

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA  
VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIÓN Y EXTENSIÓN  
DIRECCIÓN DE PROYECTOS**

**INFORME FINAL DE PROYECTO**

**EVALUACIÓN BIOLÓGICA Y ECONÓMICA DEL USO DE  
FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO (FVH) EN LA  
PRODUCCIÓN DE LECHE  
5402 – 2151 – 7501**

**Coordinador del Proyecto: Gilda Muñoz Gómez  
Informe elaborado por: Alberto Camero Rey**

**JULIO 2008**

## INDICE

I. REFERENCIA AL PROYECTO	1
1. Resumen general	1
2. Investigadores participantes	2
3. Fecha de inicio y finalización	2
4. Objetivos del proyecto	2
5. Cumplimiento de los objetivos propuestos	3
6. Estado de presupuesto y ejecución	3
7. Consideraciones finales al proyecto	4
II. CAPITULO 1.	6
1. INTRODUCCION	7
1.1. Objetivos	8
2. REVISION DE LITERATURA	8
2.1. Definición de hidroponía	8
2.2. Definición de FVH	8
2.3. Metodologías para la producción de forraje verde	9
2.4. Condiciones ambientales idóneas para la producción De FVH	11
3. MATERIALES Y METODOS	11
3.1. Localización del estudio	11
3.2. Metodología propuesta para la producción de forraje Verde hidropónico	12
4. RESULTADOS Y DISCUSION	15
4.1. Selección de la semilla	15
4.2. Lavado y desinfección de la semilla	15
4.3. Prueba de germinación	15
4.4. Pregerminado de la semilla	16
4.5. Densidad de siembra	16
4.6. Control de luminosidad	16
5. CONCLUSIONES	18
6. LITERATURA CITADA	19
III. CAPITULO 2.	21
1. INTRODUCCION	22
1.1. Objetivos	23
2. REVISION DE LITERATURA	24
2.1. Valor nutricional del FVH	24
2.2. Valores productivos del FVH	24
3. MATERIALES Y METODOS	25
3.1. Características del sitio de estudio	25
3.2. Metodología de producción de FVH utilizada	25

3.3. Tratamientos evaluados	26
3.4. Variables productivas evaluadas	26
3.4.1. Relación kg de forraje producido/kg semilla	26
3.4.2. Biomasa en fresco (kg PF/m <sup>2</sup> )	27
3.4.3. Materia seca (%)	27
3.5. Variables nutricionales evaluadas	28
3.5.1. Digestibilidad, materia seca y proteína cruda	28
3.5.2. Prueba de palatabilidad de las especies forrajeras	28
3.6. Costos variables de producción	28
3.7. Análisis de las variables	28
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	29
4.1. Relación kg de forraje producido/kg de semilla	29
4.2. Materia seca (% MS)	30
4.3. Producción de biomasa (kg/m <sup>2</sup> )	32
4.4. Variables nutricionales	33
4.4.1. Proteína cruda (% PC)	34
4.4.2. Digestibilidad in Vitro de la materia seca	35
4.5. Palatabilidad de las especies forrajeras	36
4.6. Costos variables de la producción de FVH	38
5. CONCLUSIONES	38
6. LITERATURA CITADA	39
III. CAPÌTULO 3.	41
1. INTRODUCCION	42
1.1. Objetivos	42
2. REVISION BIBLIOGRAFICA	43
2.1. Las pasturas como base alimentaria en el trópico	43
2.2. El forraje verde hidropónico	44
2.3. Usos de FVH en la alimentación animal	44
3. MATERIALES Y METODOS	45
3.1. Localización del ensayo	45
3.2. Tratamientos evaluados	45
3.3. Definición del diseño experimental	46
3.4. Modelo estadístico	46
3.5. Período experimental	47
3.6. Selección del grupo experimental	47
3.7. Variables de respuesta	48
3.7.1. Producción de leche	48
3.7.2. Composición química de la leche	48
3.8. Balance nutricional	48
3.8.1. Consumo de materia seca	48
3.8.2. Requerimientos de energía neta	49
3.9. Manejo de los animales	49
3.9.1. Alimentación	49
3.9.2. Manejo de los animales según tratamientos	50

3.9.3. Horario de alimentación	50
4. RESULTADOS Y DISCUSION	51
4.1. Producción de leche y sus constituyentes	51
4.2. Valor nutricional de la dieta consumida	54
4.3. Consumo diario promedio de materia seca en cada Tratamiento durante la fase experimental	56
4.4. Balance nutricional estimado para la producción de leche de las vacas en cada Tratamiento	57
5. CONCLUSIONES	59
6. LITERATURA CITADA	60

# I. REFERENCIA AL PROYECTO

## 1. Resumen general

Este informe presenta en forma de artículos, según normativa aceptada por la Vicerrectoría de Investigación y Extensión, los resultados finales del proyecto de investigación 5402–2151–7501, titulado “Evaluación biológica y económica del uso de forraje verde hidropónico (FVH) en la producción de leche” .

Con este trabajo de investigación se pretendió desarrollar y validar un modelo de producción de FVH para suplementación alimenticia animal. El estudio se llevó a cabo en la finca La Esmeralda del Instituto Tecnológico de Costa Rica, Distrito Florencia, Caserío Santa Clara, Cantón San Carlos, Provincia de Alajuela, Costa Rica; localizada a 10° 22´ Latitud Norte, 84° 31´ Longitud Oeste y a una altura de 160 m.s.n.m. Temperatura máxima de 30.1 °C, una media mínima de 21.5 °C y una media general de 25.6 °C. La precipitación anual promedio es de 3300 mm. La humedad relativa promedio de 84% con una máxima y mínima de 95 y 60%, respectivamente.

La investigación se desarrolló en dos fases:

Primera fase: Se desarrolló la tecnología de producción de FVH para evaluar la producción de diversos materiales forrajeros. De esta fase se generaron dos artículos: a) “Metodología para la producción de forraje verde hidropónico (FVH) bajo condiciones de invernadero en la zona norte de Costa Rica” y b) “Efecto de diferentes edades de cosecha sobre la producción y valor nutricional del forraje verde hidropónico (FVH) del maíz blanco, maíz amarillo y arroz bajo condiciones de invernadero en la zona norte de Costa Rica.

Segunda fase: Se validó la metodología desarrollada y se evaluó el efecto del FVH como suplemento en vacas lecheras. A partir de esta fase se generó un artículo

titulado “Evaluación del uso de forraje verde hidropónico de maíz sobre la producción de leche de vacas en pastoreo”.

Es de hacer notar que como parte de este proyecto se desarrollaron dos tesis de grado de Licenciatura de la Escuela de Agronomía en la Sede San Carlos:

- Erick Francisco Vargas Carrillo. 2007. Desarrollo y validación de una metodología para la producción de forraje verde hidropónico bajo condiciones de invernadero en la Zona Norte de Costa Rica
- Carlos Eduardo Mora Agüero. 2008. Evaluación del uso de forraje verde hidropónico de maíz (FVHM) sobre la producción de leche de vacas en pastoreo

## **2. Investigadores participantes:**

Nombre del investigador	Cédula	Escuela	Jornada (hrs/sem)	Meses en el proyecto	Plaza
Gilda Muñoz Gómez	2-316-438	Agronomía	4	18	VIE
Luís Alberto Camero	8-086-101	Agronomía	10	18	VIE
Carlos Ramírez	4-141-024	Agronomía	2	18	VIE

**3. Fecha de inicio y finalización:** Enero 2007 a junio 2008

## **4. Objetivos del proyecto**

### **Objetivo general**

- Desarrollar y validar un modelo de producción de FVH como suplementación alimenticia que permita solventar problemas de consumo de materia seca de buena calidad.

## Objetivos específicos

- Probar metodológicamente los pasos para la producción de FVH
- Determinar valores productivos nutricionales de diferentes FVH
- Determinar el efecto de diferentes niveles de suplementación con FVH en la producción y calidad de leche en condiciones de pastoreo.
- Documentar la experiencia obtenida y transmitir los resultados a través de publicaciones y días de campo

## 5. Cumplimiento de los objetivos propuestos

Objetivos específicos	% de cumplimiento
Probar metodológicamente los pasos para la producción de FVH	100
Determinar valores productivos y nutricionales de diferentes FVH	100
Determinar el efecto de diferentes niveles de suplementación en la producción de leche en vacas bajo pastoreo  Medir la respuesta en producción (kg/vaca/día) y calidad de la leche (% grasa y sólidos totales) de vacas consumiendo FVH	100
Documentar la experiencia obtenida y transmitir los resultados a través de días de campo, publicaciones técnicas y científicas	100

## 6. Estado de presupuesto y ejecución.

Según el Departamento Financiero Contable de la Sede San Carlos, el presupuesto solicitado para la realización del proyecto se ejecutó aproximadamente en un 90%. En el siguiente cuadro se detalla la ejecución presupuestaria por conceptos.

<b>Concepto de gasto</b>	<b>Presupuestado</b>	<b>Ejecutado</b>
<b>Servicios</b>		
Gestión y apoyo	120,000.00	116,000.00
Alquiler de maquinaria y equipos	100,000.00	100,000.00
Viáticos dentro del país	155,000.00	153,200.00
Mantenimiento edificios y locales	50,000.00	42,000.00
<b>Total Servicios</b>	<b>425,000.00</b>	<b>411,200.00</b>
<b>Materiales y suministros</b>		
Productos químicos	175,000.00	174,751.00
Productos agroforestales	480,000.00	356,350.00(*)
Alimentos y bebidas	25,000.00	24,800.00
Materiales y metálicos	200,000.00	147,095.00
Herramientas e instrumentos	50,000.00	50,000.00
Materiales de oficina	55,000.00	53,775.00
Productos papel e impresión	40,000.00	39,596.00
<b>Total Materiales y suministros</b>	<b>1,025,000.00</b>	<b>846,367.00</b>
<b>Gran total</b>	<b>1,450,000.00</b>	<b>1,257,567.00</b>

(\*) Debido a que durante el mes de diciembre las oficinas administrativas del ITCR no funcionaron por motivo de vacaciones colectivas y el proyecto debía mantenerse en ejecución, los gastos para compras de semilla (150,000.00 Colones) fueron realizados con fondos personales del investigador, que no pudieron ser cubiertos por presupuesto del proyecto. Esto se reflejó en una sub ejecución presupuestaria en este objetivo de gasto.

## **7. Consideraciones finales al proyecto**

1. Es factible la producción de forraje verde hidropónico bajo las condiciones de Trópico húmedo
2. El forraje verde hidropónico de maíz (blanco y/o amarillo) presenta un buen Valor nutricional en cuanto a proteína y digestibilidad de la materia seca
3. Aunque no se encontraron diferencias estadísticamente significativas, se observa que a medida que se aumentan los niveles de suplementación, se da una tendencia a aumentar la producción de leche
4. La suplementación con FVHM no afectó los constituyentes de la leche
5. Es necesario realizar nuevas investigaciones, especialmente referidas a dinámica y productos de la degradación ruminal; niveles de consumo y mejoramiento del contenido de materia seca del FVH producido.

# CAPITULO 1

## METODOLOGÍA PARA LA PRODUCCIÓN DE FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO (FVH) BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO EN LA ZONA NORTE DE COSTA RICA.

