

DIVISIÓN CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD
MAESTRÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS

Rendimiento, composición química y energía
metabolizable del forraje hidropónico
de maíz (*Zea mays*)

T E S I S

(IDÓNEA COMUNICACIÓN DE RESULTADOS)
QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS

PRESENTA

ING. DAVID SAÚL REYES RAMÍREZ

COMITÉ TUTORAL:

DIRECTOR: DR. JAVIER OLIVARES OROZCO

ASESOR: DR. RICARDO AMÉNDOLA MASSIOTI

ASESOR: DR. IRINEO LÓPEZ CRUZ

MÉXICO DICIEMBRE 2011

ÍNDICE GENERAL

	Página
CONTENIDO	
ÍNDICE DE CUADROS	i
ÍNDICE DE FIGURAS	iii
RESUMEN	iv
SUMMARY	v
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVO GENERAL	3
III. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
IV. HIPÓTESIS	4
V. REVISIÓN DE LITERATURA	5
5.1 Los forrajes como recursos estratégicos en la producción animal	5
5.2 El maíz como recurso forrajero	6
5.3 Generalidades de la Hidroponía	7
5.4 Antecedente de la producción del forraje verde hidropónico	8
5.5 Componentes del sistema de producción de forraje verde hidropónico	9
5.5.1 Instalaciones	9
5.5.2 Semilla	9
5.5.3 Solución nutritiva	10
5.5.4 Charolas	10
5.5.5 Sistema de riego	11
5.5.6 Drenaje	11
5.6 Especies utilizadas	12
5.7 Composición química de los forrajes	12
5.8 Valor nutricional del forraje verde hidropónico	15
5.8.1 Ventajas nutricionales de los forrajes hidropónicos	16
VI. MATERIALES Y MÉTODOS	18
6.1 Localización	18
6.2 Materiales experimentales	19
6.3 Procedimiento de producción	19
6.4 Muestreo	24
6.5 Análisis químico del forraje verde hidropónico	25
6.5.1 Materia seca	25
6.5.2 Determinación de Cenizas	25
6.5.3 Determinación de Proteína Cruda (PC)	26
6.5.4 Determinación de Fibra Detergente Neutro (FDN)	26
6.5.5 Determinación de Fibra Detergente Ácido (FDA)	26
6.5.6 Determinación de Energía Metabolizable (EM)	27
6.6 Diseño experimental	27
VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	29
7.1 Análisis de varianza	29
7.2 Peso fresco	30
7.3 Rendimiento de forraje	32
7.4 Contenido de materia seca	33
7.5 Contenido de proteína cruda	35
7.6 Contenido de cenizas	36
7.7 Contenido de fibra	38
7.8 Rendimiento de nutrientes	40
7.8.1 Energía metabolizable	41

7.8.2 rendimiento de proteína	42
VIII. CONCLUSIONES	44
IX. LITERATURA CITADA	45

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Título	Página
Cuadro 1.	Fuentes de macronutrientes para preparar 1500 l de solución nutritiva utilizada en el experimento	23
Cuadro 2.	Fuentes para preparar 1 l de solución concentrada de micronutrientes	23
Cuadro 3.	Distribución de muestreo en los días después de la siembra	24
Cuadro 4.	Resultado del análisis de varianza, probabilidad de efectos de época (EPO), bloque (BLO), estrato (EST), variedad (VAR), día de cosecha (DIA) y sus interacciones	29
Cuadro 5.	Efecto de variedad y edad (días entre cosecha y siembra) y su interacción sobre el rendimiento en fresco (Kg/m ² charola) de forraje verde hidropónico de maíz	30
Cuadro 6.	Efecto de la época sobre el rendimiento de peso fresco. (Kg/m ² charola) de forraje verde hidropónico de maíz	31
Cuadro 7.	Efecto de la época del año sobre el rendimiento en peso seco de forraje hidropónico de maíz	32
Cuadro 8.	Efecto del intervalo siembra-cosecha (días) sobre el rendimiento en peso seco de forraje hidropónico de maíz	33
Cuadro 9.	Efecto de la variedad sobre el contenido de materia seca de forraje hidropónico de maíz.	33
Cuadro 10.	Efecto del intervalo siembra-cosecha (días) sobre el contenido de materia seca de forraje hidropónico de maíz	34
Cuadro 11.	Efecto de variedad e intervalo siembra-cosecha (días) y su interacción sobre el contenido de proteína cruda (% de la materia seca) de forraje verde hidropónico de maíz	36
Cuadro 12.	Efecto de variedad y edad (días entre cosecha y siembra) y su interacción sobre el contenido de cenizas (% de la MS) de forraje verde hidropónico de maíz	37
Cuadro 13.	Efecto de la época del año en el contenido de cenizas	38

Cuadro 14.	Efecto de variedad y edad (días entre siembra y cosecha) y su interacción sobre el contenido de fibra detergente ácido (% de la materia seca) de forraje verde hidropónico de maíz	39
Cuadro 15.	Resultado del análisis de varianza, probabilidad de efectos de época (EPO), bloque (BLO), estrato (EST), variedad (VAR), día de cosecha (DIA) y sus interacciones sobre los rendimientos calculados de proteína y energía	40
Cuadro 16.	Efecto de intervalo siembra cosecha (en días) sobre el rendimiento en energía metabolizable (Mcal EM m ⁻²) y proteína (g PC m ⁻²)	43

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Título	Página
Figura 1	Componentes químicos de los alimentos	13
Figura 2	Invernadero equipado con, estantería, charolas de producción, sistema de riego, y sensores para Humedad, Temperatura y concentración de CO ₂ .	18
Figura 3	Desinfección de las semillas en hipoclorito de sodio al 2%.	20
Figura 4	Enjuagado de las semillas para eliminar el hipoclorito de sodio al 2%.	20
Figura 5	Proceso de pregerminación de las semillas.	21
Figura 6	Distribución de las charolas dentro del invernadero, ubicación por modulo de estantería y por nivel de estante	21
Figura 7	Semillas cubiertas con papel húmedo	22
Figura 8	Semillas con 80% de germinación.	22
Figura 9	Procedimiento de muestreo con cuadro de 26.5 X 36	24
Figura 10	Evolución del contenido de fibra detergente neutro en forraje hidropónico de maíz. Medias con distinto literal son diferentes (P<0.01)	38
Figura 11	Evolución del contenido de energía metabolizable (Mcal EM/kg MS) de forraje verde hidropónico de maíz	42
Figura 12	Efecto de intervalo siembra cosecha (en días) sobre el rendimiento en energía metabolizable (Mcal EM m ⁻²) y proteína (g PC m ⁻²) de forraje verde hidropónico de maíz; a,b,c: medias con un mismo literal no difieren (p≥0.05); x, y, z: medias con un mismo literal no difieren (p≥0.05).	43

SUMMARY

Yield, chemical composition and metabolizable energy of maize hydroponic forage (*Zea mays*)

The study was aimed at measuring yield and chemical composition of hydroponic forage of two maize genotypes, the hybrid San José and the local variety Huamantla. The experiment was carried out during 30 days in winter and in spring and considering three positions of trays in the greenhouse; samples were taken at 6, 12, 18, 24, and 30 days after sowing. Measurements included fresh and dry weight, dry matter content, and contents of ashes, protein, neutral and acid detergent fiber; yields of protein and metabolizable energy were calculated. Fresh and dry matter yields were higher in spring than in winter and with San José than with Huamantla. With longer sowing-harvest intervals, yields in fresh weight were higher; yields in dry matter became lower between day 6 and day 18, and thereafter remained constant. Increasing sowing-harvest intervals reduced contents and yields of metabolizable energy, and increased protein content; protein yield remained constant until day 18, and increased thereafter.

Key words: Hydroponic, dry matter, neutral detergent fiber, acid detergent fiber, protein, energy.

RESUMEN

Rendimiento, composición química y energía metabolizable del forraje hidropónico de maíz (*Zea mays*)

El objetivo de este trabajo fue determinar rendimiento y composición química de forraje hidropónico de dos genotipos de maíz, el híbrido San José y la variedad regional Huamantla. El experimento se realizó durante 30 días en invierno y en primavera, con tres posiciones de los estantes en el invernadero; se tomaron muestras a los 6, 12, 18, 24 y 30 días después de la siembra. Se midieron rendimiento en peso fresco y seco, contenido de materia seca, cenizas, proteína, fibra detergente neutro y fibra detergente ácido y se calcularon rendimientos en proteína y energía metabolizable. Los rendimientos en peso fresco y peso seco fueron mayores en primavera que en invierno y los de San José superaron a los de Huamantla. Al aumentar el intervalo siembra-cosecha aumentó el rendimiento en peso fresco, pero el rendimiento en peso seco disminuyó hasta 18 días después de la siembra y disminuyeron el contenido y rendimiento de energía metabolizable; el contenido de proteína aumentó desde el inicio y el rendimiento de proteína aumentó a partir de 18 días después de la siembra.

Palabras clave: Hidroponía, materia seca, fibra detergente neutro, fibra detergente ácido, proteína, energía.

I. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de producción de rumiantes sustentan su alimentación en los forrajes, elemento que es considerado como el insumo de menor costo, a través del cual es posible suplir gran parte de las demandas nutricionales de los animales en producción (Fumagalli y Kunt, 2002).

En México la estacionalidad de las lluvias y de las temperaturas es un evidente problema para la producción ganadera, ya que estas condiciones climáticas son comunes en la mayor parte del territorio mexicano, y son responsables de definir una temporada de escasez de forraje. Muchas veces, especialmente en el caso de los pequeños y medianos productores, no se cuenta con suficientes reservas de forraje, heno o ensilados que permitan prevenir pérdidas productivas (abortos, pérdidas de peso, problemas de fertilidad).

