1987.
- Hoekstra, A. y Chapagain A. "Water footprints of nations: water use by people as a function of their consumption pattern". Springer Science. Año 2005.
- Hoffman, P. *et al.* "El efecto de la madurez en la digestibilidad del FDN (Fibra Detergente Neutro)". Focus on Forage. University of Wisconsin-Madison. Año 2007. Disponible en: <http://www.uwex.edu/ces/crops/uwforage/MaturityNDFesp-FOF.pdf>

Hoffman, P. *et al.* "Understanding NDF digestibility". Focus on Forage. University of Wisconsin-Madison. Fecha de acceso: Junio, 2009. Disponible en: <http://www.uwex.edu/ces/crops/uwforage/NDFDig.html#home>

Hoffman, P. "Ash content of forages". Focus on Forage. University of Wisconsin-Madison. Fecha de acceso: Junio, 2009. Disponible en: <http://www.uwex.edu/ces/crops/uwforage/Ash05-FOF.htm>

Ingle, J. *et al.* "Metabolic changes associated with the germination of Corn I. Changes in weight and metabolites and their redistribution in the embryo axis, scutellum, and endosperm". Agronomy Department, University of Illinois. Urbana Illinois. Año 1963.

Iniciativa Mexicana de Aprendizaje para la Conservación (IMAC). "Ganadería". Disponible en: <http://www.imacmexico.org/documentos/IAC14%20GANADERIA.pdf> Fecha de acceso: Junio, 2008.

Instituto Nacional de Ecología (INE). "Calidad del Suelo". Disponible en: <http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/312/suelopres.html> Fecha de acceso: Junio, 2008.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Información geoFigura de Coahuila de Zaragoza. Fecha de acceso: Junio, 2009. Disponible en: [http://mapserver.inegi.gob.mx/geografia/espanol/estados/coa/climas\\_map.cfm](http://mapserver.inegi.gob.mx/geografia/espanol/estados/coa/climas_map.cfm)

Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal (INAFED), Gobierno del Estado de Coahuila "Enciclopedia de los municipios de México. Estado de Coahuila". Año 2005. Disponible en: <http://www.elocal.gob.mx/work/templates/enciclo/coahuila/mpios/05004a.htm>

Jiménez, A. "La producción de forrajes en México." Universidad Autónoma de Chapingo. Año 1989.

Juscafresa, B. "Forrajes, fertilizantes y su valor nutritivo". Editia Mexicana. Septiembre, 1983.

- Leubner-Metzger, G. *et al.* "Emerging and established model systems for endosperm weakening". *Seeds: biology, development and ecology*. CAB International. Año 2007.
- López-Aguilar, R. *et al.* "El Forraje Verde Hidropónico (FVH): una alternativa de producción de alimento para el ganado en zonas áridas". Disponible en: [http://www.interciencia.org/v34\\_02/121.pdf](http://www.interciencia.org/v34_02/121.pdf) Fecha de acceso: Noviembre, 2009.
- Madore, M. "Phloem transport of solutes in crop plants" *Handbook of plant and crop physiology*. Marcel Dekker, Inc. Año 1995.
- Mayer, A. y Poljakoff-Mayber, A. "The germination of seeds". Pergamon Press. Año 1989.
- McDonald, P. *et al.* "Animal Nutrition". Cuarta edición. Longman Scientific & Technical. Año 1988.
- Meyer, D. y Zwinger, S. "Barley hay quality at Carrington". Disponible en: <http://www.ag.ndsu.nodak.edu/plantsci/forage/bh%2006%20carr.htm>  
Fecha de acceso: Noviembre, 2009.
- National Research Council (U.S.). Subcommittee on Feed Composition. "United States-Canadian tables of feed composition: nutritional data for United States and Canadian feeds". National Academy of Sciences. Año 1972
- Organization for Economic Co-operation and Development (OECD). "The price of water. Trends in OECD countries". OECD Publications. Año 1999.
- Osuna, O. "La problemática de la ganadería en México". Disponible en: [http://www.congresosinaloa.gob.mx/ediciones/revista16/pdf/24\\_apuntes\\_othon.pdf](http://www.congresosinaloa.gob.mx/ediciones/revista16/pdf/24_apuntes_othon.pdf)  
Fecha de acceso: Mayo, 2009.
- Palmquist, D. "Utilización de lípidos en dietas de rumiantes". Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal (FEDNA). Disponible en: <http://www.etsia.upm.es/fedna/capitulos/96capituloIII.pdf> Año 1996.
- Resh, H. "Cultivos Hidropónicos. Nuevas técnicas de producción". Ediciones Mundi-Prensa. Año 2001.

- Sauvant, D. *et al.* "Tablas de composición y de valor nutritivo de las materias primas destinadas a los animales de interés ganadero: cerdos, aves, bovinos, ovinos, caprinos, conejos, caballos y peces" Mundi-Prensa. Año 2003.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). Disponible en: <http://www.semarnat.gob.mx/informacionambiental/Pages/index-sniarn.aspx>  
Fecha de acceso: Junio, 2008
- Shepherd, S. *et al.* "A model of seed dormancy in wild oats (*Avena fatua*) for investigating genotype x environment interactions". *Seeds: biology, development and ecology*. CAB International. Año 2007.
- Tamminga, S. & Chen, X. "Animal-based techniques for the estimation of protein value of forages". *Forage evaluation in ruminant nutrition*.
- Tarrillo, H. "Forraje verde hidropónico de alta calidad, para la alimentación animal".  
Fecha de acceso: Septiembre, 2006.
- Van Soest, P. "Nutritional ecology of the ruminant". Second edition. Cornell University Press. Año 1994.
- Villegas, G. *et al.* "La ganadería en México". Plaza y Valdes Editores. Julio, 2001.
- Weaver, R. "Reguladores del crecimiento de las plantas en la agricultura". Editorial Trillas. Séptima reimpresión. Noviembre, 1990.



Tecnológico de Monterrey, Campus Monterrey



**30002007324908**

<http://biblioteca.mty.itesm.mx>