### RESUMEN

El presente trabajo planteó el desarrollo (a partir de metodologías existentes para producción de forraje verde hidropónico) de un protocolo adaptado a las condiciones de trópico húmedo. Los resultados de las adaptaciones realizadas y valoradas permitieron establecer una nueva metodología con variantes en la limpieza de semillas, tiempo de imbibición, lavado, desinfección, densidad de siembra, control de luz y aplicación de riego. El trabajo se desarrolló en el Instituto Tecnológico de Costa Rica, Sede Regional San Carlos, Caserío Santa Clara, Distrito Florencia, Cantón San Carlos, Provincia de Alajuela, Costa Rica.; localizada a 10° 22` Latitud Norte, 84° 31` Longitud Oeste y a una altura de 160 m.s.n.m. Temperatura máxima de 30,1° C y mínima de 21,5 °C. Precipitación anual promedio es de 3300 mm y la humedad relativa promedio es de 84%. Con base a las adaptaciones metodológicas, observaciones de resultados obtenidos y las condiciones descritas tanto de luminosidad y temperatura, los principales resultados sugieren el lavado y desinfección de la semilla por 10 minutos en hipoclorito de Na al 2% e inhibición por 14 horas; pregerminado en la oscuridad por 24 horas; 3,5 kilogramos de semilla/m<sup>2</sup>; agua a razón de 4,2 l/m<sup>2</sup>/día los tres primeros días de germinado; solución nutritiva a razón de 11,4 l/m<sup>2</sup>/día a partir del cuarto día a la cosecha.

**Palabras claves:** hidroponía, forraje verde hidropónico, fertirriego.

## 1. INTRODUCCIÓN

En el trópico, resulta muy difícil la producción de forrajes de buena calidad para la alimentación animal que logren cubrir todas sus necesidades nutricionales, ya que las condiciones ambientales del entorno no son las más apropiadas. Por tal motivo se debe recurrir a suplementos alimenticios para complementar dichas necesidades (Pezo 1999). La principal alternativa es la alimentación con concentrados; sin embargo, actualmente, este alimento presenta un elevado costo debido a la importación de muchas materias primas, y se vislumbra un futuro mucho más difícil por competencia de insumos como el maíz para la elaboración de otros productos como biocombustibles (Morales 1987 citado por Sánchez 2002). Ante este panorama una alternativa para suplementar la dieta básica de las vacas en pastoreo, puede ser el Forraje Verde Hidropónico (FVH), que se obtiene como parte del proceso de germinación y crecimiento de semillas de especies con potencial forrajero, desarrolladas sin más sustrato que la aplicación continua de soluciones líquidas. Las raíces se entrelazan y el follaje se extiende formando una especie de alfombra, la cual es consumida en su totalidad por los animales. Según Ñíguez (1986), el forraje verde hidropónico presenta una limitante para su uso como suplemento alimenticio en rumiantes debido a su bajo contenido de materia seca, pudiéndose resolver esta carencia agregando materia seca proveniente de rastrojos de otros cultivos que pueden ser fáciles y baratos de conseguir. Según Castro (2006), en Costa Rica la aplicación de la hidroponía se ha venido difundiendo especialmente en la producción de hortalizas y ornamentales bajo condiciones controladas, sin embargo existe poca información sobre el uso de esta tecnología para producir forraje para la alimentación animal. Actualmente existen varios métodos de producción de FVH de uso común (soluciones nutritivas líquidas, sustratos inertes con soluciones nutritivas, etc.), aunque todos están basados en un mismo fundamento: utilizar elementos minerales para elaborar una solución acuosa que alimente a las plantas (Samperio 1997). Sin embargo, muchos de éstos métodos se han desarrollado en base a resultados obtenidos con materiales (especies vegetales) y condiciones agroclimáticas muy diferentes a las de trópicos húmedos (Sánchez 2002, Izquierdo 2003, Rodríguez

2003, Alpizar 2004), donde la influencia de los elementos climáticos como temperatura, luminosidad y humedad ambiental juegan un papel primordial en el desarrollo de las plantas y la presencia de elementos negativos como plagas y enfermedades.

1.1. Objetivos: Con estos antecedentes se planteó como objetivo crear a partir metodologías de producción de FVH desarrolladas en otras latitudes un protocolo de producción de FVH adaptado a las condiciones del trópico de Costa Rica, como alternativa para la alimentación animal.

1.2. Hipótesis: Bajo las condiciones de trópico húmedo es factible la producción de FVH

## **2. REVISIÓN DE LITERATURA**

### 2.1. Definición de hidroponía

De acuerdo a lo conceptualizado por Samperio (1997), en palabras griegas, “hydros” significa agua y “ponos” cultivo, definiéndose como hidroponía “trabajos en agua”; Mientras que la Real Academia Española de la Lengua lo define como: “Cultivo de plantas en soluciones acuosas, por lo general con algún soporte como arena, grava, etc.” (Samperio 1997). En otras palabras significa desarrollar cultivos sin suelo, suministrando los nutrientes necesarios a través del agua (Alpizar 2004). De esta manera se logran obtener productos con rápido desarrollo, buena sanidad, facultad de resistencia y altos rendimientos (Penningsfeld 1975).

### 2.2. Definición de FVH

Tarrillo (2005) define el forraje verde hidropónico como el resultado del proceso de germinación de granos de cereales o leguminosas (maíz, sorgo, cebada, alfalfa, etc.) realizado durante un período de 10 a 12 días, captando energía del sol y asimilando los minerales de la solución nutritiva, sin uso de ningún sustrato. Una vez que el

grano ha germinado, la plántula alcanza una altura promedio de 25 centímetros; el animal consume absolutamente todo el resultado del proceso, o sea, el tallo y las hojas verdes, los restos de semilla y la raíz. Mooney (2005), describe el forraje verde hidropónico como un alimento suplementario de alto valor (muy rico en proteína y energía metabolizable) y calidad nutricional (rendimiento de carne y leche) para la alimentación animal.

### 2.3. Metodologías para la producción de forraje verde hidropónico

Existen diferentes métodos para producir forraje verde hidropónico. A continuación se hace una descripción de los pasos a seguir sugeridos por varios autores.

- Selección de la semilla: Según Sánchez (2002) y Rodríguez (2003) para la producción de FVH uno de los aspectos importantes a considerar es la selección de la especie forrajera, donde hay que tener en cuenta la disponibilidad local, el precio de adquisición y que esté libre de contaminantes. Además, es fundamental que éstas no hayan sido tratadas con agentes preemergentes o pesticidas tóxicos.
- Desinfección: Para evitar o disminuir problemas en la germinación de las semillas y desarrollo de las plántulas causadas por agentes bióticos como hongos y bacterias, Rodríguez (2003), indica que se pueden realizar desinfecciones a las semillas con hipoclorito de sodio al 4% en una proporción de 1 ml de de hipoclorito por 1 lt de agua durante 30 a 40 minutos. Mientras que Sánchez (2002) recomienda la sumersión en una solución de hipoclorito de sodio al 1% durante 30 segundos como mínimo y 3 minutos como máximo.
- Remojo y germinación de las semillas: Para lograr una completa imbibición, Sánchez (2002) recomienda sumergirlas en agua por un período no mayor de 24 horas, indicando que el porcentaje mínimo aceptable de germinación debe oscilar entre 70 y 75%. Para su germinación, Castro (2006), indica que es

necesario colocar las semillas en la oscuridad durante 48 horas y realizar pequeños rocíos con agua para estimular germinación y generación de raíces.

- Densidad de siembra: Sánchez (2002) indica que la densidad óptima de siembra oscila entre 2,2 y 3,4 kg/m<sup>2</sup>, considerando que las disposición de las semillas no deben superar los 1,5 cm de altura en las bandejas. Sin embargo Castro (2006) sugiere, que para la producción de FVH de maíz se debe utilizar 1,5 kg de semilla en una bandeja de 0,47 X 0,60 m (0,28 m<sup>2</sup>) lo que equivale a 5,3 kg/m<sup>2</sup>.
- Siembra; Las semillas deben ser distribuidas uniformemente sobre las bandejas de producción, distribuyendo una delgada capa de semillas sin sobrepasar los 1,5 cm de espesor (Sánchez 2002). Müller (2005) menciona que el pasto elefante (*Pennisetum purpureum*) picado, puede constituir una opción viable para la siembra del FVH, utilizado inmediatamente sobre la bandeja como cama con un espesor de 3 cm, de manera que se mejoren las condiciones de desarrollo de las semillas.
- Riego: Según Rodríguez (2003) en las primeras fases de crecimiento (1°-6° dds) se debe aplicar únicamente agua a un volumen de 830 ml/m<sup>2</sup> por día; mientras que a partir del día 7 y hasta el 12 se incrementará el volumen a 1460 ml/m<sup>2</sup> con una menor frecuencia y con la adición de nutrimentos. Según Sánchez (2002), el rango óptimo de conductividad eléctrica (CE) de una solución nutritiva debe ser de 1,5 a 2,0 mS/cm, por lo que serían más aptas las aguas con CE menores a 1,0.
- Cosecha: En términos generales, según Sánchez (2002), la cosecha del FVH se puede realizar entre los días 12 a 14, pero si existiera un faltante de alimento se puede efectuar una cosecha anticipada entre los 8 y 9 días. Por otro lado, ciclos muy largos no serían convenientes debido a la disminución de la calidad del FVH resultante.

## 2.4. Condiciones ambientales idóneas para la producción de FVH

La luminosidad según Sánchez (2002), es indeseable durante la germinación de las semillas, sin embargo es importante mantener una luz tenue desde la germinación hasta el 3<sup>o</sup>-4<sup>o</sup> dds en adelante, la luz debe ser bien distribuida pero sin llegar a ser directamente del sol; o sea, requiere una intensidad lumínica de 1000-1500 microwatts/cm<sup>2</sup> durante 12-14 horas diarias. La luz, según Valdivia (1996), estimula el desarrollo de la plántula y evita que se consuman las materias de reserva del grano, aumentando el valor nutritivo del FVH. La temperatura, por otro lado, debe mantenerse dentro del rango óptimo de 18-26°C para una adecuada producción de FVH. Además, para la germinación el rango oscila entre 18-21°C, con diferentes requerimientos según la especie (Sánchez 2002).

## 3. MATERIALES Y MÉTODOS

### 3.1. Localización del estudio

El estudio se desarrolló en un invernadero localizado en el campus del Instituto Tecnológico de Costa Rica, Sede Regional San Carlos, Caserío Santa Clara, Distrito Florencia, Cantón San Carlos, Provincia de Alajuela, Costa Rica; localizada a 10° 22` Latitud Norte, 84° 31` Longitud Oeste y a una altura de 160 m.s.n.m. El invernadero utilizado tenía un área de 120 m<sup>2</sup> (12 m x 10 m), una altura de 3 m en los bordes y 5 m en el centro, con un monitor o abertura cenital para favorecer la ventilación dentro del mismo. Se equipó con estantes metálicos, bandejas de plástico (0,27 x 0,53 m y 6,5 cm de altura), un estañón de 200 litros para la solución nutritiva, una bomba de gasolina, tuberías de PVC y poliducto, sistemas de riego por aspersión y goteo y un mecanismo de recolección de excedentes. Las temperaturas promedios durante el experimento fueron de 27,8 °C y una luminosidad de 31,004 y 64,214 Lux, adentro y afuera del invernadero, respectivamente.

### 3.2. Metodología propuesta para la producción de forraje verde hidropónico.

Se tomó como base la metodología de producción de forraje verde hidropónico descrita por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO (2001). A esta metodología se les realizaron modificaciones en cada una las etapas, adaptando en lo posible las mismas a las condiciones ambientales descritas en el invernadero.

Paso 1. Selección de la semilla. Para esta primera parte del estudio se decidió trabajar con maíz como especie experimental. Las semillas fueron seleccionadas manualmente, separando semillas vanas y quebradas. Por medio de un ventilador se les eliminó impurezas pequeñas como polvo y residuos de la mazorca.

Paso 2. Prueba de germinación: Se tomaron varias muestras de semilla y se realizó en laboratorio e invernadero pruebas de germinación. Para ello se tomaron tres bandejas con 100 semillas cada una y durante tres días se contaron las semillas germinadas y se calculó el % de germinación.