No obstante, con estas limitaciones la creciente demanda de productos agropecuarios, ha ocasionado que la ganadería haya sido introducida a ecosistemas frágiles, susceptibles a la degradación, en donde es improbable mantener altos rendimientos de manera sostenible para intentar satisfacer las necesidades (Cassman, 1999; Young, 1999). En los últimos años, la actividad agropecuaria en estas zonas se ha incrementado notablemente. Sin embargo, su expansión ha tenido lugar sin el debido control ecológico, y las tecnologías comúnmente utilizadas no son las más apropiadas, provocando problemas de contaminación de suelos y mantos acuíferos (Endo *et al.*, 2000).

Considerando el punto anterior, el forraje verde hidropónico puede constituirse en una opción alternativa a los métodos convencionales de producción de forraje que contribuya a una actividad agropecuaria sostenible. La producción de forraje verde hidropónico, es una tecnología de desarrollo de biomasa vegetal derivada a partir del crecimiento inicial de plántulas en los estados de germinación y crecimiento temprano, utilizando semillas con una alta tasa de germinación para producir un forraje vivo de alta digestibilidad y calidad nutricional, apto para la alimentación de animales (FAO, 2001). No obstante, las ventajas que presenta el forraje verde hidropónico, en comparación con otras técnicas de producción de alimento para el ganado, persisten aún dudas y falta de conocimientos sobre la metodología apropiada y la calidad del alimento producido. En el presente estudio, se evalúa el rendimiento de forraje verde hidropónico de maíz, así como las características nutricionales del forraje cosechado a diferentes intervalos de tiempo.

II OBJETIVO GENERAL

- Determinar el rendimiento y la composición química del forraje verde hidropónico de maíz con diferentes intervalos de tiempo entre siembra y cosecha.

III. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar rendimiento del forraje verde hidropónico de maíz en peso fresco y materia seca.
- Determinar la composición química (Materia Seca, Proteína Cruda, Fibra Detergente Neutro, Fibra Detergente Ácido y Cenizas) del forraje verde hidropónico de maíz a los días 6, 12, 18, 24 y 30 después de la siembra, en invierno y primavera.
- Estimar el contenido de energía metabolizable del forraje verde hidropónico de maíz, para los días 6, 12, 18, 24 y 30 después de la siembra, en invierno y primavera
- Evaluar la producción de peso fresco, materia seca, energía metabolizable, proteína cruda y cenizas de dos cultivares de maíz en un sistema de producción de forraje verde hidropónico.

IV. HIPÓTESIS

- El rendimiento del forraje verde hidropónico, es mayor durante la primavera que durante el invierno.
- La ubicación de las plantas dentro del invernadero, y en los diferentes niveles de la estantería, no tiene efecto sobre el rendimiento.
- La estación del año no afecta la composición química del forraje verde hidropónico.
- La edad de la planta afecta la composición química del forraje verde hidropónico.
- La ubicación de las plantas dentro del invernadero, y en los diferentes niveles de la estantería no afecta la composición química de éstas.

V. REVISIÓN DE LITERATURA

5.1 Los forrajes como recurso estratégico en la producción animal

Los forrajes son uno de los principales recursos alimenticios para la nutrición de rumiantes, ya que estos suministran parte de la energía, proteína, vitaminas, minerales y fibra, que son esenciales para la producción animal. Sin embargo, comparados con los granos de cereales y leguminosas, la calidad nutritiva de los diferentes forrajes cambia de acuerdo a diversos factores, incluyendo la época de cosecha, edad, tipo, variedad, clima y manejo del cultivo (Carballido, 2006).

En el contexto internacional, los cultivos forrajeros son importantes como alimento para los animales, ya que proporcionan productos con elevados contenidos de proteína; de esta manera, se entiende a los cultivos forrajeros, como la materia prima para obtener proteína de origen animal.

El Forage and Grazing Terminology Committee (1991), define el concepto de forraje, como toda parte comestible de una planta, distinta al grano separado, que puede proveer alimento a los animales, ya sea mediante el pastoreo o que sea cosechado para su alimentación.

Barnes y Baylor (1995), explican que el concepto de forraje incluye hierbas, henos, pajas, ensilados, o las partes comestibles de los arbustos y de los árboles. Esta definición, deja fuera algunas alternativas consideradas actualmente como forrajes, debido a que la producción animal intensiva ha incluido como alimento a las llamadas mezclas, en las que el forraje interviene en una proporción

importante, así como a los germinados de gramíneas y leguminosas llamados forrajes verdes hidropónicos.

5.2 El Maíz como recurso forrajero

El maíz (*Zea mays*) es el cultivo más empleado como fuente de forraje en la alimentación de rumiantes, debido a su alto rendimiento de biomasa aérea (Castillo, 2009).

El maíz se encuentra en prácticamente todo el territorio nacional, gracias a su gran capacidad de adaptación, su cultivo se da desde regiones situadas al nivel del mar, hasta la altitud de 3200 msnm, en suelos y climas muy variables por la gran cantidad de variedades adaptadas a cada región (Montalvo, 2005).

El rendimiento de la planta y el grano, tuvieron un aumento en el mercado en las últimas décadas. En los programas de selección para el rendimiento del grano, se muestran efectos indirectos en el aprovechamiento del forraje, teniendo una tendencia hacia un mayor índice de cosecha (Aguilar y De la Torre, 2000).

El maíz como forraje es de gran utilidad en la producción animal, ya que es considerado como un forraje de emergencia para los animales, por el uso potencial que tiene para la elaboración de ensilados (Aguilar y De la Torre, 2000).

El forraje de maíz (*Zea mays*) hidropónico es una novedosa alternativa en la alimentación animal, conformado por plántulas (raíces, hojas y tallos) de 18 días de edad, 25 a 30 cm. de altura, con un alto contenido de proteínas, vitaminas y minerales (Flores *et al.*, 2004)

5.3 Generalidades de la hidroponía

La hidroponía es una palabra compuesta que proviene del griego y se deriva de Hydro (agua) y Ponos (labor o trabajo), lo que significa trabajo en agua. Es una ciencia que estudia los cultivos sin suelo (Estrada y Romero, 2003).

Sánchez (1988) define a la hidroponía como un sistema de producción en el que las raíces de las plantas se riegan con una mezcla de elementos nutritivos esenciales disueltos en agua, y en el que en lugar de suelo se utiliza como sustrato un material inerte, o simplemente la misma solución.

Hernández (2007) menciona que la hidroponía no es una técnica moderna, sino ancestral; en la antigüedad hubo culturas y civilizaciones que la utilizaron. Por ejemplo, es poco conocido que los aztecas cultivaban su maíz en barcos o barcasas con un entramado de pajas.

El conocimiento que hoy se tiene de la hidroponía es el resultado del trabajo de muchos investigadores. Las bases para el surgimiento de la hidroponía, se fijaron por Saks en 1860 y Knops (1861- 1865), estos autores publican las primeras fórmulas de soluciones nutritivas a partir de las cuales se han desarrollado muchas más. Gericke fue al primero en desarrollar exitosamente un sistema comercial de cultivo hidropónico; con este trabajo surge el término hidroponía. Ya para 1938 la hidroponía tanto a nivel comercial como en programas de investigación tenía un gran desarrollo. En la actualidad, se considera a la hidroponía como una rama de la agronomía que está en expansión (Sánchez, 1988)

La hidroponía es una ciencia joven, no obstante ha podido adaptarse a diversas situaciones, desde los cultivos a campo abierto y en invernaderos altamente

especializados. (Resh, 2001).

5.4 Antecedente de la producción del forraje verde hidropónico

El forraje verde hidropónico, es una tecnología de producción de biomasa vegetal de alta sanidad y calidad nutricional, obtenida del crecimiento inicial de las plantas en los estados de germinación y crecimiento temprano de plántulas a partir de semillas viables. Su producción es muy rápida, en cualquier época del año y en cualquier localidad geográfica, siempre y cuando se cuente con las condiciones mínimas necesarias para ello. La tecnología del forraje verde hidropónico, es complementaria y no compite con a la producción convencional de forraje. Las plantas crecen capturando la energía del sol y asimilando los minerales de una solución nutritiva. (FAO, 2001)

La producción del forraje verde hidropónico se remonta al siglo XVII cuando el científico Irlandés Robert Boyle (1627-1691) realizó los primeros experimentos de cultivos en agua. Pocos años después, John Woodward produjo germinados de granos utilizando aguas de diferentes orígenes y comparó diferentes concentraciones de nutrientes para el riego de los granos, así como diferentes variedades de forraje (Huterwal, 1960; Ñíguez, 1988; ambos citados por FAO, 2001).

El uso de esta tecnología en la producción de forraje hidropónico, tiene su importancia en la gran flexibilidad del sistema, ya que puede ser aplicado en muy variadas condiciones (Estrada y Romero, 2003)

Dentro del contexto anterior, el forraje verde hidropónico representa una alternativa de producción de forraje para la alimentación de rumiantes y es

especialmente útil durante periodos de escasez de forraje verde (FAO, 2001)

5.5 Componentes del sistema de producción de forraje verde hidropónico

5.5.1 Instalaciones

La colocación de las instalaciones para producción de forraje verde hidropónico no representa grandes requisitos, la decisión de iniciar la construcción de instalaciones, debe considerar previamente que la unidad de producción de forraje debe estar ubicada en la zona de producción animal o muy próxima a ésta, que cuente con disponibilidad de agua de riego de calidad aceptable para abastecer las necesidades del cultivo y con fácil acceso a energía eléctrica. Existe un amplio rango de posibilidades para las instalaciones que van desde aquellas más simples construidas artesanalmente con madera y plástico, hasta sofisticados modelos digitalizados en los cuales casi no se utiliza mano de obra para la producción del forraje verde hidropónico. (FAO, 2001)

5.5.2 Semilla

La semilla se define botánicamente como el resultado de la fertilización y maduración de un óvulo. Está formada por tres estructuras principales: cubierta o testa, tejidos de reservas nutritivas (endospermo y/o cotiledones) y embrión (Arano, 1998).