Paso 3. Desinfección de la semilla: Para la desinfección de la semilla, además de la recomendación propuesta por Sánchez (2002) (hipoclorito de sodio al 1% durante 30 segundos como mínimo y 3 minutos como máximo), a nivel de laboratorio se probaron diferentes soluciones y tiempos de sumersión de la semilla a razón de 1 ml de hipoclorito/litro de agua, a saber:

1. Control
2. Hipoclorito de sodio al 4% durante 45 minutos
3. Hipoclorito de sodio al 1% durante 3 minutos
4. Hipoclorito de sodio al 1% durante 10 minutos
5. Hipoclorito de sodio al 2% durante 3 minutos
6. Hipoclorito de sodio al 2% durante 10 minutos
7. Cal a 1000 ppm durante 180 minutos

Se colocaron 100 semillas en depósitos de vidrio (tres repeticiones) con las soluciones y tiempos indicados. Después de la desinfección, lavado e imbibición, las semillas fueron colocadas en germinadores y posteriormente finalizado el proceso de desarrollo de las plantas (12 días), se evaluó visualmente la presencia de enfermedades, especialmente hongos.

Paso 4. Enjuague y remojo de las semillas: Transcurrido el tiempo o período de desinfección, se realizó un enjuague riguroso, para luego iniciar la imbibición de las semillas por un período de 24 horas en un balde con agua. Según las recomendaciones de Sánchez (2002) las semillas se deben remojar durante 24 horas; en este mismo sentido, Castro (2006), recomienda 48 horas. Para el caso de esta investigación se tomaron dos lotes de semillas y se procedió a realizar la imbibición a los dos tiempos recomendados (lote A 24 horas y lote B 48 horas), procediendo cada 12 horas a escurrir el agua varias veces para brindar oxigenación a las semillas.

Paso 5. Pregerminación de las semillas: Finalizado el período de remojo o imbibición, se drenó totalmente el agua y se dejaron las semillas en los mismos recipientes por espacio de 24 horas para el lote A y 48 horas para el lote B, esto con el fin de estimular la germinación.

Paso 6. Densidad de Siembra: Para la evaluación de densidad de siembra, se trabajó con dos densidades 6,3 y 3,5 kg de semilla/m<sup>2</sup>. Las mismas fueron distribuidas en bandejas de plástico.

Paso 7. Control de la luminosidad: Para uniformizar las condiciones de luminosidad, en todo el estante se decidió colocar un protector solar (sarán). Los primeros tres días después de la siembra, se cubrió la totalidad de la estructura y en adelante se colocó únicamente sobre el nivel superior. Los días muy soleados y calurosos se extendió el sarán para cubrir todo el estante de 10 a.m. a 2 p.m.

Paso 8. Inicio de los riegos. Las bandejas se colocaron en estantes y se aplicó riego continuo con agua pura durante los primeros 4 días de crecimiento a razón de 4,2 l/m<sup>2</sup>/día, esto según las recomendaciones de Sánchez (2002).

Paso 9. Riego con solución nutritiva: A partir del cuarto día después de la siembra, se inició la aplicación de solución nutritiva mediante el sistema por goteo, a razón de 11,4 l/m<sup>2</sup>/día, utilizando 2,5 cc de la solución A y 1 cc de la solución B, por cada litro de agua según la formulación de Sánchez (2002) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Solución "A" y "B" concentradas de macro y microelementos.

Solución A	Cantidad g/10 l agua
Fosfato Monoamónico	340
Nitrato de Calcio	2080
Nitrato de Potasio	1100

Solución B	Cantidad g/10 l agua
Sulfato de Magnesio	492,00
Sulfato de Cobre	0,48
Sulfato de Manganeso	2,48
Sulfato de Zinc	1,20
Ácido Bórico	6,20
Molibdato de Amonio	0,02
Quelato de Hierro	50,00

## **4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **4.1. Selección de la semilla**

En la literatura consultada no se menciona una metodología específica de limpieza de las impurezas de manera previa al lavado, sin embargo se tomó como opción viable la eliminación de semillas quebradas, enfermas, vanas, basurillas, polvo, terrones, entre otras mediante el zarandeo y ventilación del material. Durante las primeras pruebas la semilla fue seleccionada manualmente en una mesa, sin embargo se convertía en un proceso cansado, lento y tedioso. Con la utilización del ventilador y zaranda, esta fase fue agilizada obteniéndose una semilla apta para la siembra.

### **4.2. Lavado y desinfección de la semilla**

A los 12 días de edad de las plantas se procedió a evaluar la presencia de enfermedades (especialmente presencia de hongos) en cada uno de los tratamientos evaluados (hipoclorito de sodio a diferentes concentraciones). Los resultados no evidenciaron ataque alguno de enfermedades en las semillas llevadas a germinación; sin embargo, se observó que bajo el tratamiento con hipoclorito de sodio al 2% durante 10 minutos se obtuvo al final de la cosecha un forraje de mejor aspecto (color verde más intenso).

### **4.3. Prueba de germinación**

Los resultados de las pruebas de germinación demostraron que bajo condiciones mejores controladas (laboratorio) los porcentajes de germinación (90%) fueron superiores con respecto a la germinación de las semillas en invernadero (70%). Estos resultados pudieron estar influenciados en el caso de invernadero a mayor variabilidad de elementos climáticos (luz y temperatura) y biológicos (enfermedades e insectos).

#### 4.4. Pregerminado de la semilla

Al evaluar los tiempos de pregerminado (24 y 48 horas) se observó que a mayor tiempo las raíces poseían una mayor longitud (4 cm) al compararlos con el tiempo de 24 horas (2 cm), lo que dificultó el llenado de los recipientes para la siembra ocasionando su maltrato y repercutiendo sobre la calidad del forraje resultante. El tiempo de pregerminado no afectó el porcentaje final de germinación de la semilla utilizada.

#### 4.5. Densidad de Siembra

Los resultados encontrados para dos densidades de siembra (6,3 y 3,5 kg de semilla/m<sup>2</sup>, respectivamente) demuestran que al reducir la densidad de siembra casi a la mitad, se obtiene una mayor relación de kg de FVH producido por cada kg de semilla utilizado. O sea, se mejora el rendimiento y aprovechamiento de la semilla al utilizar una densidad de 3,5 kg/m<sup>2</sup>, ya que la competencia entre plantas es menor por lo que se obtiene un mayor desarrollo y calidad del forraje (Cuadro 3). Esta densidad de siembra concuerda con lo recomendado por Sánchez (2002).

Cuadro 3. Resultados de diferentes densidades de siembra

kg semilla por bandeja	kg semilla por m <sup>2</sup>	Biomasa (kg/m <sup>2</sup> )	Relación kg FVH/kg semilla
0,9	6,3	21,8	3,5
0,5	3,5	17,0	4,9

#### 4.6. Control de luminosidad

Cuando se inició el experimento se pudo observar que al haber incidencia directa de la radiación solar sobre las semillas sembradas, esta afectó el desarrollo del follaje

ubicado en piso superior del estante (Figura 1), a diferencia de los pisos inferiores y que estaban protegidos por las bandejas del superiores.

La utilización de la malla sarán en el estrato superior permitió uniformidad de la radiación incidente, por lo tanto el desarrollo del follaje fue mejor (Figura 2).



Figura 1. Efecto solar ocasionado en el piso superior del estante durante la primera prueba experimental.

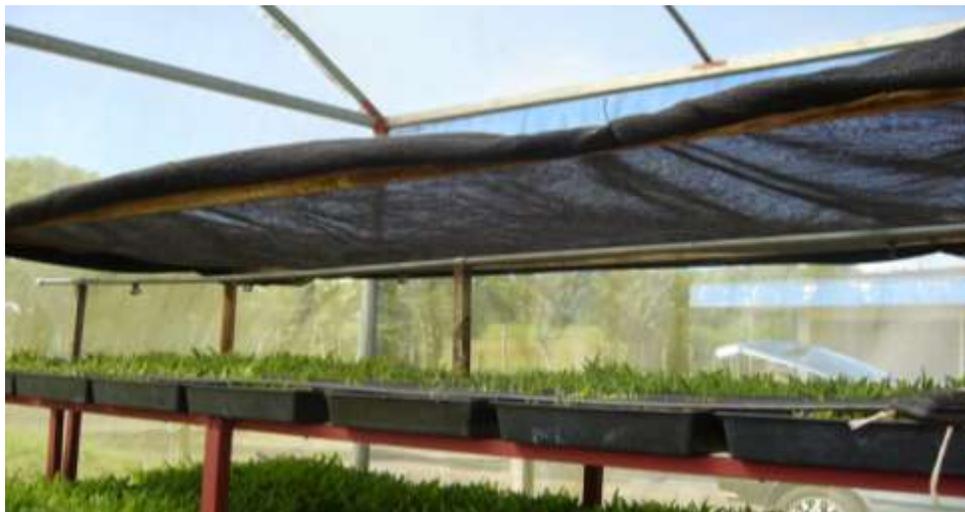


Figura 2. Sarán utilizado para el control de la luminosidad dentro del estante.

## 5. CONCLUSIONES

Con base a las adaptaciones metodológicas, observaciones de resultados obtenidos y las condiciones descrita tanto de luminosidad y temperatura, se concluye y propone el siguiente protocolo para la producción de forraje verde hidropónico:

Edad (dds)	Proceso	Descripción
-3	Selección de la semilla	Se zarandea y ventila la semilla, eliminando impurezas.
-2	Lavado, desinfección, imbibición	Se lava rigurosamente la semilla, se desinfecta por 10 minutos con hipoclorito de Na al 2% y se imbebe en agua por 24 horas.
-1	Pregerminación	Se bota el agua, dejando la semilla en oscuridad durante 24 horas.
0	Siembra	Se coloca el volumen correspondiente a 0,5 kg de semilla por bandeja (3,5 kg/m <sup>2</sup> ).
1-3	Riego con agua	Se aplican 4,2 l/m <sup>2</sup> /día en promedio de agua.
4-10	Riego con solución nutritiva	Se aplican 11,4 l/m <sup>2</sup> /día en promedio de solución nutritiva.
11-12	Cosecha	Cosecha

## 6. LITERATURA CITADA

- Alpizar, L. 2004. Hidroponía básica: el cultivo fácil y rentable de plantas sin tierra. 1ra edición. Editorial Diana, México. 153 p.
- Castro, A. 2006. Forraje hidropónico para alimentar cabras (en línea). MAG, Costa Rica. Consultado 04 abr. 2006. Disponible en [www.mag.go.cr/biblioteca\\_virtual\\_animal/cabra\\_hidro.html](http://www.mag.go.cr/biblioteca_virtual_animal/cabra_hidro.html).
- FAO (Oficina Regional para América Latina y el Caribe). 2001. Manual técnico: "Forraje Verde Hidropónico". TCP/ECU/066 (A) "Mejoramiento de la disponibilidad de alimento en los centros de desarrollo infantil del INNFA". Santiago, Chile
- Izquierdo, J. 2003. Manual Técnico: "La Huerta Hidropónica Popular". 3ra edición. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Santiago, Chile. Consultado 15 abr. 2006. Disponible en <http://www.rlc.fao.org/prior/segalim/prodalim/prodveg/10046.pdf>
- Mooney, J. 2005. Growing Cattle Feed Hydroponically. Australia. 30 p. Disponible en: [http://nuffield.com.au/report\\_f/2002/Joe%20Mooney.pdf](http://nuffield.com.au/report_f/2002/Joe%20Mooney.pdf).
- Müller, L. 2005. Produção e composição bromatológica da forragem hidropônica de milho, *Zea mays* L., com diferentes densidades de semeadura e datas de colheita. *Zootecnia Tropical* 23(2):105-119. Disponible en: [http://www.ceniap.ov.ve/pbd/RevistasCientificas/Zootecnia Tropical/zt2302/arti/muller\\_I.htm](http://www.ceniap.ov.ve/pbd/RevistasCientificas/Zootecnia_Tropical/zt2302/arti/muller_I.htm).
- Ñíguez, M.E. 1986. Producción de forrajes en condiciones de hidroponía II. Selección de especies y evaluación de la cebada y trigo. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales de la Universidad de Concepción, Sede Chillán, Chile.

- Penningsfeld, F. 1975. Cultivos hidropónicos y en turba. Editorial Mundi-Prensa, España. 310 p.
- Pezo, D. 1999. Sistemas Silvopastoriles. 2ª Edición. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 276 p.
- Rodríguez, A. 2003. Forraje verde hidropónico. Primera edición. Editorial Diana, México. 113 p.
- Samperio, G. 1997. Hidroponía: Cultivo sin tierra. Editorial Tecnológica de Costa Rica. Cartago, Costa Rica. 104 p.
- Sánchez, A. 2002. Manual técnico: Forraje verde hidropónico (en línea). Primera edición. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe, Santiago de Chile. 68 p. Consultado 15 abr. 2006. Disponible en <http://www.rlc.fao.org/prior/segalim/forraje.htm#documento>.
- Tarrillo, H. 2005. Forraje verde hidropónico, forraje de alta calidad, para la alimentación animal (en línea). Arequipa, Perú. Consultado 15 abr. 2006. Disponible en [http://www.sira-arequipa.org.pe/principal/inftecnica/manuales/art\\_forraje.doc](http://www.sira-arequipa.org.pe/principal/inftecnica/manuales/art_forraje.doc).
- Valdivia, E. 1996. Producción de Forraje Verde Hidropónico. En Hidroponía una esperanza para Latinoamérica. Curso-Taller Internacional de Hidroponía. CIHNM. UNALM Lima, Perú. 395 p.

## CAPITULO 2

### EFFECTO DE DIFERENTES EDADES DE COSECHA SOBRE LA PRODUCCIÓN, VALOR NUTRICIONAL Y ALGUNOS PARÁMETROS ECONÓMICOS DEL FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO (FVH) DEL MAÍZ BLANCO, MAÍZ AMARILLO Y ARROZ BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO EN LA ZONA NORTE DE COSTA RICA.

#### RESUMEN

El trabajo se desarrolló en el Instituto Tecnológico de Costa Rica, Sede Regional San Carlos, Caserío Santa Clara, Distrito Florencia, Cantón San Carlos, Provincia de Alajuela, Costa Rica.; localizada a 10° 22` Latitud Norte, 84° 31` Longitud Oeste y a una altura de 160 m.s.n.m; temperatura máxima de 30,1° C y mínima de 21,5 °C.; precipitación anual promedio es de 3300 mm y humedad relativa de 84%. Se evaluó la producción y valor nutricional de tres FVH. Los tratamientos evaluados fueron maíz blanco (MB), maíz amarillo (MA) y arroz (A) a tres edades de cosecha (8, 12 y 16 días de edad). El mejor resultado en cuanto a relación kg forraje fresco producido/kg de semilla utilizada se encontró para el FVH de MA (4 kgF/kgS) a los doce días de edad. En cuanto a materia seca (% MS) el FVH de A presentó el mejor valor (26 %) a los 8 días de edad. La proteína cruda (PC) presente en los forrajes MA (18.29%) fue superior a los otros tratamientos (11.4 y 11.2 %PC para MB y A, respectivamente). El mejor valor de digestibilidad de la materia seca (% DIVMS) lo presentaron los forrajes de MA (68%) y MB (66 %) encontrándose diferencias significativas al forraje de A (53 %). No se encontró diferencias para palatabilidad entre los forrajes de MA y MB, destacando que el forraje de A no fue consumido.

**Palabras claves:** Forraje verde hidropónico, valor nutricional, producción de materia seca, palatabilidad

## **1. INTRODUCCIÓN**

Los procesos de globalización, aperturas de mercados entre naciones y regiones, así como la competencia entre los recursos alimenticios utilizados para la alimentación humana y la alimentación animal, hacen que nuestras empresas ganaderas enfrenten el reto de poseer en el mercado de productos lácteos y cárnicos con estándares de calidad y precio competitivo. Para enfrentar este reto se necesita plantear y contar con estrategias tecnológicas que les permitan a nuestros productores desarrollar actividades productivas y económicamente viables que le aseguren mantenerse en el mercado en forma sostenible.

Los sistemas agropecuarios tropicales, en especial los dedicados a la producción de leche y carne de bovinos, se basan primordialmente en el uso de pasturas, en algunos casos con especies mejoradas genéticamente y en otros se usan especies nativas de bajo valor productivo y nutricional, que se manifiestan en baja producción y productividad animal. Nuestras condiciones agroclimáticas no son las ideales para mantener una producción forrajera de alta producción y calidad nutricional. Períodos marcados de exceso y déficit de lluvia, manejo inadecuado de las áreas dedicadas a pastoreo y en algunos casos el uso de material genético animal no adecuado para las condiciones tropicales, se refleja en pérdidas económicas para los productores.

Bajo estas consideraciones se hace necesario y prioritario el uso de recursos suplementarios a las dietas básicas de los animales para poder llegar a producir más o al menos mantener las condiciones de los animales. Por lo general el recurrir al uso de concentrados comerciales es la alternativa más común utilizada por los productores de leche, sin embargo esta práctica es cada día más onerosa y prohibitiva por el alto costo de los insumos utilizados para su elaboración.

Con base a estos antecedentes, se condujo el presente trabajo con el objetivo de generar información a partir de un protocolo de producción de FVH adaptado a las condiciones de trópico húmedo, que permitiera caracterizar la producción y valor

nutricional de diferentes forrajes verdes hidropónicos y su posible uso como suplementación alimenticia en sistemas tropicales de producción animal.

## 1.1. Objetivos

### 1.1.1. Objetivo general

- Evaluar el comportamiento productivo y valor nutricional del forraje verde hidropónico de tres especies de gramíneas a tres edades de cosecha.

### 1.1.2. Objetivos específicos

- Determinar la relación kg de forraje producido / kg de semilla utilizada
- Determinar el porcentaje (% MS) y producción de materia seca del forraje producido
- Determinar el valor nutritivo (PC y DIVMS) de los diferentes forrajes producidos
- Evaluar la palatabilidad de los diferentes forrajes producidos.
- Determinar Algunos parámetros económicos del FVH producido

### 1.1.3. Hipótesis

Bajo las condiciones de trópico húmedo es factible la producción de FVH en cantidad y buena calidad nutricional

## **2. REVISIÓN DE LITERATURA**

### 2.1. Valor nutricional del FVH.

Muchos autores (Valdivia 1996, Sánchez 2002, Rodríguez 2003, Carballido 2005, Tarrillo 2005, Castro 2006,) coinciden en que el uso de forraje verde hidropónico es una estrategia de producción de biomasa vegetal que se puede utilizar como

alternativa en la alimentación animal, sobre todo en aquellos sistemas de producción basados en el uso de concentrados comerciales.

Tarrillo (2005) describe el FVH de maíz como un suplemento forrajero de excelente valor nutricional, con un 80 – 90 %DIVMS, entre 13 y 20 %PC, 12 a 25 % de fibra cruda, y entre un 12 y 20 % de materia seca.

Los estudios realizados por Carballido (2005), demuestran que el valor nutricional (% proteína cruda, % NTD, % grasa, % digestibilidad) del forraje verde hidropónico de maíz es superior que el forraje de la planta madura de maíz y la alfalfa.

Castro (2006) reporta valores para FVH de maíz de 12 %PC, 3200 kcal de energía, 20 % de materia seca y 80 % DIVMS.

El FVH ha sido utilizado en varias especies de animales (cabras, conejos, vacas, etc.), y su principal carencia estriba en la materia seca, lo que puede solucionarse agregando rastrojo de diversos cultivos para completar la ración, componentes que no sólo son fáciles de encontrar, sino que también son baratos (Ñíguez 1978).

## 2.2. Valores productivos del FVH.

Datos reportados por Sánchez (2002) señalan cosechas con productividad de 12 a 18 kg de FVH de cebada cervecera a partir de 1 kg de semilla en un período de 15 días y con una altura promedio de 30 cm. Por otro lado, Rodríguez (2003), reporta una productividad de 10 kg de FVH por kg de semilla de maíz, éste producido en bandejas de 0,4 X 0,6 m y utilizando 0,5 kg de semilla, lo cual representa un total de biomasa de 20,8 kg/m<sup>2</sup>.

Izquierdo (2003), reporta rendimientos de 9 kg de FVH de maíz por kg de semilla a los 9 días de edad, donde la materia seca representó el 14%, la proteína cruda 19%, FAD de 21% y FND de 41%. El total de la biomasa fresca fue de 13 kg/m<sup>2</sup> con una densidad de siembra de 1,44 kg/m<sup>2</sup>.

Asimismo, Castro (2006), en Costa Rica, señala que la productividad de FVH de maíz a los 15 días alcanza los 6 kg de forraje por kg de semilla utilizada, resultando una biomasa total en fresco de 32 kg/m<sup>2</sup>.

### **3. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. Localización del estudio**

El trabajo se desarrolló en el Instituto Tecnológico de Costa Rica, Sede Regional San Carlos, Caserío Santa Clara, Distrito Florencia, Cantón San Carlos, Provincia de Alajuela, Costa Rica; localizada a 10° 22` Latitud Norte, 84° 31` Longitud Oeste y a una altura de 160 m.s.n.m. Las características climáticas generales de la localidad incluyen temperatura máxima de 30,1° C, una media mínima de 21,5 °C y una media general de 25,6 °C. La precipitación anual promedio es de 3300 mm y la humedad relativa promedio es de 84% con una máxima y mínima de 95 y 60% respectivamente.

#### **3.2. Metodología de producción de FVH utilizada**

A continuación se describen los pasos metodológicos para la producción del FVH utilizado.

- 1- Selección, lavado, desinfección, imbibición: Se lava rigurosamente la semilla, se desinfecta por 10 minutos con hipoclorito de Na al 2% y se imbebe en agua por 24 horas
- 2- Pregerminación: Se bota el agua, dejando la semilla en oscuridad durante 24 horas.
- 3- Siembra: Se coloca el volumen correspondiente a 0,5 kg de semilla por bandeja (3,5 kg/m<sup>2</sup>).
- 4- Riego con agua: Los primeros tres días se aplican 4,2 lts/m<sup>2</sup>/día en promedio de agua pura.

- 5- Riego con solución nutritiva: Del día 4 a la cosecha se aplican 11,4 lts/m<sup>2</sup>/día en promedio de solución nutritiva.

### 3.3. Tratamientos evaluados

MA8 = Maíz amarillo 8 días edad

MA12 = Maíz amarillo 12 días edad

MA16 = Maíz amarillo 16 días edad

MB8 = Maíz blanco 8 días edad

MB12 = Maíz blanco 12 días edad

MB16 = Maíz blanco 16 días edad

A8 = Arroz 8 días de edad

A12 = Arroz 12 días de edad

A16 = Arroz 16 días de edad

### 3.4. Variables productivas evaluadas

#### 3.4.1. Relación kg de forraje producido / kg de semilla utilizada

Se obtuvo al dividir el peso neto de FVH por bandeja entre la cantidad de semilla utilizada por bandeja (0,5 kg), ambos datos expresados en kg. La fórmula utilizada fue:

$$\text{Rel. kg FVH / kg semilla} = \frac{\text{kg FVH fresco / bandeja}}{0,5 \text{ kg}}$$

#### 3.4.2. Biomasa en fresco (kg PF/m<sup>2</sup>)

Correspondió a la producción (kg) de FVH fresco obtenido en 1 m<sup>2</sup>. Se calculó mediante la división del peso neto de material por bandeja entre el área del recipiente (0,53 x 0,27 m = 0,1431 m<sup>2</sup>). O sea:

$$\text{Biomasa en fresco} = \frac{\text{kg FVH / bandeja}}{0,1431 \text{ m}^2}$$

### 3.4.3. Materia seca (% MS)

Para determinar el % MS se tomaron porciones de 250-350 g de FVH por bandeja y se introdujeron en una bolsa de papel previamente pesada. Luego, se colocaron las muestras en una estufa de aire forzado a 60 °C durante 72 horas. Transcurridos los 3 días, se pesaron las muestras y se les restó el peso de la bolsa para obtener el peso seco neto. Finalmente, la variable fue calculada mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ MS} = \frac{\text{Peso seco neto}}{\text{Peso fresco neto}} \times 100$$

### Biomasa seca (kg PS/m<sup>2</sup>)

Se refirió al peso seco (kg) de FVH producido en 1 m<sup>2</sup>. Se obtuvo mediante la multiplicación de la biomasa en fresco por el % MS. O sea:

$$\text{Biomasa seca} = \text{Biomasa fresca (kg PF/m}^2) \times (\% \text{ MS} / 100)$$

## 3.5. Variables nutricionales evaluadas

3.5.1. Para determinar las variables nutricionales se tomaron tres muestras de cada tratamiento y se determinó digestibilidad *in vitro* de la materia seca (% DIVMS) utilizando el método de Tilley y Terry (1963) y proteína cruda (% PC) por el método de micro-Kjeldahl (AOAC 1990).