Las semillas empleadas para la producción de forraje verde hidropónico deben ser idóneas, igual que las que se utilizan en la siembra a campo abierto, deben

estar enteras, secas y tener por lo menos un 85 % de viabilidad (FAO, 2001).

Morales (2002) menciona que la semilla puede llegar a representar hasta el 60% de los costos de producción del forraje verde hidropónico.

5.5.3 Solución nutritiva

Los sistemas hidropónicos requieren un continuo abastecimiento de nutrientes, el cual se suministra por medio de una solución nutritiva que contiene los elementos esenciales para el óptimo desarrollo de los cultivos. El conocimiento de cómo preparar y manejar la solución nutritiva permite aprovecharla al máximo, para así obtener un mayor rendimiento y calidad de los cultivos. Por lo que es indispensable conocer los aspectos fundamentales para preparar una solución nutritiva: el pH, la concentración iónica total, determinada mediante la conductividad eléctrica; la relación mutua entre aniones, la relación mutua entre cationes, la concentración de amonio, la temperatura y el oxígeno disuelto (Favela *et al* 2006).

5.5.4 Charolas

Existen casos muy simples en que la producción se realiza en franjas de semillas pregerminadas colocadas directamente sobre plásticos de 1 m de ancho. El cultivo puede estar instalado en bandejas de plástico provenientes del corte longitudinal de recipientes de desecho; bandejas de fibra de vidrio, de madera pintada o forrada de plástico (FAO, 2001).

Sánchez *et al.*, (1988) describen que los contenedores para producir forraje verde

son charolas de plástico cuyas dimensiones son 35.5cm x 67.35 x10cm, con una superficie de 0.23 m² o bien, 33cm x 43cmx10cm con área de 0.1419 m².

5.5.5 Sistema de riego

El sistema empleado puede ser por aspersión, nebulización o bien por gravedad. En el primero se coloca una tubería por encima de las charolas a una altura de 30 o 40 cm con aspersores de atomización que riegan el agua sobre el cultivo. La nebulización es una variante del sistema de aspersión en el que, la presión del sistema es mayor y el tamaño de la gota es menor. En ambos sistemas se necesitan líneas de tubería por cada nivel de charolas. Por último, el sistema de gravedad consiste en una tubería perforada en la parte superior del último nivel, por la que sale agua, recorre las charolas superiores y va drenando hacia los demás niveles (Morales, 2002).

Según Sánchez *et al.*, (1988) la velocidad de riego debe ser baja o en neblina, mediante aspersores colocados dentro de las charolas e incluso por goteo mediante cintas, y el riego regulado con un timer.

5.5.6 Drenaje

Es importante evitar que se acumule el agua dentro del módulo de producción, por esto se recomienda dejar pendientes para permitir el drenaje en todos los sentidos (Ríos, 2006)

La metodología propuesta por la FAO (2001) sugiere que entre los estantes se coloque un piso de cemento con canaletas a ambos lados, mientras que el piso

bajo las estanterías debe recubrirse con material inerte que facilite el drenaje.

5.6 Especies utilizadas

Para producir el forraje verde hidropónico se utilizan semillas de avena, cebada, maíz, trigo y sorgo. (Resh, 2001; FAO, 2001)

Morales (2002) recomienda para la producción de forraje verde hidropónico utilizar semillas de cereales forrajeros como avena, cebada, maíz, arroz, sorgo y trigo, ya que poseen un alto valor energético, digestibilidad elevada e influencia positiva sobre la calidad de los productos de origen animal.

5.7 Composición química de los forrajes

Todos los alimentos están compuestos por sustancias químicas (Figura 1) las cuales mediante una serie de reacciones, se transforman en el interior del animal para ser convertidas en productos pecuarios. (Sosa, 1979).

Church y Pond (2002) mencionan que los nutrientes esenciales incluyen agua, hidratos de carbono, lípidos, minerales, vitaminas, y aminoácidos. El valor nutricional de los alimentos está clasificado en tres componentes: digestibilidad, consumo de alimento y eficiencia energética.

La composición química del forraje y su valor nutritivo, es afectada por la madurez de la planta en el momento de la cosecha. Los cambios presentados en el forraje en cuanto a contenido nutrimental, dependen de la especie vegetal y el ambiente en que se desarrolla la planta, además de la fertilización (Church y Pond, 2002).

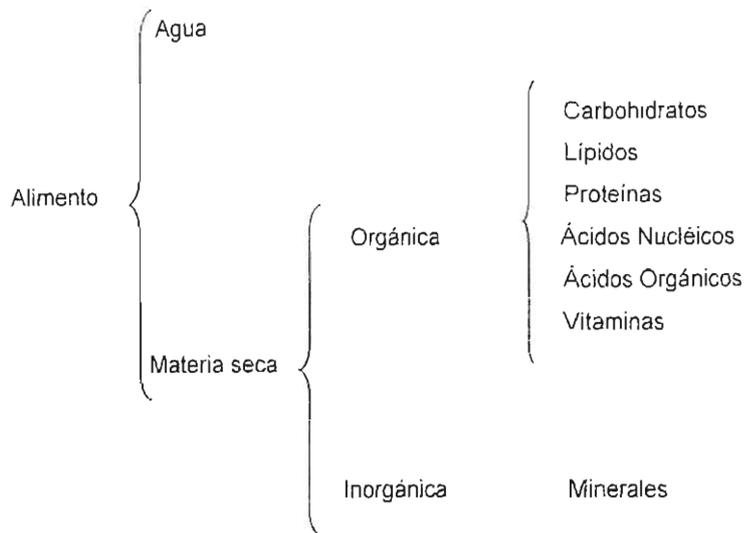


Figura 1. Componentes químicos de los alimentos
(Fuente MC Donald, 1999)

La materia seca (MS) es la parte del alimento de la que se ha separado el agua.

La determinación de la MS, se basa en la evaporación del agua a una temperatura de 50 a 55°C hasta que el peso de la muestra sea constante. (Sosa, 1979).

La determinación de MS, es uno de los análisis más frecuentemente realizados en el laboratorio de nutrición. Es un análisis importante, debido a que la concentración de los nutrientes es usualmente expresada en base seca. (Gayean 1997, Van Soest, 1994).

La MS está constituida por una fracción orgánica y otra inorgánica (Cherney, 2000).

La fracción inorgánica está constituida por los minerales que posee la muestra,

en los forrajes se encuentra principalmente potasio y silicio. También podemos encontrar elementos minerales en los compuestos orgánicos como azufre en las proteínas y fósforo en algunos hidratos de carbono y lípidos (Cherney, 2000).

La **fracción orgánica** está constituida por hidratos de carbono, lípidos, proteínas, ácidos nucleicos, ácidos orgánicos y vitaminas (Cherney, 2000).

Las **proteínas**. Son el principal compuesto nitrogenado de los forrajes. El método para determinación de proteína está basado en reacciones de óxido reducción, mediante un oxidante fuerte, el H_2SO_4 concentrado, a esta reacción se le llama digestión. La reacción se da en presencia de una mezcla catalizadora de Na_2SO_4 compuesto que incrementa el punto de ebullición y $\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$ que acelera la reacción (Sosa, 1979).

Los **hidratos de carbono** son los compuestos principales de los tejidos vegetales, constituyen hasta el 70 % de la MS de los forrajes (Church, 2002).

La función principal de los hidratos de carbono en la nutrición animal, es servir como fuente de energía para los procesos vitales normales. Sin embargo, en las plantas algunos azúcares simples como la glucosa y la ribosa, participan en la transformación de energía y síntesis de tejidos (Church, 2002).

Las fracciones relativamente insolubles (celulosa, hemicelulosa) proporcionan soporte estructural a las plantas vivas (Church, 2002). La celulosa es un componente importante de las paredes celulares y junto con la hemicelulosa

muchas veces están presentes combinadas con la lignina, esta mezcla de polímeros no son aprovechables desde el punto de vista biológico.

La fibra es un producto analítico con características nutricionales que describe a aquellos componentes del forraje de baja solubilidad en un sistema de solventes específicos (detergente neutro y ácido) y son relativamente menos digestibles que el almidón (Van Soest, *et al.*, 1991). El método más usado para la determinación de fibra es el de Fibra Detergente Neutro y Fibra Detergente Ácido propuesto por Van Soest *et al.*, (1991).

La Fibra Detergente Neutro (FDN) es el residuo que queda después de una solubilización del alimento en detergente neutro. Está compuesta por hemicelulosa, celulosa, lignina y proteína ligada. La fibra detergente neutro es la que tienen una mayor correlación con el consumo voluntario (Shimada, 2003).

La Fibra Detergente Ácido (FDA) es el residuo que queda después de una solubilización del alimento en detergente ácido. El detergente disuelve todo el contenido celular y además las hemicelulosas, por lo tanto el residuo llamado también complejo lignocelulósico está formado por paredes celulares sin hemicelulosa (Shimada, 2003).

5.8 Valor nutrimental del forraje verde hidropónico

Chavan y Kadam (1989) concluyeron que los cambios alimenticios deseables que ocurren durante la germinación y el desarrollo inicial de los forrajes, se

deben principalmente a la degradación de compuestos complejos en una forma más simple, la transformación en componentes esenciales, y la degradación de componentes alimenticios indeseables. La actividad metabólica de las semillas aumenta tan pronto como se hidratan durante la imbibición. Los cambios bioquímicos complejos, ocurren durante la hidratación y subsecuente germinación. Los componentes químicos de la reserva, tales como proteína, almidón y los lípidos, son catalizados por las enzimas en los compuestos simples que se utilizan para hacer nuevos compuestos. Durante la germinación, en los granos ocurre una creciente actividad de las enzimas hidrolíticas, que mejoran el contenido de proteínas totales, de ciertos aminoácidos esenciales, de los azúcares totales, las vitaminas del complejo B, y una disminución de la MS, del almidón y de compuestos antinutricionales.