### 3.6. Prueba de palatabilidad de las especies forrajeras

La prueba de palatabilidad consistió en la aplicación de 2100 g de FVH de las especies forrajeras en tres comederos, de manera que cada canoa contuviera una muestra de las tres especies. Luego se introdujeron un trío de novillas raza Jersey con edades y pesos similares durante una hora, de tal forma que pudieran seleccionar y consumir el alimento de su preferencia. Los animales podían desplazarse alrededor de los tres comederos. El material más consumido, representó el más palatable. Se anotó el tiempo de consumo, ya que este factor juega un papel importante en la selectividad del animal, sobretodo si alguno fue consumido antes del final de la prueba (1 hora).

Consumo (kg) = FVH ofrecido (kg) – FV H residual (kg).

### 3.7. Costos variables de producción

Para determinar el costo de producción de FVH/m<sup>2</sup> se contabilizó el costo en Colones correspondiente a semilla, fertilizantes y desinfectante.

### 3.5. Análisis de las variables

Para las variables de relación kg FVH/kg semilla, biomasa en fresco, % MS y biomasa en seco, se implementó un diseño experimental irrestricto al azar, con un diseño factorial de tratamientos 3x3 (3 especies x 3 edades de cosecha) repetido 5 veces.

El modelo matemático se describe a continuación:

$$Y_{ijk} = U + F_j + C_k + (F \times C)_{jk} + E_{ijk}$$

Donde:

$Y_{ijk}$  = Cualquier observación realizada

U = Media general del experimento

$F_j$	= Efecto del material forrajero
$C_k$	= Efecto de la edad de cosecha
$(F \times C)_{jk}$	= Interacción material forrajero y edad de cosecha
$E_{ijk}$	= Error experimental

Para las variables de %PC y %DIVMS se implementó el mismo diseño experimental utilizado para las variables productivas, pero con 3 repeticiones de cada tratamiento. El modelo matemático corresponde al mismo descrito para las variables productivas. En ambos casos se utilizó la Prueba de Tukey como prueba de medias.

#### **4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

##### **4.1. Relación kg de forraje producido / kg de semilla**

En el Cuadro 1 se observan los resultados para la relación forraje producido (kgF) por kilogramo de semilla utilizado (kg/S). Los mejores resultados se encontraron para todos los tratamientos a los 12 y 16 días. A nivel de especie, la mayor relación se reporta para el FVH de maíz amarillo a las edades de 12 y 16 días con valores de 4,75 y 4,72 kgF/kgS, seguido del maíz blanco (4,05 y 4,03 kgF/kgS) y de último el arroz (3,75 y 3,55 kgF/kgS).

Según el desarrollo normal de cualquier planta, conforme aumente la edad, el crecimiento se va incrementando hasta alcanzar un valor asintótico; por lo tanto, si la cantidad de semilla es uniforme, esta variable será superior a mayor edad del forraje. Estos resultados se encuentran por debajo de los obtenidos por Rodríguez (2003), Castro (2006), CNC (2004) e Izquierdo (2003), los cuales reportan relaciones de 10 - 6 - 8 y 9 kgF/kgS respectivamente a los 14-15 dds, el último autor a los 9 dds. Esto puede deberse a los bajos porcentajes de germinación obtenidos en el experimento (70,2, 69,8 y 84,8 % de germinación para maíz amarillo, maíz blanco y arroz, respectivamente).

Cuadro 1. Efecto de los tratamiento sobre la relación kg de forraje producido por kg de semilla utilizada.

Tratamiento	Relación kgF/kgS
Maíz amarillo 8 días de edad	3,70 bc
Maíz amarillo 12 días de edad	4,75 a
Maíz amarillo 16 días de edad	4,72 a
Maíz blanco 8 días de edad	3,27 cd
Maíz blanco 12 días de edad	4,05 ab
Maíz blanco 16 días de edad	4,03 ab
Arroz 8 días de edad	2,92 d
Arroz 12 días de edad	3,75 bc
Arroz 16 días de edad	3,55 bcd

\* Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ).

#### 4.2. Materia seca (% MS)

En el Cuadro 2 se presentan los valores resultantes del efecto de los tratamientos sobre el % MS del FVH producido. Los mayores valores para el porcentaje de materia seca de los forrajes producidos se reportan para el arroz a edad de 8 días (26,08 %MS) y el resultado menor lo representó el tratamiento a base de maíz amarillo a la edad de 16 días (8,70 %MS). En este caso es importante señalar la densidad poblacional y las características de la semilla presentes en el arroz, ya que al ser la semilla más pequeña se obtienen mas plantas por área, las cuales en sus estados iniciales no son tan vigorosas como en el caso del maíz, sino que absorben menos humedad que la otra especie. Asimismo, la cascarilla del arroz es muy lignificada, factor que favorece el aumento de la MS ya que se resume en puro peso seco.

Cuadro 2. Efecto de los tratamientos sobre el % MS del FVH producido.

Tratamiento	%MS
Maíz amarillo 8 días de edad	16,82 cd
Maíz amarillo 12 días de edad	10,88 f
Maíz amarillo 16 días de edad	8,70 g
Maíz blanco 8 días de edad	20,04 b
Maíz blanco 12 días de edad	14,76 e
Maíz blanco 16 días de edad	11,70 f
Arroz 8 días de edad	26,08 a
Arroz 12 días de edad	18,16 bc
Arroz 16 días de edad	15,86 de

\* Letras distintas indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ).

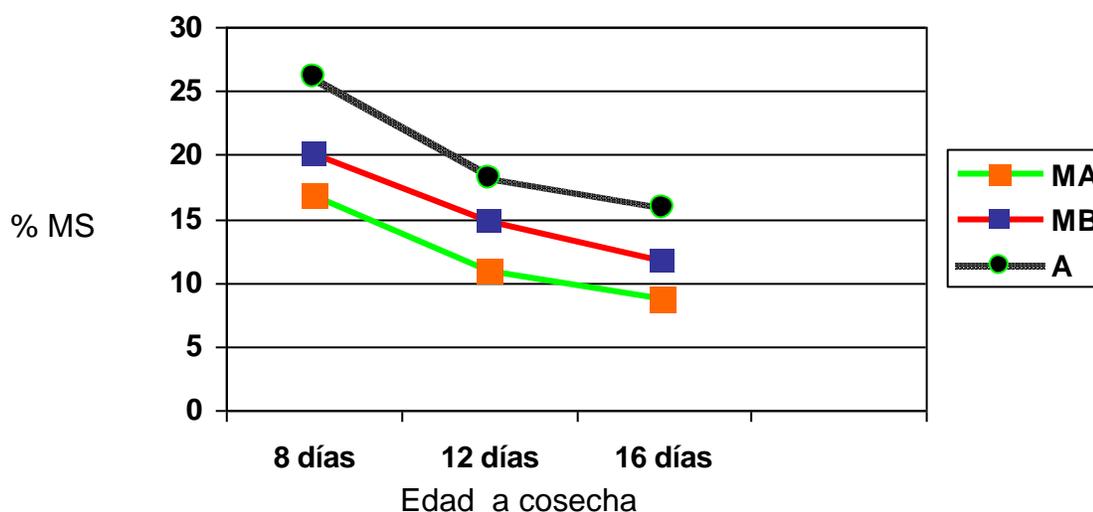


Figura 1. Efecto de la edad de cosecha en el porcentaje de materia seca del FVH

Se observa un valor más elevado del %MS en promedio para edades conforme disminuye la edad de cosecha (Figura 1). El mayor valor se obtuvo a los 8 dds (20,98 %MS), mientras que a los 16 dds se dio el menor (12,09 %MS). Castro (2006) y CNC (2004) reportan resultados de 20 y 18,6 %MS respectivamente. Al compararlos con los obtenidos en el experimento, algunos tratamientos como el arroz a los 8 días y

maíz blanco a los 8 días los superan; sin embargo otros no lo hacen y mas bien se reducen hasta 8,70 %MS en el caso del maíz amarillo a los 16 días a la cosecha..

#### 4.3. Producción de biomasa (kg/m<sup>2</sup>)

En el Cuadro 3 se reportan los valores obtenidos para esta variable. Los mejores resultados para la producción de biomasa en base seca se reportan para el tratamiento a base de arroz a edad de 8 días y 12 días (2,66 y 2,38 kg/m<sup>2</sup> respectivamente); mientras que los mas bajos se obtuvieron en el maíz amarillo y maíz blanco ambos a los 16 días de edad (1,43 y 1,66 kg/m<sup>2</sup> respectivamente) (Figura 2).

Cuadro 3. Efecto de los tratamientos sobre la producción de biomasa en base seca producido.

Tratamiento	Biomasa (kg/m <sup>2</sup> )
Maíz amarillo 8 días de edad	2,16 bc
Maíz amarillo 12 días de edad	1,80 de
Maíz amarillo 16 días de edad	1,43 f
Maíz blanco 8 días de edad	2,29 b
Maíz blanco 12 días de edad	2,09 bcd
Maíz blanco 16 días de edad	1,66 ef
Arroz 8 días de edad	2,66 a
Arroz 12 días de edad	2,38 ab
Arroz 16 días de edad	1,95 cde

\* Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ).

Al igual que con la variable de %MS a nivel de especie, los mejores resultados promedios se dieron con el arroz (2.33 kg/m<sup>2</sup>); y a nivel de edad a los 8 días (2,37 kg/m<sup>2</sup>).