5.8.1 Ventajas nutrimentales de los forrajes hidropónicos

Morgan, Hunter y O'Haire (1992), encontraron que el contenido proteínico de los brotes aumentó desde la germinación, ya que la absorción de nitratos facilita el metabolismo de compuestos nitrogenados y las reservas de hidratos de carbono, aumentando así los niveles de la proteína cruda.

Cambios cualitativos muy complejos ocurren durante la imbibición y germinación de la semilla. La conversión de las proteínas de reserva de los granos de cereal en albúminas y globulinas durante el brote puede mejorar la calidad de las proteínas del cereal. Muchos estudios han demostrado un aumento en el

contenido de la lisina durante la germinación. Un aumento en la actividad proteolítica durante la germinación es deseable para mejorar la calidad alimenticia de cereales, porque lleva a la hidrólisis de los aminoácidos liberados (Chavan y Kadam, 1989).

Peer y Leeson (1985); (citados por Cuddeford, 1989) mencionan que en la cebada el porcentaje de fibra cruda, constituida por paredes celulares, aumentó durante la germinación con la síntesis de carbohidratos estructurales, tales como celulosa y hemicelulosa.

Chung et al. (1989) encontraron que el contenido de la fibra de cebada aumentó entre 3.75% en semilla sin germinar hasta 6% en brotes de cinco días.

Según Chavan y Kadam (1989), la mayoría de los informes coinciden en que en la germinación de los granos de cereal mejora generalmente su valor de vitamina, especialmente las vitaminas del complejo B.

Ciertas vitaminas tales como el tocoferol y los carotenos (precursores de vitaminas) se producen durante el proceso del crecimiento temprano (Cuddeford, 1989).

VI. MATERIALES Y METÓDOS

6.1 LOCALIZACIÓN

El presente trabajo, se realizó en la Universidad Autónoma Chapingo ubicada a 19° 29' 19" de latitud Norte, 98° 53' 14" longitud Oeste y 2254 msnm.

El experimento se estableció en un invernadero de la Preparatoria Agrícola con una superficie de 24 m². El invernadero está equipado con dos módulos de estantería en tres niveles y con charolas para la germinación; sistema de riego por micro aspersión, cisterna para almacenar la solución nutritiva y motobomba eléctrica.

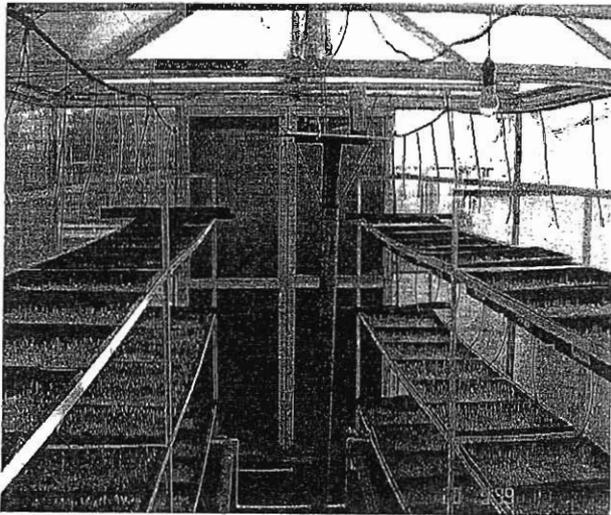


Figura 2. Invernadero equipado con, estantería, charolas de producción, sistema de riego, y sensores para Humedad, Temperatura y concentración de CO₂.

6.2 Materiales experimentales

Bajo un sistema de cultivo hidropónico se evaluaron dos variedades de maíz (*Zea mays*), una variedad criolla de Huamantla, Tlaxcala, México y un híbrido certificado variedad San José, generado en la Universidad Autónoma Chapingo.

6.3 Procedimiento de producción

- **Pesaje:** Las dosis óptimas de semillas a oscilan entre 2.2 y 3.4 Kg m⁻² (FAO; 2001). Para este trabajo se pesaron 500g de semilla para cada charola de 0.21 m² (37 × 57cm) lo que representó una densidad de siembra de 2.4 Kg m⁻².
- **Selección:** Se hizo una selección manual de las semillas para eliminar todas aquellas que se encontraban en mal estado, así como impurezas y se colocaron en bolsas de tela.
- **Lavado y desinfección:** En dos contenedores plásticos de 80 l se colocaron por separado las bolsas correspondientes a cada variedad, se agregó una solución de hipoclorito de sodio al 2% dejándolas remojar por 5 minutos, transcurrido este tiempo se escurrió el exceso de solución y se enjuagó con agua limpia para eliminar el cloro. Figuras 3 y 4.
- **Pregerminación:** las semillas lavadas y desinfectadas se colocaron en dos contenedores de 80 l con agua limpia (36 bolsas en cada recipiente) durante 48 horas; en este tiempo el agua de los contenedores se cambió cada 12 horas para favorecer la oxigenación de la semilla. Figura 5



Figura 3. Desinfección de las semillas en hipoclorito de sodio al 2%.



Figura 4. Enjuagado de las semillas para eliminar el hipoclorito de sodio al 2%.

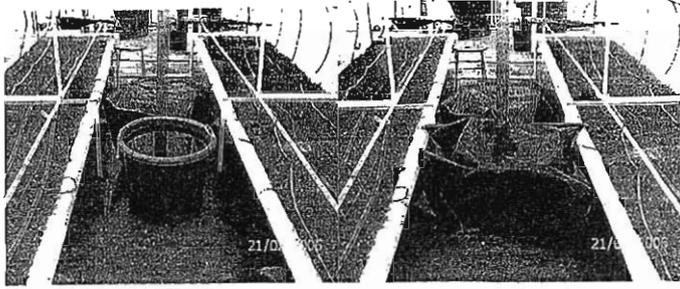


Figura 5. Proceso de pregerminación de las semillas

- **Distribución de las charolas:** Las charolas limpias y desinfectadas con hipoclorito de sodio se distribuyeron en los módulos de estantería como se muestra en la Figura 6.

Modulo poniente			Pasillo	Modulo oriente		
Orilla	Orilla	Orilla		Orilla	Orilla	Orilla
10	20	30		60	50	40
9	19	29		59	49	39
8	18	28		58	48	38
7	17	27		57	47	37
6	16	26		56	46	36
5	15	25		55	45	35
4	14	24		54	44	34
3	13	23		53	43	33
2	12	22	52	42	32	
1	11	21	51	41	31	
Orilla	Orilla	Orilla	Orilla	Orilla	Orilla	
Nivel Superior	Nivel Medio	Nivel Bajo	Nivel Bajo	Nivel Medio	Nivel Superior	



Figura 6. Distribución de las charolas dentro del invernadero, ubicación por modulo de estantería y por nivel de estante

- **Siembra:** Se escurrieron completamente las bolsas con las semillas y se colocaron en las charolas, distribuyendo una capa delgada y uniforme de semillas.

- **Germinación:** para lograr una adecuada germinación, se colocó una capa de papel sobre las semillas y se saturó con agua para mantener una adecuada humedad; posteriormente las charolas fueron cubiertas con plástico negro para generar un ambiente de semioscuridad a las semillas, durante el proceso de germinación (Figura 7). Una vez que 80 % de la semilla germinó, se retiró el papel y el plástico (Figura 8).

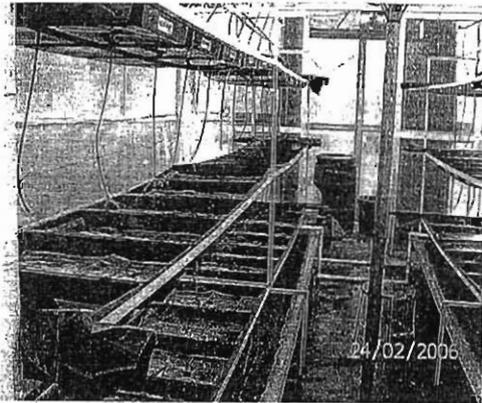


Figura 7.- Semillas cubiertas con papel húmedo.

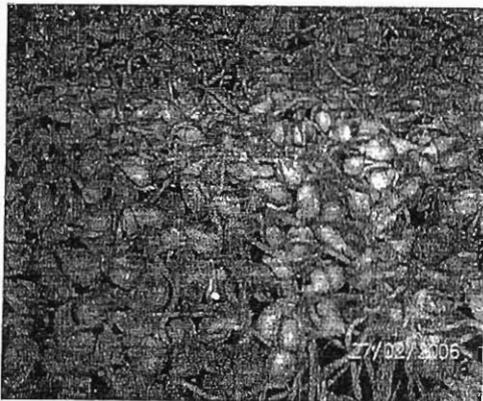


Figura 8. Semillas con 80% de germinación.

- **Riego:** El riego fue por aspersión, abastecido por una cisterna de 1500 l con motobomba eléctrica, durante el periodo de germinación (charolas cubiertas) fue con agua corriente y limpia dos veces por día, a las 10:00 y a las 18:00 horas, durante dos minutos. A partir del día cinco posterior a la siembra, los riegos se realizaron con solución nutritiva propuesta por Gil y Miranda (2002) (Cuadro 1 y 2), en este proceso la mayor parte de la energía necesaria es provista por la propia semilla, por lo tanto el requerimiento de nutrientes una solución nutritiva balanceada al 50% de concentración es suficiente para un buen desarrollo de las plantas Arano (1998), y se aplicaron 8 riegos con duración de dos minutos de las 10:00 a las 17:00 hrs., con intervalos de 60 minutos entre riegos, los riegos; estuvieron controlados con un timer.

Cuadro 1. Fuentes de macronutrientes para preparar 1500 l de solución nutritiva utilizada en el experimento

Fuente	Fórmula	Cantidad
Ácido Fosfórico	H ₃ PO ₄	131.25 ml
Nitrato de Potasio	KNO ₃	487.5 g
Sulfato de Magnesio	MgSO ₄ 7H ₂ O	712.5 g
Nitrato de Calcio	Ca(NO ₃) ₂	300 g
Solución concentrada de micronutrientes		75 ml

Cuadro 2. Fuentes para preparar 1 l de solución concentrada de micronutrientes

Fuente	Fórmula	Cantidad
Ácido Sulfúrico	H ₂ SO ₄	10 ml
Sulfato Ferroso	FeSO ₄ 7H ₂ O	50 g
Sulfato de Manganeso	MnSO ₄ 5H ₂ O	20 g
Ácido Bórico	H ₃ BO ₃	28 g
Sulfato de Cobre	CuSO ₄ 5H ₂ O	2 g
Sulfato de Zinc	ZnSO ₄ 7H ₂ O	2 g

6.4 Muestreo

Para el muestreo se tomó como unidad experimental una charola de 0.21 m². Los muestreos se distribuyeron durante los 30 días que duró el experimento tanto para primavera como para verano, como se muestra en el cuadro 3.

Cuadro 3. Distribución de muestreo en los días después de la siembra

Edad (días)	Charolas cosechadas
6	12
12	12
18	12
24	12
30	12

Se pesó la charola con forraje y el peso fresco del forraje verde hidropónico se obtuvo restando el peso de la charola.

Para la cosecha, se incluyó toda la biomasa presente (hojas, tallos, raíces y semillas sin germinar), las charolas a muestrear se eligieron previa aleatorización.

Se tomó una muestra de forraje utilizando un cuadro de muestreo de 26.5 cm * 36.5 cm (Figura 9).

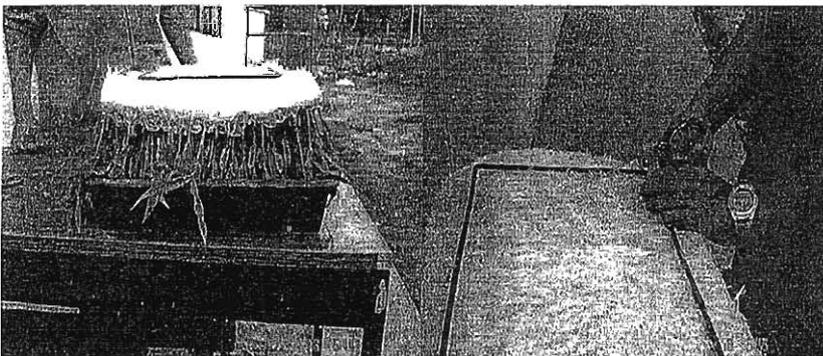


Figura 9. Procedimiento de muestreo con cuadro de 26.5 X 36

6.5 Análisis químico del forraje verde hidropónico

6.5.1 Materia Seca

La determinación de la MS se realizó siguiendo las normas de la AOAC (2002) para materiales con alto valor de humedad, las muestras de forraje se colocaron en charolas de aluminio y se registró su peso (peso húmedo) en una balanza electrónica con precisión de 0.001 g, y se metieron en una estufa de ventilación forzada para eliminar el exceso de humedad, posteriormente se transfirieron a bolsas de papel y se continuó el proceso secando a 55 °C hasta alcanzar peso constante (peso seco).

Las muestras secas se molieron en un molino Willey con criba de 1mm, y se depositaron en bolsas de plástico etiquetadas con el número correspondiente.

Las muestras molidas fueron sometidas a análisis químico para determinar el porcentaje de Cenizas, Proteína Cruda, FDN y FDA; las determinaciones se hicieron por duplicado para cada muestra.

6.5.2 Determinación de Cenizas

La determinación se realizó de acuerdo a las normas de AOAC (2002). Sometiendo a oxidación toda la materia orgánica contenida en la muestra, por medio de combustión en una mufla a 600 °C durante dos horas.

6.5.3 Determinación de Proteína Cruda (PC)

Se realizó la determinación por el método de Microkjeldahl, que se basa en la transformación del nitrógeno contenido en la muestra en sulfato de amonio mediante la digestión con ácido sulfúrico en presencia de un catalizador. El ion amonio obtenido, se transforma en medio básico en amoníaco que se destila y valora con una solución de ácido patrón. Una vez conocido el contenido del nitrógeno de la muestra, se multiplica éste por el factor de conversión 6.25 para estimar el contenido de PC (AOAC, 2002).

6.5.4 Determinación de Fibra Detergente Neutro (FDN)

Se utilizó la técnica de Van Soest *et al.*, (1991) en la que se emplea una solución detergente neutra que disuelve las pectinas fácilmente digestibles de la pared celular y el contenido celular (proteínas, azúcares y lípidos), resultando un residuo que representa el contenido de las paredes celulares (celulosa, hemicelulosa y lignina).

6.5.5 Determinación de fibra detergente Acido (FDA)

La determinación se realizó utilizando una solución acida de detergente cuaternario, con lo que resulta un residuo formado por celulosa, lignina, cenizas insolubles y proteína ligada a la pared celular, este método propuesto por Van Soest fue descrito por Sosa, (1979).

6.5.6 Determinación de Energía Metabolizable (EM)

La Energía Metabolizable se estimó a partir de la siguiente ecuación derivada de las composiciones de diferentes alimentos reportadas por NRC (2001):

$$\text{Mcal EM/Kg MS} = 3.41 - 0.0322 \cdot \% \text{ FDA}$$

6.6 Diseño Experimental

Los datos obtenidos de rendimiento y composición química, se analizaron estadísticamente por medio de un modelo estadístico completamente al azar con parcelas subdivididas donde la unidad experimental fue una charola con dos repeticiones.

El modelo estadístico que se utilizó fue:

$$y_{ijklm} = \mu + E_i + V_j + E_s_k + T_l + E \times P_{ij} + E \times S_{ik} + E \times T_{il} + S \times T_{kl} + e_{ijklm}$$

y_{ijklm} = valor de la variable de respuesta correspondiente al i-ésimo nivel del factor estación, j-ésimo nivel del factor posición del estante, k-ésimo del factor posición de la charola en el estante, l-ésimo nivel del factor edad de la planta en la repetición m.

Donde:

μ = Media general.

E_i = Efecto del i-ésimo nivel del factor Estación del año.

V_j = Efecto del j-ésimo nivel del factor Variedad.

S_k = Efecto del k-ésimo nivel del factor Posición de la charola en el estante.

T_l = Efecto del l-ésimo nivel del factor Edad de la planta.

$E \times V_{ij}$ = Efecto de la interacción Estación del año x Variedad

$E \times S_{ik}$ = Efecto de la interacción Estación del año x Posición de la charola en el estante.

$E \times T_{il}$ = Efecto de la interacción Estación del año x Edad de la planta.

$S \times T_k$ = Efecto de la interacción Posición de la charola en el estante x Edad de la planta.

e_{ijklm} = Error experimental.

Se utilizó el paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System) V8 (2000) para el análisis de varianza y prueba de comparación de medias Tukey.

VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 Análisis de varianza

La única interacción con efectos importantes fue variedad × día que influyó sobre las variables rendimiento en peso fresco y los contenidos de cenizas, PC y FDA, las interacciones época × variedad y época × variedad × día únicamente afectaron el contenido de ceniza en tanto que época × día no afectó ninguna variable (Cuadro 4).

Cuadro 4. Resultado del análisis de varianza, probabilidad de efectos de época (EPO), bloque (BLO), estrato (EST), variedad (VAR), día de cosecha (DIA) y sus interacciones.

Fuente de variación	Peso fresco ^δ	Peso seco ^ε	MS ^θ	Cen ^φ	PC ^δ	FDN ^θ	FDA ^ζ
EPO	0.0222	0.0001	0.4747	0.0030	0.7304	0.0921	0.3417
BLO(EPO)	0.6970	0.3439	0.0009	0.1562	0.4161	0.0012	0.0026
EST(EPO*BLO)	0.0001	0.0546	<.0001	0.0004	<.0001	0.0043	0.4101
VAR	<.0001	0.3710	<.0001	<.0001	<.0001	0.0042	<.0001
DIA	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
VAR*DIA	<.0001	0.3919	0.1860	<.0001	0.0199	0.6340	0.0168
EPO*VAR	0.6514	0.0867	0.2745	<.0001	0.5516	0.5822	0.1592
EPO*DIA	0.5901	0.5325	0.9930	0.6935	0.6226	0.0712	0.1158
EPO*VAR*DIA	0.9728	0.7855	0.8906	0.0147	0.9440	0.8069	0.6187

^δ Peso fresco en g/charola

^ε Peso seco en g/charola

^θ Contenido de materia seca (MS, en % del peso fresco)

^φ Contenido de cenizas (% de la MS)

^δ Contenido de proteína cruda (% de la MS)

^θ Contenido de fibra detergente neutro (% de la MS)

^ζ Contenido de fibra detergente ácido (% de la MS)

7.2 Peso Fresco

El rendimiento fresco de forraje hidropónico de maíz, fue influido por la interacción variedad × día, la variedad, la edad del forraje en días, y la época del año.

Cuadro 5 Efecto de variedad y edad (días entre cosecha y siembra) y su interacción sobre el rendimiento en fresco (Kg/m² charola) de forraje verde hidropónico de maíz

Días	V a r i e d a d		
	San José	Huamantla	Promedio
6	6.668 d ^f	5.541 d	6.110 E ^ε
12	10.649 c	7.578 d	9.119 D
18	17.824 b	10.762 c	14.298 C
24	21.670 a	16.170 b	18.920 B
30	24.575 a	18.392 b	21.484 A
Promedio	16.283 x ^ψ	11.693 y	

^fa,b,c,d,e: medias con un mismo literal no difieren (P≥0.05)

^εA,B,C,D,E: medias con un mismo literal no difieren (P≥0.05)

^ψx,y,: medias con un mismo literal no difieren (P≥0.05)

El efecto combinado de variedad y días muestra que el mayor rendimiento de forraje fresco se obtuvo en la variedad San José (P < 0.05). En promedio produjo 16.283 Kg de forraje fresco/m² de y la variedad Huamantla genero 11.693 Kg de forraje fresco/m² lo que equivale a una diferencia de 39% entre variedades, esta diferencia es evidente a partir del día 12 de edad (cuadro 5).