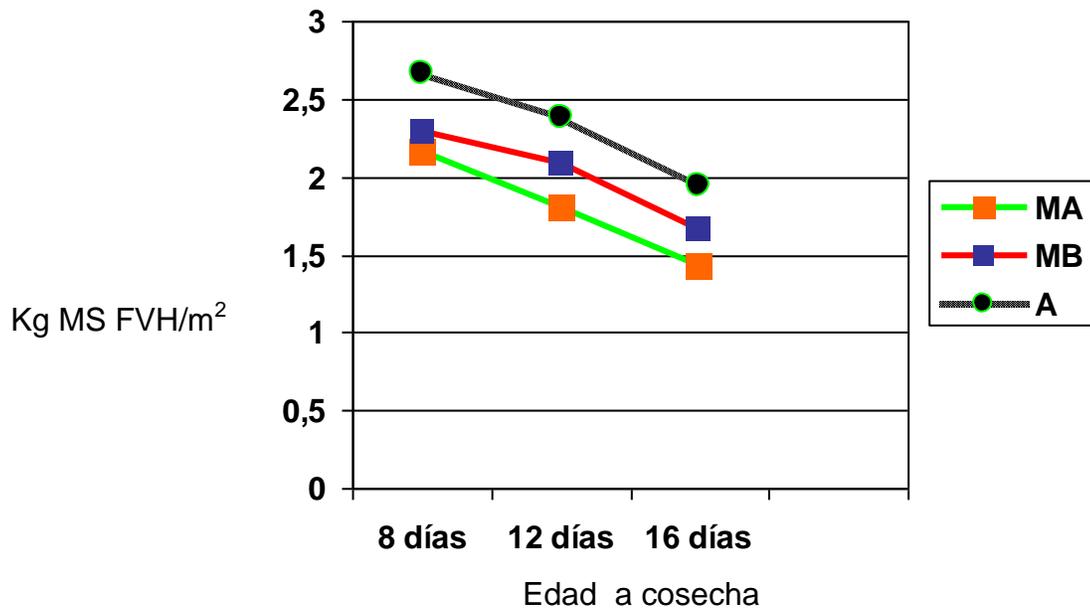


Figura 2. Efecto de la edad de cosecha sobre la producción de biomasa (kg MS/m<sup>2</sup>)

Los resultados obtenidos por otros autores son mayores a los del experimento, pero como se explicó anteriormente, factores como porcentajes de germinación más altos, mayores densidades de siembra y mejores condiciones de producción, ayudan a que los rendimientos sean más altos. Sin embargo, Izquierdo (2003) reporta menor biomasa en seco (1,87 kg/m<sup>2</sup>) que varios de los tratamientos, sobretodo poniendo interés en el maíz a los 8 dds, donde se obtuvieron valores superiores a 2,16 kg/m<sup>2</sup>.

#### 4.4. Variables nutricionales

En el cuadro 4 se presentan los resultados obtenidos para las variables porcentaje de proteína cruda (% PC) y digestibilidad de la materia seca (% DIVMS) para cada tratamiento estudiado.

Cuadro 4. Efecto del tratamiento sobre las distintas variables nutricionales.

Tratamiento	Variables nutricionales *	
	% PC	% DIVMS
Maíz amarillo 8 días de edad	16,03 bc	69,27 a
Maíz amarillo 12 días de edad	20,17 c	65,40 bc
Maíz amarillo 16 días de edad	18,67 c	62,53 c
Maíz blanco 8 días de edad	9,43 a	69,33 a
Maíz blanco 12 días de edad	12,23 ab	68,20 ab
Maíz blanco 16 días de edad	12,53 ab	67,20 bc
Arroz 8 días de edad	9,43 a	58,43 d
Arroz 12 días de edad	11,77 ab	52,17 e
Arroz 16 días de edad	12,23 ab	50,57 e

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ).

#### 4.4.1. Proteína cruda (% PC)

El análisis de los resultados evidencia la superioridad del maíz amarillo en cuanto a producción de proteína cruda promediando valores de 18,29 %PC para las tres edades de cosecha probadas, mientras que con maíz blanco y arroz no se sobrepasan los 11,40 %PC.

Los resultados obtenidos para proteína cruda en este estudio, son comparativos a los obtenidos para maíz blanco por otros investigadores tales como 12 %PC (Castro 2006), 16,8 %PC (CNC 2004) y 19,44 %PC (Izquierdo 2003).

Cuando se analiza la edad de cosecha, los mayores valores de proteína cruda corresponden a los 12 y 16 días a la cosecha (14,72 y 14,48 %PC respectivamente), y el menor valor se encontró a la edad de 8 días (11,63 % C). Con estos resultados se evidencia que la síntesis de proteínas es menor en edades cortas que en estados mas avanzados. En la Figura 3, se evidencia la tendencia clara de que a mayor edad

mayor la concentración de PC en la biomasa producida en cada una de las especies de FVH estudiadas.

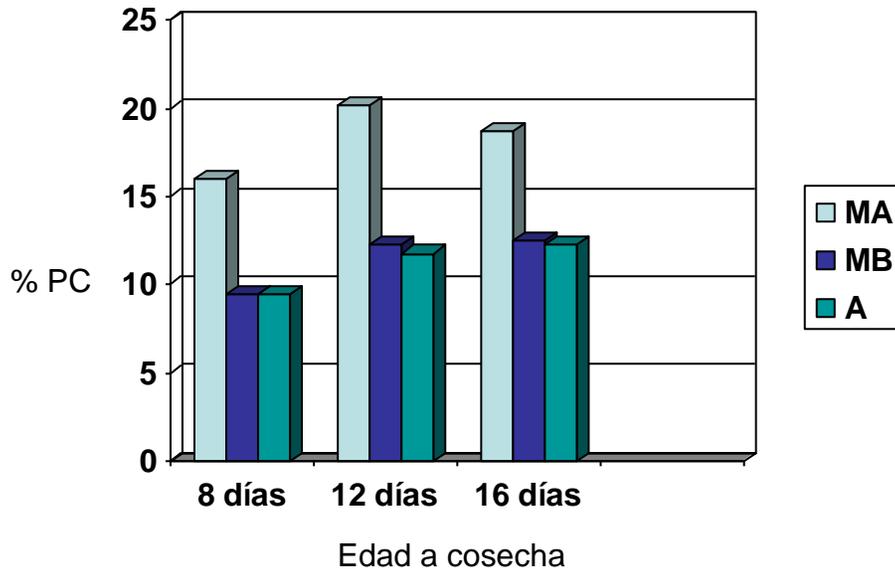


Figura 3. Efecto de los tratamientos sobre la concentración de proteína cruda

#### 4.4.2. Digestibilidad *In Vitro* de la Materia Seca (% DIVMS).

Los resultados encontrados demuestran que los mayores valores para la DIVMS equivalen a los tratamientos de maíz blanco y maíz amarillo ambos a la edad de 8 días (69,33 y 69,27 %DIVMS respectivamente) y los menores porcentajes de digestibilidad se presentaron con el tratamiento a base de arroz a los 16 y 12 días (50,57 y 52,17 % DIVMS, respectivamente).

En la Figura 4 se reportan los valores para DIVMS para cada FVH y a cada edad de cosecha evaluada donde podemos observar cómo los valores de DIVMS son mayores a medida que la edad de cosecha es menor.

Autores como Castro (2006) y CNC (2004) reportan valores de 80 y 85,5% DIVMS respectivamente. Estos resultados se encuentran por encima de los obtenidos en la presente investigación.

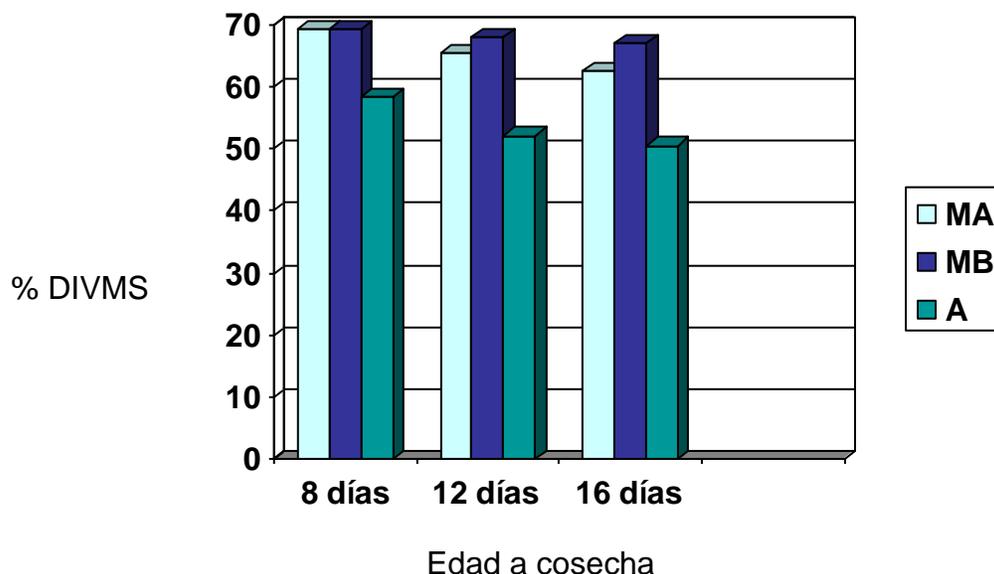


Figura 4, Efecto de los tratamientos sobre el % DIVMS del FVH

#### 4.5. Palatabilidad de las especies forrajeras

Esta variable fue evaluada sin utilizar un modelo estadístico, ya que no se aleatorizaron los tratamientos dentro de los comederos a los 8 días de edad, por lo que puede ocasionar un sesgo en la investigación. Sin embargo se posee las herramientas necesarias (promedios, porcentajes) para poder analizar y discutir un parámetro tan importante en la alimentación animal como es la aceptabilidad del forraje por parte del ganado. Además, hay que tomar en cuenta que fue la primera vez que se les suministró el alimento por lo que los resultados podrían variar si se volviera a repetir el experimento.

El Cuadro 5 muestra los diferentes datos obtenidos durante la prueba de palatabilidad. En este se observa una mayor preferencia hacia el maíz blanco, seguido por el maíz amarillo y de último el arroz.

Cuadro 5. Datos obtenidos durante la prueba de palatabilidad.

Tratamiento	Cantidad Consumo (g)	Porcentaje consumo (%)	Tiempo consumo (min)	Velocidad consumo (g/min)
Maíz amarillo 8 días de edad	783,9	37,3	60,0	13,1
Maíz amarillo 12 días de edad	2100,0	100,0	46,7	45,2
Maíz amarillo 16 días de edad	1391,7	66,3	60,0	23,2
Maíz blanco 8 días de edad	424,4	20,2	60,0	7,1
Maíz blanco 12 días de edad	2100,0	100,0	25,0	86,3
Maíz blanco 16 días de edad	2100,0	100,0	20,7	108,7
Arroz 8 días de edad	0,0	0,0	60,0	0,0
Arroz 12 días de edad	0,0	0,0	60,0	0,0
Arroz 16 días de edad	0,0	0,0	60,0	0,0

El maíz blanco fue el que obtuvo el mayor porcentaje y velocidad de consumo a los 12 y 16 días, donde las novillas se comieron la totalidad del forraje, pero a una mayor velocidad (108,7 g/min) a la edad de 16 días. Por otro lado, a la edad de 8 días el maíz blanco fue superado por el maíz amarillo, sin embargo la diferencia es mínima.

#### 4.6. Costos variables de la producción de FVH.

En el cuadro 6 se observan los costos variables de producción del FVH estimados durante la investigación, donde resalta la importancia del rubro semilla, ya que representa el valor más elevado (promedio 90% del costo total)

Cuadro 6. Costos variables del FVH/m<sup>2</sup> según tratamientos

Costos variables de producción/m <sup>2</sup> (Colones)				
Tratamiento	Semilla	Fertilizante	Desinfección	Total
Maíz amarillo 8 días de edad	699	6	25	730
Maíz amarillo 12 días de edad	699	11	25	735
Maíz amarillo 16 días de edad	699	12	25	736
Maíz blanco 8 días de edad	575	6	25	606
Maíz blanco 12 días de edad	575	11	25	611
Maíz blanco 16 días de edad	575	12	25	612
Arroz 8 días de edad	751	6	25	782
Arroz 12 días de edad	751	11	25	787
Arroz 16 días de edad	751	12	25	788

## 5. CONCLUSIONES

- Los mejores resultados en cuanto a relación kg de forraje producido / kg de semilla se dio con los tratamientos basados en maíz amarillo a la edad de 12 y 16 días de edad, 4.75 y 4.72 kgF/kgS, respectivamente.
- La especie que produjo un FVH con más contenido de materia seca fue el arroz a la edad a los 8 dds (20,98 %).