En las dos variedades el patrón de acumulación de peso fresco fue similar, presentando un incremento constante en la acumulación de peso fresco en los primeros días de desarrollo, con una desaceleración y tendencia a la estabilización al final del experimento.

La variedad San José obtuvo los mayores incrementos en peso fresco entre los días 12 y 18 de edad con .1.196 Kg / m² por día mientras que la variedad Huamantla los presentó entre los días 18 y 24 con .902 Kg / m² por día. En cuanto a las tasas más bajas se presentaron entre los días 24 y 30 en la variedad San José y entre los días 6 y 12 para el criollo Huamantla, con .484 Kg / m² y .340 Kg / m² por día respectivamente.

También se puede observar que los rendimientos de forraje fresco del criollo Huamantla en el día 30 son iguales a los obtenidos con la variedad San José el día 18.

Estos resultados coinciden con los presentados por la FAO (2001). Sin embargo, es importante mencionar que las decisiones se deben tomar a partir de la producción de nutrientes.

Cuadro 6 Efecto de la época sobre el rendimiento de peso fresco. (Kg/m² charola) de forraje verde hidropónico de maíz

ÉPOCA	Peso fresco	
Primavera	14.433	a
Invierno	13.464	b

En el Cuadro 6 se muestra el efecto de la época del año sobre el rendimiento en peso fresco ($P < 0.05$). En la primavera este rendimiento fue 7.2% superior que en el invierno, obteniendo en promedio .969 Kg más por m².

En el caso del peso fresco, si bien el efecto de estrato anidado en la interacción bloque por época fue significativo, ninguna de las diferencias significativas entre medias pudo ser interpretada claramente como efecto del estrato

7.3 Rendimiento de forraje

El peso seco del forraje hidropónico de maíz, estuvo determinado por los efectos principales de época del año e intervalo siembra-cosecha.

Como se esperaba, los rendimientos de peso seco de forraje hidropónico de maíz fueron superiores en la primavera que en el invierno ($P < 0.05$). En la primavera se registraron en promedio 238 g m^{-2} de charola más de peso seco que en el invierno, lo que implica un incremento de 13% (Cuadro 7). Lo anterior se explica a partir de la variación en factores como radiación solar y temperatura, que inciden de manera directa en el rendimiento de los forrajes. Velasco *et al* (2001) reportaron que los rendimientos de biomasa de pasto ovilla *Dactylis glomerata* fueron mayores en la primavera que en el invierno, en Montecillos, Estado de México. Datos similares describen Zaragoza *et al.* (2009) para Cuautitlán Izcalli, Estado de México.

Cuadro 7 Efecto de la época del año sobre el rendimiento en peso seco de forraje hidropónico de maíz.

EPOCA	Peso seco (kg / m ² charola)	
Primavera	2.140	a
Invierno	1.902	b

Se registró un patrón decreciente entre el día 6 y el 18, el rendimiento de peso seco del forraje hidropónico de maíz se redujo 662 g m^{-2} de charola (27%) y luego se mantuvo constante ($P < 0.05$).

durante este periodo aún no ocurre una absorción de nutrientes y actividad fotosintética efectiva (Morgan et al., 1992) (Cuadro 8)

Cuadro 8 Efecto del intervalo siembra-cosecha (días) sobre el rendimiento en peso seco de forraje hidropónico de maíz

DIA	Peso seco (kg · m ² de charola)	
6	2.461	a
12	2.233	a
18	1.809	b
24	1.799	b
30	1.789	b

7.4 Contenido de Materia Seca

El contenido de materia seca del forraje hidropónico de maíz fue afectado por la variedad, el intervalo siembra-cosecha, ($p < 0.05$) y el estrato anidado en época × bloque.

El cuadro 9 muestra el efecto de la variedad en el contenido de materia seca. El criollo Huamantla fue superior con más materia, lo anterior es contrario a lo que reportan Elizondo y Boschín en 2002, quienes compararon el contenido de materia seca de maíz de dos criollos y un híbrido, en donde encontraron un contenido de materia seca superior para los híbridos.

Cuadro 9 Efecto de la variedad sobre el contenido de materia seca de forraje hidropónico de maíz

VARIEDAD	Materia seca (%)	
San José	16.8	b
Criollo Huamantla	23.6	a

El contenido de materia seca disminuyó con la edad del forraje, lo que coincide con Chung *et al.* (1989) quienes reportaron pérdidas en el contenido de materia seca en un rango de 9.4 a 18% durante los primeros 5 a 7 días después de la germinación. Tudor, *et al.* (2003) evaluaron el contenido de MS del grano de cebada y germinado de cebada de 6 días con un 94.6 y 11.9 % de MS respectivamente (cuadro 10).

Durante la germinación la pérdida del contenido de MS se debe al incremento en la actividad metabólica. La energía para esta actividad se deriva de la degradación y oxidación de los materiales de reserva del las semillas (Chavan y Kadman, 1989).

El porcentaje de MS pasó del correspondiente a una situación grano embebido (mas de 40%) en el sexto día, al correspondiente a forraje muy succulento (menos de 10%) en el trigésimo día, con una aparente tendencia a estabilizarse en esos bajos valores a partir del día 24. Tan bajo porcentaje de MS podría afectar negativamente el consumo de acuerdo a lo indicado por Keeney *et al.* (1984)

Cuadro 10 Efecto del intervalo siembra-cosecha (días) sobre el contenido de materia seca de forraje hidropónico de maíz

DÍA	Matéria seca (%)	
6	41.5	a
12	26.4	b
18	14.0	c
24	10.2	c d
30	8.9	d

Para contenido de MS hubo un efecto de posición en el invernadero, que resultó de la combinación de estrato y bloque; en ambas estaciones el estrato superior del bloque oriente tuvo mayores contenidos de MS, (en promedio 26.5%) y en el otro extremo, los estratos medio e inferior del bloque poniente presentaron menores contenidos de MS, en promedio 17.5 %, denotando diferencias entre estratos y orientación en la demanda evaporativa.

7.5 Contenido de Proteína Cruda

El contenido de proteína cruda fue superior ($P < 0.05$) en el híbrido San José que en el criollo Huamantla (cuadro 11). En general el contenido de proteína obtenido en el presente estudio fue superior al 12.3% de proteína cruda reportado por Carballo (2000) para forraje verde hidropónico de maíz. La evolución del contenido de proteína siguió un patrón sigmoideo similar al del peso fresco y el contenido de humedad, con aumentos decrecientes que aparentemente aproximan asintóticamente un máximo poco mayor a 18%. El punto de partida con muy bajo contenido de proteína corresponde al de grano de maíz embebido (NRC, 2001), en tanto que el contenido del día 30 corresponde al de gramíneas de clima templado bien fertilizadas con N (Whitehead, 2000). Este incremento respondió a dos causas, en primer lugar la absorción de N de la solución nutritiva para sintetizar proteína y en segundo lugar la reducción de peso por respiración de los carbohidratos no estructurales. Con base en lo anterior no solo es importante prestar atención al porcentaje de proteína sino también a la cantidad total de proteína.

Cuadro 11 Efecto de variedad e intervalo siembra-cosecha (días) y su interacción sobre el contenido de proteína cruda (% de la materia seca) de forraje verde hidropónico de maíz

Días	V a r i e d a d		
	San José	Huamantla	Promedio
6	10.5 e ^f	10.6 e	10.5 E ^ε
12	12.5 d	11.6 de	12 D
18	15.8 b	14.2 c	15 C
24	17.5 a	16.3 b	17 B
30	18.3 a	17.7 a	18 A
Promedio	14.9 x ^ξ	14.1 y	

^fa,b,c,d,e: medias con un mismo literal no difieren ($P \geq 0.05$)

^εA,B,C,D,E: medias con un mismo literal no difieren ($P \geq 0.05$)

^ξx,y,: medias con un mismo literal no difieren ($P \geq 0.05$)

El contenido de proteína más bajo fue al inicio del crecimiento, 10.5 % a los seis días de edad incrementando a 18% a los 30 días de edad ($P < 0.05$). El contenido de proteína del forraje verde hidropónico del presente estudio es inferior al valor 25 % reportado por la FAO (2001) para forraje hidropónico de cebada. Pero similares a los que reporta Agustín (2007) para el forraje hidropónico de maíz 18.8% y 19.4% en forraje hidropónico de cebada.

7.6 Contenido de cenizas

El contenido de cenizas estuvo influido por la época del año, la variedad y la interacción de la época del año por la variedad ($P < 0.05$).

Cuadro 12 Efecto de variedad y edad (días entre cosecha y siembra) y su interacción sobre el contenido de cenizas (% de la MS) de forraje verde hidropónico de maíz

Días	V a r i e d a d		
	San José	Huamantla	Promedio
6	1.8 f [‡]	1.8 f	1.8 E [€]
12	3.0 e	2.3 ef	2.6 D
18	6.1 c	4.3 d	5.2 C
24	9.1 b	6.7 c	7.9 B
30	10.7 a	8.4 b	9.6 A
Promedio	6.1 x [‡]	4.7 y	

[‡]a,b,c,d,e: medias con un mismo literal no difieren ($P \geq 0.05$)

[€]A,B,C,D,E: medias con un mismo literal no difieren ($P \geq 0.05$)

^{x,y},: medias con un mismo literal no difieren ($P \geq 0.05$)

La evolución del contenido de cenizas siguió un patrón similar al de proteína con una evolución sigmoidea partiendo de un valor inicial muy bajo similar al de granos (NRC, 2001), para nivelarse al final del periodo experimental en valores alrededor de 10% que corresponde al contenido promedio en forrajes (Whitehead, 2000).