- Los mejores resultados de biomasa seca se dieron con arroz a 8 y 12 días de edad (2,66 y 2,38 kg/m<sup>2</sup> respectivamente).
- Los más altos % de PC se presentaron con maíz amarillo a los 12, 16 y 8 días de edad, respectivamente (20,17 - 18,67 y 16,03 % respectivamente).
- Los mejores promedios de % DIVMS se obtuvieron con maíz blanco y maíz amarillo ambos a los 8 días de edad (69,33 y 69,27 % respectivamente).
- En la prueba de palatabilidad, se observó que el FVH de maíz amarillo y blanco a los 12 días de edad, fueron consumidos en su totalidad, pero con una mayor velocidad el maíz blanco (86,3 g/min); A los 16 días de edad se observó un mayor porcentaje de consumo para el FVH de maíz blanco (100%) que con el maíz amarillo (66,3%). El FVH de arroz no fue consumido durante las tres pruebas.

## **6. LITERATURA CITADA**

- Association of Oficial Analytical Chemists (AOAC). 1990. Official Methods of Análisis. 15 ed. Arlington, Virginia, Usa. 69 p.
- Carballido, C. 2005. Artículos silvoagropecuarios. Forraje verde hidropónico (en línea). Chile. Consultado 24 abr. 2006 Disponible en <http://www.usuarios.lycos.es/forrajehidroponico>.
- Castro, A. 2006. Forraje hidropónico para alimentar cabras (en línea). MAG, Costa Rica. Consultado 04 abr. 2006. Disponible en [www.mag.go.cr/biblioteca\\_virtual\\_animal/cabra\\_hidro.html](http://www.mag.go.cr/biblioteca_virtual_animal/cabra_hidro.html).
- Confederación Nacional Campesina. 2004. Producción de Forraje Verde Hidropónico. México. 39 p.

Izquierdo, J. 2003. Manual Técnico: “La Huerta Hidropónica Popular”. 3ra edición. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Santiago, Chile. Consultado 15 abr. 2006. Disponible en <http://www.rlc.fao.org/prior/segalim/prodalim/prodveg/10046.pdf>

Ñíguez, M.E. 1978. Producción de forrajes en condiciones de hidroponía II. Selección de especies y evaluación de la cebada y trigo. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales de la Universidad de Concepción, Sede Chillán, Chile.

Rodríguez, A. 2003. Forraje verde hidropónico. Primera edición. Editorial Diana, México. 113 p.

Samperio, G. 1997. Hidroponía: Cultivo sin tierra. Editorial Tecnológica de Costa Rica. Cartago, Costa Rica. 104 p.

Sánchez, A. 2002. Manual técnico: Forraje verde hidropónico (en línea). Primera edición. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe, Santiago de Chile. 68 p. Consultado 15 abr. 2006. Disponible en <http://www.rlc.fao.org/prior/segalim/forraje.htm#documento>.

Tarrillo, H. 2005. Forraje verde hidropónico, forraje de alta calidad, para la alimentación animal (en línea). Arequipa, Perú. Consultado 15 abr. 2006. Disponible en [http://www.sira-arequipa.org.pe/principal/inftecnica/manuales/art\\_forraje.doc](http://www.sira-arequipa.org.pe/principal/inftecnica/manuales/art_forraje.doc).

Tilley, J.; Terry, R.A. 1963. A Two-state technique for the in Vitro digestion of forage crops. *Journal of The British Grasslands Society (G.B.)* 18:104.

Valdivia, E. 1996. Producción de Forraje Verde Hidropónico. En Hidroponía una esperanza para Latinoamérica. Curso-Taller Internacional de Hidroponía. CIHNM. UNALM Lima, Perú. 395 p.

## CAPITULO 3

### EVALUACIÓN DEL USO DE FORRAJE VERDE HIDROPONICO DE MAIZ (FVHM) SOBRE LA PRODUCCION DE LECHE DE VACAS EN PASTOREO

#### RESUMEN

Con el objetivo de evaluar el uso de forraje verde hidropónico de maíz (FVHM) sobre la producción y la calidad de la leche en vacas en pastoreo, se realizó la siguiente investigación en la finca La Esmeralda del Instituto Tecnológico de Costa Rica, Distrito Florencia, Cantón San Carlos, Provincia de Alajuela, Costa Rica; localizada a 10° 22´ Latitud Norte, 84° 31´ Longitud Oeste y a una altura de 160 m.s.n.m. La temperatura máxima fue de 30.1 °C, una media mínima de 21.5 °C y una media general de 25.6 °C. La precipitación anual promedio fue de 3300 mm. La humedad relativa promedio de 84% con una máxima y mínima de 95 y 60%, respectivamente. Se evaluaron tres tratamientos: A) tratamiento testigo (sin suplementación de FVHM); B) suplementación con FVHM a razón del 0.25% del peso vivo en MS de FVHM y C) suplementación con FVHM a razón del 0.50% del peso vivo en MS de FVHM. Además, todos los animales, independientemente del tratamiento asignado, recibieron una cantidad de concentrado comercial en una relación 1:3 (1 kg de concentrado por cada 3 litros de leche producido). Se implementó un diseño estadístico de sobrecambio en arreglo de cuadrado latino 3 X 3 repetido dos veces. Se utilizaron 6 vacas distribuidas en grupos de tres para cada uno de los cuadrados. Según las condiciones en que se desarrolló la investigación, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos para producción de leche ( $P > 0.1099$ ), aunque se mostró una tendencia a aumentar la producción a medida que se incrementaba la suplementación (7 % mayor la producción de leche de las vacas con mayor suplementación contra la no suplementadas). No se encontró ningún efecto de la suplementación sobre el % de grasa, % de proteína, % de lactosa y % de sólidos totales ( $P > 0.7631$ ,  $P > 0.9810$ ,  $P > 0.4119$  y  $P > 0.7052$ , respectivamente).

**Palabras claves:** Forraje verde hidropónico, producción de leche, consumo de materia seca, componentes de la leche

## **1. INTRODUCCIÓN**

Bajo las condiciones agroclimáticas tropicales resulta difícil la producción de forrajes de buena calidad para la adecuada nutrición animal. Por tal motivo, se debe recurrir a la suplementación para llenar las necesidades nutricionales no cubiertas por los pastos. El principal recurso usado como suplemento nutricional en nuestras explotaciones lecheras son los concentrados; sin embargo, actualmente, éstos tienen un elevado costo. Otras alternativas han sido utilizadas en nuestro país, como es el caso de ensilajes, subproductos agrícolas y ganaderos (piña, yuca, banano, gallinaza, cerdaza, etc.) subproductos agroindustriales (cebada de cervecerías, coquito de palma aceitera, etc.) y el corte y acarreo de forrajes de gramíneas, arbóreas y arbustivas. En todos los casos existen ventajas y desventajas, en algunos los costos son muy altos, existe competencia y poca disponibilidad y en otros se necesita de terreno adicional para su producción. Por lo tanto, se hace necesario buscar nuevas alternativas factibles para la suplementación, y una de ellas podría ser el uso de Forrajes Verdes Hidropónicos (FVH), que se obtienen del proceso de germinación de granos de cereales o leguminosas (maíz, sorgo, arroz, cebada, alfalfa) que se realiza durante un período de 10 a 15 días. A esta edad la plántula alcanza una altura promedio de 25 centímetros, la cual es consumida en su totalidad (tallo, hojas, restos de semilla y raíz) por los animales.

Con base a estos antecedentes, se desarrolló el siguiente trabajo de investigación con el objetivo de evaluar (biológica y económicamente) el uso de FVH de maíz en vacas lecheras en pastoreo.

### **1.1. Objetivos**

#### **1.1.1. Objetivo general**

- Evaluar el efecto de la suplementación con FVHM sobre la producción y calidad de la leche de vacas en pastoreo

### 1.2.2. Objetivos específicos

- Evaluar el efecto de dos niveles de suplementación con FVHM en la producción de leche (kg/vaca/día) de vacas en pastoreo
- Evaluar el efecto de dos niveles de suplementación con FVHM sobre los constituyentes de la leche (grasa, proteína y sólidos totales) de vacas en pastoreo

### 1.2. Hipótesis

- La suplementación con FVHM en vacas en pastoreo, aumenta la producción de leche sin afectar la calidad de la misma.

## 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Las pasturas como base alimenticia en el trópico

Las principales restricciones de orden nutricional en los sistemas de producción bovina en el trópico están asociadas con 4 factores: a) reducción drástica estacional en la disponibilidad de forraje; b) bajo consumo voluntario de materia seca en épocas de mayor oferta de forraje; c) baja eficiencia de utilización de la energía metabolizable y d) baja retención de nitrógeno dietético (Peruchena 1999).

En el trópico, la base forrajera de los sistemas de producción de leche en bovinos, lo constituyen las gramíneas, generalmente con valores nutricionales bajos, por ello, los métodos de suplementación a utilizar deben estar dirigidos a ampliar las opciones de uso de ese recurso. La suplementación en pastoreo es una de las principales herramientas para la intensificación de los sistemas ganaderos regionales ya que permite corregir dietas desbalanceadas, aumentar la eficiencia de conversión de las pasturas, mejorar la ganancia de peso de los animales, aumentar la producción lechera y acortar los ciclos de crecimiento y engorde de los bovinos (Peruchena 1993).

La suplementación también es una herramienta para aumentar la capacidad de carga de los sistemas productivos, incrementando la eficiencia de utilización de las pasturas en sus picos de producción y aumentando el nivel de producción por unidad de superficie (kg/ha/año) (Leng 1983).

## 2.2. El forraje verde hidropónico

El forraje verde hidropónico es el resultado del proceso de germinación de granos de cereales o leguminosas (maíz, sorgo, cebada, alfalfa) que se realiza durante un período de 10 a 12 días, captando energía del sol y asimilando los minerales de la solución nutritiva. Se trabaja con técnicas de hidroponía sin ningún sustrato. Una vez el grano ha germinado, la plántula alcanza una altura promedio de 25 centímetros; el animal consume absolutamente todo el resultado del proceso o sea, el tallo y las hojas verdes, los restos de semilla y la raíz (Sánchez, 2000).

## 2.3. Usos de FVH en alimentación animal

El FVH ha sido utilizado en varias especies de animales (cabras, conejos, vacas, etc.), y su principal carencia, como dieta básica, estriba en su bajo contenido de materia seca, lo que puede solucionarse agregando rastrojo de diversos cultivos para completar la ración, componentes que no sólo son fáciles de encontrar, sino que también son baratos (Ñíguez, 1988). En conejos, con la sustitución hasta de un 30% a 75% del concentrado utilizando FVH a partir de semillas de cebada se han alcanzado pesos promedios de alrededor de 2.1 a 2.3 kg en 72 días que es lo usual utilizando solo alimento concentrado, bajando de esta manera considerablemente los costos de alimentación (Pérez, 1987).

En bovino de carne se han reportado incrementos mayores de 1.4 kg de peso diario con 7-8 kg de FVH y 7 kg de concentrados. Además se mejora la asimilación del concentrado, bajan costos y disminuye el tiempo de engorda. En el ganado lechero, además de bajar costos se ha incrementado la producción lechera en un 7.2% en vacas con una producción mayor de 28 litros leche/día, y en vacas de baja producción 14 litros leche/día, el incremento ha sido del 53% (Carballido, 2005).

Arano (1998) reporta incrementos en 10 % a 15 % de la producción de leche en vacas alimentadas con FVH de cebada con respecto a las vacas testigo.

Los resultados obtenidos con FVH respecto a la fertilidad son buenos; lo anterior lo confirma una experiencia concreta: sólo el 53% de las vacas de un lote testigo resultaron preñadas en el primer servicio, mientras que un 62% de las vacas que consumían 12 kg/día de FVH fueron preñadas en el primer servicio. En lo que respecta a la incidencia de mastitis, en el lote testigo, fue de 13.3%, mientras que en el lote alimentado con 12 kg de FVH/ día, la incidencia de mastitis fue de 4.4% (Carballido, 2005).