También en este caso el contenido de cenizas fue mayor en San José, lo cual junto con las otras variables previamente discutidas indica que el híbrido resultó más precoz que la variedad local. El mayor contenido de cenizas en primavera es consecuencia de la mayor actividad de crecimiento (previamente discutida) y por tanto mayor tasa de absorción de nutrientes.

El contenido de cenizas en el forraje de primavera, fue mayor que el de invierno y mayor a el 1.8% de reportado por Carballo (2000) para el forraje verde hidropónico de maíz (cuadro 13).

Cuadro 13. Efecto de la época del año en el contenido de cenizas

EPOCA	Cenizas (% de la MS)	
Primavera	5.6	a
Invierno	5.2	b

7.7 Contenido de fibra

El contenido de FDN fue afectado por la variedad y el intervalo entre siembra y cosecha. El contenido de FDN de San José (45.4%) fue mayor ($p < 0.01$) que el de Criollo Huamantla; este mayor contenido de fibra está relacionado con la mayor precocidad para crecer formando paredes celulares a partir de los carbohidratos del grano. La evolución (Figura 10) fue sigmoidea como la de otras variables ya discutidas aproximando 55% en el día 30, contenido que es ligeramente inferior al promedio de 60% reportado para gramíneas templadas (Minson, 1990).

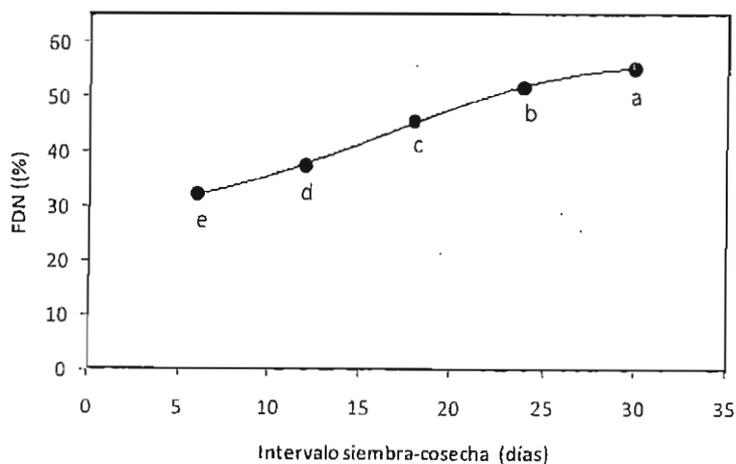


Figura 10 Evolución del contenido de fibra detergente neutro en forraje hidropónico de maíz. Medias con distinto literal son diferentes ($P < 0.01$)

El contenido de FDA fue afectado por la variedad, el intervalo entre siembra y cosecha y su interacción (Cuadro 14). De manera similar a lo ocurrido con el contenido de FDN, el contenido inicial fue muy bajo, característico de grano desnudo (NRC, 2001) y luego de aumentar, a partir del día 24 se estabilizó en valores cercanos a 22%, mismos que pueden considerarse como bajos y que indican un forraje de muy buena calidad (Minson, 1990).

Cuadro 14. Efecto de variedad y edad (días entre siembra y cosecha) y su interacción sobre el contenido de fibra detergente ácido (% de la materia seca) de forraje verde hidropónico de maíz

Días	Variedad		Promedio
	San José	Huamantla	
6	6.1 ^f	6.3 ^f	6.2 ^{E[€]}
12	10.3 ^e	9.0 ^e	9.7 ^D
18	18.2 ^c	14.9 ^d	16.6 ^C
24	24.4 ^a	20.9 ^b	22.6 ^A
30	21.5 ^b	19.7 ^{bc}	20.6 ^B
Promedio	16.1 ^{x[‡]}	14.2 ^y	

[‡]a,b,c,d,e: medias con un mismo literal no difieren ($P \geq 0.05$)

[€]A,B,C,D,E: medias con un mismo literal no difieren ($P \geq 0.05$)

^{x,y}: medias con un mismo literal no difieren ($P \geq 0.05$)

Comparando las medias en contenido de fibra entre variedad, se encontró una diferencia ($P < 0.05$) entre éstas siendo la variedad San José la que presentó mayores contenidos de fibra detergente neutro y fibra detergente ácido con 45.4 % y 16.1% respectivamente. Estos resultados son similares a los que reporta Vargas (2008) quien encontró 43.1% de fibra detergente neutro y 18.9% de fibra detergente ácido en forraje hidropónico de maíz.

El contenido de fibra detergente neutro mantuvo un incremento constante, con una tendencia a la estabilización en la última etapa del experimento. Mientras que el contenido de fibra detergente ácido tuvo un comportamiento creciente durante las primeras cuatro fechas de cosecha, pero decreció en la cosecha realizada el día 30 de edad.

7.8 Rendimientos de nutrientes

Cuadro 15. Resultado del análisis de varianza, probabilidad de efectos de época (EPO), bloque (BLO), estrato (EST), variedad (VAR), día de cosecha (DIA) y sus interacciones sobre los rendimientos calculados de proteína y energía

Fuente de variación	Proteína g/charola	Energía Mcal EM/charola
EPO	0.0005	<.0001
BLO(EPO)	0.1524	0.1860
EST(EPO*BLO)	0.0488	0.0193
VAR	0.1709	0.5231
DIA	<.0001	<.0001
VAR*DIA	0.3861	0.0558
EPO*VAR	0.0867	0.0496
EPO*DIA	0.5551	0.1916
EPO*VAR*DIA	0.8258	0.5705

Regularmente los resultados de experimentos sobre producción de forraje verde hidropónico se han presentado sobre la base de rendimiento de forraje fresco y porcentaje de proteína. Dadas las ventajas del forraje verde hidropónico en ambos aspectos ello ha llevado en muchos casos a recomendar su uso Carballo, (2000), FAO (2001) y Agustín, (2007) Sin embargo, la base de las recomendaciones debe ser más sólida, por lo que en el presente trabajo se estudió la respuesta en producción de nutrientes. Debido a que no se encontraron

reportes con este tipo de información, no es posible confrontar los resultados del presente experimento con los de la bibliografía consultada

En el Cuadro 15 se reportan los resultados del análisis de varianza en tanto que en la Figura 12 se presentan los resultados de producción de energía metabolizable ($\text{Mcal} \cdot \text{m}^{-2}$ de charola) y proteína ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ de charola) con forraje verde hidropónico, mismos que junto con los costos de producción constituyen la base para evaluar la conveniencia de aplicar la tecnología

7.8.1 Energía metabolizable

El contenido de energía metabolizable presentó una evolución sigmoide decreciente (Figura 11) con un valor inicial similar al del contenido de energía de granos y estabilizándose a partir del día 24 en $2.7 \text{ Mcal EM/kg MS}$, valor que puede considerarse muy bueno para forrajes tomando en cuenta las composiciones reportadas por NRC (2001). De esta forma, la calidad del forraje verde hidropónico de maíz evolucionó positivamente en términos de su contenido de proteína y negativamente en términos de su contenido de energía.

Hasta el día 18 se redujo 39% la cantidad de energía metabolizable presente en el forraje verde hidropónico, si se extrapola esa reducción lineal hasta el día inicial ($t=0$), entonces la reducción sería de 5.1 Mcal EM/m^2 , lo que implica que el costo respiratorio fue 52% de la energía metabolizable inicialmente presente en el grano (cuadro 16).

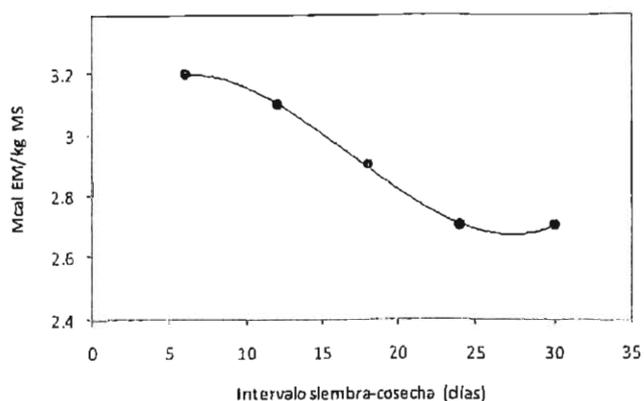


Figura 11. Evolución del contenido de energía metabolizable (MCal EM/kg MS) de forraje verde hidropónico de maíz

7.8.2 Rendimiento de proteína

Hasta el día 18 no aumentó el rendimiento de proteína, de forma tal que hasta ese día los incrementos en porcentaje de proteína (Cuadro 11), se debieron a la reducción de la l causado por la respiración (asociada al proceso de germinación). Por esta razón el aumento en contenido de proteína, no representa ninguna ventaja para el proceso productivo. A partir del día 18 comenzó a aumentar rápidamente el rendimiento de proteína de modo tal que el día 30 fué 24% mayor a la cantidad inicial de proteína. Si bien este incremento es más modesto que el 71% de incremento en porcentaje de proteína, representa un beneficio real para el sistema de producción aunque la recomendación debe basarse en el análisis de beneficio económico de la producción neta de 62 g PC/m².

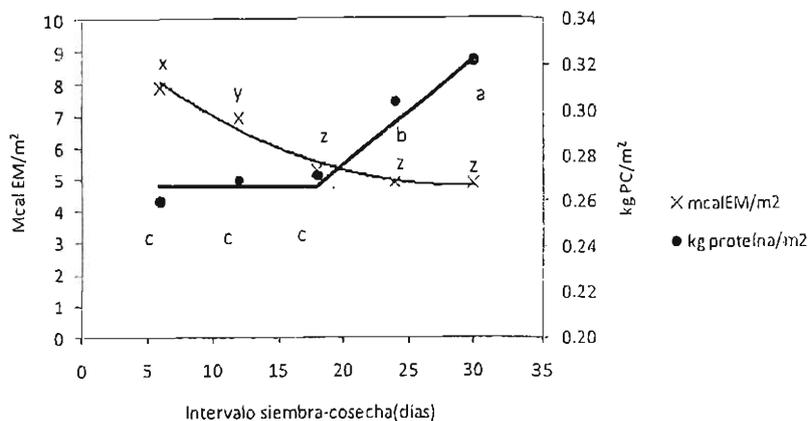


Figura 12 Efecto de intervalo siembra cosecha (en días) sobre el rendimiento en energía metabolizable (Mcal EM m⁻²) y proteína (g PC m⁻²) de forraje verde hidropónico de maíz; a,b,c: medias con un mismo literal no difieren ($p \geq 0.05$); x, y, z: medias con un mismo literal no difieren ($p \geq 0.05$)

Cuadro 16 Efecto de intervalo siembra cosecha (en días) sobre el rendimiento en energía metabolizable (Mcal EM m⁻²) y proteína (g PC m⁻²)

Día	Mcal EM m ⁻²		g PC m ⁻²	
6	0.769	a	25.445	c
12	0.656	b	24.470	c
18	0.518	c	25.184	c
24	0.489	c	28.890	b
30	0.514	c	32.737	a

VIII. CONCLUSIONES

El híbrido San José resultó más precoz que el Criollo Huamantla, lo cual se puso de manifiesto a través de mayor rendimiento en peso fresco y seco, mayor contenido de fibra y menor contenido de proteína.

Como se esperaba en primavera fueron mejores las condiciones de crecimiento, por lo que en esa estación fueron mayores los rendimientos en peso fresco y peso seco así como en el contenido de cenizas.

El rendimiento de proteína representó 24% de la proteína inicialmente presente en tanto que se estimó que 52% de la energía inicialmente presente fue utilizada en el proceso de germinación, sin que haya sido posteriormente repuesta por el proceso de fotosíntesis.

Los resultados obtenidos implican que, en términos de rendimientos de materia orgánica y energía metabolizable, la producción de forraje verde hidropónico de maíz no resultó recomendable.

IX. LITERATURA CITADA

Aguilar, Z. H. y Torre, De la P. A. 2000. Contenido de proteína cruda y digestibilidad del maíz para forraje. (Tesis Departamento de Fitotecnia) Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.

Agustín, M. J. 2007. Producción de Forraje Verde Hidropónico y formulación de dietas para vacas lecheras. (Tesis. Departamento de Fitotecnia). Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.

AOAC. 2002. Official Methods of analysis 15 th ed. Association Official Agricultural Chemists., Arlington VA.

Arano, R. C. 1998. Forraje verde hidropónico y otras técnicas de cultivo sin tierra. Buenos Aires, Argentina. Editado por el autor.

Barnes, R. F. y Baylor, J. E. 1995. Forages, an introduction to grassland agricultural. (vol 1) Iowa State University Press, Ames, Iowa. pp. 3-13.

Carballido, C. C. 2006. Forraje Verde Hidropónico. Consultada el 29 de abril de 2009, de <http://www.ofertasagricolas.cl/articulos/print.php?id=88>

Carballo, M. C. 2000. Manual de procedimientos para germinar granos para alimentación animal. Consultada el 5 de julio de 2009, de <http://www.zoetecnocampo.com/Documentos/germinados.htm>

Cassman, K. G. 1999. Ecological intensification of cereal production system: yield potencial, soil quality, and precision agriculture. Proceeding of National Academy

of Sciences of United States of America, 96 (11), 5891 – 6571.

Castillo, J. M., Rojas, B. A. y Wing Ching, J. R. 2009. Valor nutricional del ensilaje de Maíz cultivado en asociación con *Vigna* (*Vigna radiata*). *Agronomía Costarricense*, 33 (1), 133-146.

Chavan, J. y Kadam, S. S. 1989. Nutritional improvement of cereals by sprouting. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 28(5): 401-437.

Cherney, D. J. R. 2000. Forage evaluation in ruminant nutrition. CABI Publishing. Pp. 281-300 Wallingfor, UK.

Chung, T., Nwokolo, E.N., y Sim, J.S. 1989. Compositional and digestibility changes in sprouted barley and canola seeds. *Plant Foods for Human Nutrition*. 39: 267-278.

Church, D. C., Pond, W. G. y Pond, K. R. 2002. Fundamentos de nutrición y alimentación de animales. México D. F. Editorial Limusa.

Cuddeford, D. 1989. Hydroponic grass. *In Practice* 11(5): 211-214.

Elizondo, J., y Boschini, C. 2002. Producción de forraje con maíz criollo y maíz híbrido. *Agronomía Mesoamericana*. 13 (1) 13-17.

Endo, T., Yamamoto, S., Honna, T., Takashima, M., Jimura, K., López, R., Benson, M., 2000 Behavior and distribution of salts under irrigated agriculture in the middle of Baja California, Mexico. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 71 (1), 18-26.

Estrada, F. y Romero, E. 2003. *Hidroponía* Consultada el 29 de junio de 2008, de

<http://www.geocites.com/Collage Park/Dorm/7635//Hidroponia/main.html>

FAO. 2001. Manual técnico, Forraje verde hidropónico; TCP/ECU/066 (A) "Mejoramiento de la disponibilidad de alimentos en los Centros de Desarrollo Infantil del INNFA". FAO, Santiago de Chile.

Favela, CH.P., Preciado, R. P. y Benavides, M. A. 2006. Manual para la preparación de soluciones nutritivas. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Torreón, Coahuila

Flores Z.; Urdaneta G.; Urdaneta, G., Ramones, J. 2004 Tiempo de remojo de semillas de maíz (zea mays) para producción de forraje verde hidropónico. XII Congreso Venezolano de Producción e Industria Animal 2004 Gramíneas.

Forage and Grazing Terminology Committee. 1991. Terminology for grazing lands and grazing animals. Pocahontas Press, Blacksburg, Virginia.

Fumagalli, A., Y Kunts, C. 2002. Como mejorar la oferta forrajera de los sistemas de cría. Cadena de la Carne Vacuna. Tecnologías para nuevos escenarios. IDIA 21 (2), 73-78.

Gayean, M. L. 1997. Laboratory procedures in animal nutrition research: West Texas A & M University, Division of Agriculture Texas A & M Research and Extension Center, Amarillo, Texas. 192 pp.

Gil, V. I., y Miranda V. I. 2000. Producción de tomate rojo en hidroponía bajo invernadero. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.

Hernández, O. J., Gil, V. I. y Miranda, V. I. 2007 Introducción a la hidroponía y

manejo de invernaderos. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.

Kenney, P.A., Black J.L. y Colebrook, W. F. 1984. Factors affecting diet selection by sheep 3. Dry matter content and particle length of forage. *Australian Journal of Agricultural Research*. 35: 831 – 838.

Mc Donald, P. 1999 *Nutrición Animal*. Editorial Acribia Zaragoza, España

Minson, D. J. 1990. *Forage in ruminant nutrition*. Academic Press, London, 483 pp.

Montalvo, M. I. 2005. Maíz. XI Seminario de especies forrajeras. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.

Morales, G. J. 2002. Densidad de siembra y contenido nutrimental del forraje verde hidropónico y su efecto en la ganancia de peso en ganado ovino. (Tesis. Departamento de Fitotecnia). Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.

Morgan, J., Hunter, R. R., y O'Haire, R. 1992. Limiting factors in hidroponic barley grass production. 8th International Congress on Soilless Culture, Hunter's Rest, South Africa.

NRC. 2001. *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*. 7a. Edición. Subcommittee on Dairy Cattle Nutrition, Committee on Animal Nutrition, National Research Council. National Academy Press. Washington D. C. 381 pp.

Resh, M H. 2001. *Cultivos Hidropónicos nuevas técnicas de producción*. 5ª. Ed. edición Madrid, España. Ed. Mundi-Prensa

Rios, S. E. 2006. Nutrición Mineral de Forraje Verde Hidropónico. (Tesis Departamento de Suelos). Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo México.

Sánchez, D. C. F. y Escalante, R. E. 1988. Hidroponía: principios y métodos de cultivo 3ª. Edición. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.

Shimada, M., A. 2003. Nutrición Animal. 1ª. Edición. Editorial Trillas. México.

Tudor, G.; Darcy, T.; Smith, P. y Sallcross, F. 2003. *The intake and liveweight change of droughtmaster steers fed hydroponically grow sprouted barley fodder.* Department of Agriculture Western Australia.

Sosa, de P., E. 1979. Manual de procedimientos analíticos para alimentos de consumo animal. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.

Van Soest, P. J. 1994. Nutritional Ecology of the Ruminant: Cornell University Press 2 ed. Ithaca, New York. 476 pp.

Van Soest, P. J., Robertson, J.B. y Lewis, B.A. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal Dairy Science.* 74, 3583-3597.

Vargas, R. C. F. 2008. Comparación productiva de forraje verde hidropónico de maíz, arroz y sorgo negro forrajero. *Agronomía Mesoamericana.* 19(2) 233 – 240.

Velazco, Z. M. A., Hernández, G. A., González, H. V. A., Pérez, P. J., Vaquera y Galvis, S. A. H. 2001. Curva de crecimiento y acumulación estacional de pasto ovillo (*Dactylis glomerata* L.). Consultada el 24 de julio de 2009, de <http://www.tecnica pecuaria.org.mx>

Whitehead, D.C. 2000. Nutrient Elements in Grassland CAB International. United Kingdom. 369 pp.

Young, A. 1999. Is there Really Spare Land? A Critique of Estimates of Available Cultivable Land in Developing Countries. *Environment, Development and Sustainability*. 1 (1), 3 - 18.

Zaragoza, E. J., Alfonso Hernández, G. A., Pérez P. J., Herrera, H. J. G., Osnaya, G. F., Martínez, H.A.P., S. G. M. S., Quero C.A.R. 2009. Análisis de crecimiento estacional de una pradera asociada alfalfa-pasto ovillo. *Técnica Pecuaria en México*. 47(2): 173-178.