### **3. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. Localización del estudio**

Este trabajo se desarrolló en la finca La Esmeralda del Instituto Tecnológico de Costa Rica, Distrito Florencia, Cantón San Carlos, Provincia de Alajuela, Costa Rica; localizada a 10° 22´ Latitud Norte, 84° 31´ Longitud Oeste y a una altura de 160 m.s.n.m. La temperatura máxima es de 30.1 °C, una media mínima de 21.5 °C y una media general de 25.6 °C. La precipitación anual promedio fue de 3300 mm. La humedad relativa promedio de 84% con una máxima y mínima de 95 y 60%, respectivamente.

#### **3.2. Tratamientos evaluados**

Se evaluaron tres tratamientos:

A: Pastoreo y concentrado a razón 1:3

B: Pastoreo, concentrado a razón 1:3 y 0.25% del peso vivo en MS de FVHM

C: Pastoreo, concentrado a razón 1:3 y 0.50% del peso vivo en MS de FVHM

### 3.3. Definición del diseño experimental

Se implementó un diseño de sobrecambio en arreglo de cuadrado latino 3 X 3 repetido dos veces. Se utilizaron un total de 6 animales, distribuidos en dos grupos para cada uno de los cuadrados. En cada cuadrado, cada una de las vacas recibió un tratamiento diferente a lo largo de los tres períodos (Figura 1).

Período	Vacas			Vacas		
	1	2	3	4	5	6
I	A	B	C	A	B	C
II	B	C	A	C	A	B
III	C	A	B	B	C	A
	Cuadrado 1			Cuadrado 2		

Figura 1. Períodos, vacas y distribución esquemática de los tratamientos evaluados (las letras dentro de los cuadros corresponden a los tratamientos)

### 3.4. Modelo estadístico

El modelo estadístico implementado fue el siguiente:

$$Y_{ijkl} = \mu + C_i + P_j(C_i) + A_k(C_i) + T_l + E_{ijkl}$$

Donde:

$Y_{ijkl}$  = Variable de respuesta

$\mu$  = Media general del experimento

$C_i$  = Efecto del i-ésimo cuadrado

$P_j(C_i)$  = Efecto del j-ésimo período dentro del i-ésimo cuadrado

$A_k(C_i)$  = Efecto del k-ésimo animal dentro del i-ésimo cuadrado

$T_l$  = Efecto del l-ésimo tratamiento

$E_{ijkl}$  = Error experimental

Las variables de respuesta fueron analizadas utilizando el procedimiento PROC MIXED del programa SAS (SAS Institute., User's Guide Basic. Cary, North Carolina, USA), con "cuadrados" y "vaca (cuadrado)" como efectos aleatorios y "tratamientos" y "períodos" como efectos fijos en el modelo.

### 3.5. Período experimental

La fase de campo se dividió en tres períodos, cada uno de 20 días, de los cuales los primeros 15 días fueron de adaptación a los tratamientos o dietas y los siguientes 5 días de recolección de datos.

### 3.6. Selección del grupo experimental

Para efecto de valorar la respuesta a los diferentes niveles de suplementación de FVH se utilizaron 6 vacas en producción ubicadas en dos grupos (cuadrados) de tres vacas cada uno, seleccionadas de manera tal que se lograra la mayor homogeneidad posible dentro de los grupos. Se consideraron los siguientes aspectos para la escogencia de los animales:

- Edad de lactancia: Del hato total en producción, se seleccionaron vacas que estaban después del pico de lactación (más de 60 días) y hasta los 190 días después del parto.
- Glándula mamaria: Cada animal debía presentar una glándula mamaria normal y totalmente funcional. Se realizaron pruebas de mastitis (prueba de California) para descartar posible infección.
- Raza: Para homogeneizar, se seleccionaron animales procurando mínimas diferencias entre grupos raciales.
- Peso: Se adecuaron los grupos de manera que estuvieran compuestos por animales de distintos pesos pero de modo tal que las diferencias entre grupos fueran mínimas.

### 3.7. Variables de respuesta evaluadas

#### 3.7.1. Producción de leche

Los animales fueron sometidos a un período de adaptación de 15 días a cada dieta, para luego proceder a tomar los datos por un período de 5 días. En este período las mediciones de producción de leche se realizaron diariamente, considerando la producción obtenida en la mañana y tarde.

#### 3.7.2. Composición química de la leche

Para los análisis de composición química de la leche, se tomaron 6 muestras por animal. Cada muestra estuvo compuesta por dos submuestras diarias (ordeño de la mañana y tarde), por los últimos tres días de medición. La muestra diaria fue obtenida proporcionalmente según la producción del ordeño de la mañana y de la tarde, refrigeradas a 5° centígrados y llevadas al laboratorio de la Cooperativa de Productores de Leche Dos pinos para determinar porcentaje de grasa, sólidos totales, proteína y lactosa utilizando equipo Milko Scan ST 120.

### 3.8. Balance nutricional

Para obtener una estimación del balance nutricional de los animales bajo experimentación se calcularon los siguientes parámetros:

3.8.1. Consumo de materia seca de pasto de acuerdo a la fórmula propuesta por Altamirano (2008), donde:

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

El resultado de % CMS es expresado como el total de forraje en base de materia seca que un animal puede consumir como un porcentaje de su peso vivo

3.8.2. Requerimientos de energía neta (ENL) y proteína cruda (PC) utilizando las ecuaciones de predicción generadas por Elizondo (2002) a partir de las tablas de requerimientos nutricionales de la NRC, donde:

ENL (Mcal) mantenimiento y gestación =  $2,9580 + 0,0161 * \text{Peso vivo}$

ENL (Mcal) para producción de leche =  $0,3569 + 0,0949 * \% \text{ grasa} * \text{kg leche}$

PC (g) para mantenimiento =  $152,11 + 0,4217 * \text{Peso vivo}$

PC (g) para producción =  $43,610 + 11,543 * \% \text{ grasa} * \text{kg de leche}$

3.8.3. Contenido de ENL a partir de la dieta consumida por los animales, mediante la ecuación propuesta por Mertens (1983) citado por Elizondo (2002), donde:

ENL (Mcal/kg) =  $2.86 - 0.0262 (\% \text{FDN})$ .

### 3.9. Manejo de los animales

#### 3.9.1. Alimentación

- Forraje en pastoreo: Las vacas pastorearon en potreros compuestos por las especies estrella (*Cynodon nlenfuensis*), ratana (*Ischaemum indicum*) y gamalote (*Paspalum fasciculatum*). Estos potreros se manejan bajo un sistema rotacional con 1 días de ocupación y 17 días de descanso.
- Concentrado: La cantidad de concentrado ofrecida a cada animal por día, estuvo en función de la producción de leche (relación 1:3, 1 kg de concentrado por cada 3 litros de leche). El mismo se ofreció en dos porciones, 50% en el ordeño de la mañana y 50% en el ordeño de la tarde. Las cantidades de concentrado fueron ajustadas para cada animal al inicio de cada período experimental.
- FVH a utilizar: Se utilizó FVHM de maíz blanco de 12 días de edad producido bajo la metodología desarrollada por Vargas (2007).

Después del ordeño de la mañana, las vacas permanecieron un tiempo bajo techo donde se les asignó en comederos individuales la cantidad de FVHM correspondiente a cada tratamiento. La cantidad de FVHM fueron asignadas según el peso vivo de cada animal que se tomó al inicio de cada período experimental. Diariamente se pesó la cantidad ofrecida y la rechazada por cada animal para medir el consumo real. Durante el período de medición (últimos 5 días de cada período) se tomaron muestras diarias de FVHM las cuales fueron pesadas y homogeneizadas, formándose una muestra compuesta por período para los análisis de materia seca (método 3-06-05-05-079 A.O.A.C. 2000 Met: 934.01), proteína cruda (método 3-06-05-05-034 A.O.A.C. 2000 Met: 990.03); Fibra detergente ácida (método 3-06-05-05-069 A.O.A.C. 2000 Met: 934.05 y fibra detergente neutra (método 3-06-05-05-068 A.O.A.C. 2000 Met: 934.05)

### 3.9.2. Manejo de los animales según los tratamientos.

En cada período dos animales no consumieron FVHM, por lo que permanecieron consumiendo solo pasto más la cantidad de concentrado correspondiente o asignado a la producción de leche individual, Las restantes cuatro vacas permanecían después del primer ordeño en cepos individuales donde se les suministró la cantidad asignada de FVHM correspondiente a cada tratamiento.

### 3.9.3 Horario de alimentación

En el Cuadro 2 se detallan las actividades diarias a realizar.

Cuadro 2. Actividades diarias a realizar para los grupos experimentales de animales

Hora	Actividad
4:00 a.m. a 5:00 a.m.	Ordeño y suministro de 50% del concentrado asignado
5:00 a.m. a 6:00 a.m.	Consumo de FVH asignado por cada tratamiento
6:30 a.m. a 12:30 p.m.	Pastoreo
12.30 p.m. a 1:30 p.m.	Ordeño y suministro de 50% del concentrado asignado.
1:30 p.m. a 4:00 a.m.	Pastoreo

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Producción de leche y sus constituyentes.

En el Cuadro 3 se presenta el resumen de análisis de varianza, para la producción de leche y sus constituyentes. No se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos para producción de leche corregida a 4% de grasa ( $P > 0,1099$ ) ni para los constituyentes % de grasa, % de proteína, % de lactosa y % de sólidos totales ( $P > 0,7631$ ,  $P > 0,9810$ ,  $P > 0,4119$  y  $P > 0,7052$ , respectivamente). El efecto de período mostró diferencias significativas para producción de leche ( $P > 0,00063$ ) y % de lactosa en la leche ( $P > 0,0011$ ).

En primera instancia, los valores para el error estándar de las medias en producción de leche (Cuadro 3) tienen una gran incidencia en las significancia estadística de los resultados para esta variable. Esta variabilidad está dada a que no se dispuso de una mayor población de animales para lograr que los seleccionados fueran lo suficientemente homogéneos (edad, raza, número de partos, número de lactancias, días de paridas).

Cuadro 3. Resumen de los análisis de varianza para la producción de leche y sus diferentes constituyentes

Variables	Valor de P		Error estándar de las medias
	Tratamiento	Período	
Leche 4% grasa (Kg/vaca/día)	0,1099	0,00063	0,4773
Grasa en la leche (%)	0,7631	0,0790	0,1744
Proteína en la leche (%)	0,9810	0,0626	0,0450
Lactosa en la leche (%)	0,4119	0,0011	0,0344
Sólidos totales en la leche (%)	0,7052	0,1768	0,3036

Cuando observamos los promedios de producción de leche para cada tratamiento (Cuadro 4 y Figura 1), encontramos una tendencia a aumentar la producción a

medida que se incrementa el uso de FVHM como suplemento cerca de los límites de significancia ( $P > 0,0515$ ), especialmente cuando comparamos el tratamiento que no se suplementó contra el de mayor suplementación (10,33 y 11,02 kg/leche/vaca/día, respectivamente) siendo esta superioridad en un 7% (Figura 1) . Los promedios para los constituyentes de la leche no mostraron ninguna tendencia (Cuadro 4 Figura 2).

Cuadro 4. Promedios por tratamientos para la producción de leche y sus constituyentes.

Tratamientos	Leche (Kg/vaca/día)	Grasa (%)	Proteína (%)	Lactosa (%)	Sólidos (%)
A	10,33 <sup>a</sup>	4,22 <sup>a</sup>	3,38 <sup>a</sup>	4,53 <sup>a</sup>	12,55 <sup>a</sup>
B	10,46 <sup>a</sup>	4,18 <sup>a</sup>	3,39 <sup>a</sup>	4,51 <sup>a</sup>	12,80 <sup>a</sup>
C	11,02 <sup>a</sup>	4,13 <sup>a</sup>	3,39 <sup>a</sup>	4,49 <sup>a</sup>	12,73 <sup>a</sup>

Nota: Valores con letras iguales no difieren significativamente ( $P \leq 0,05$ )

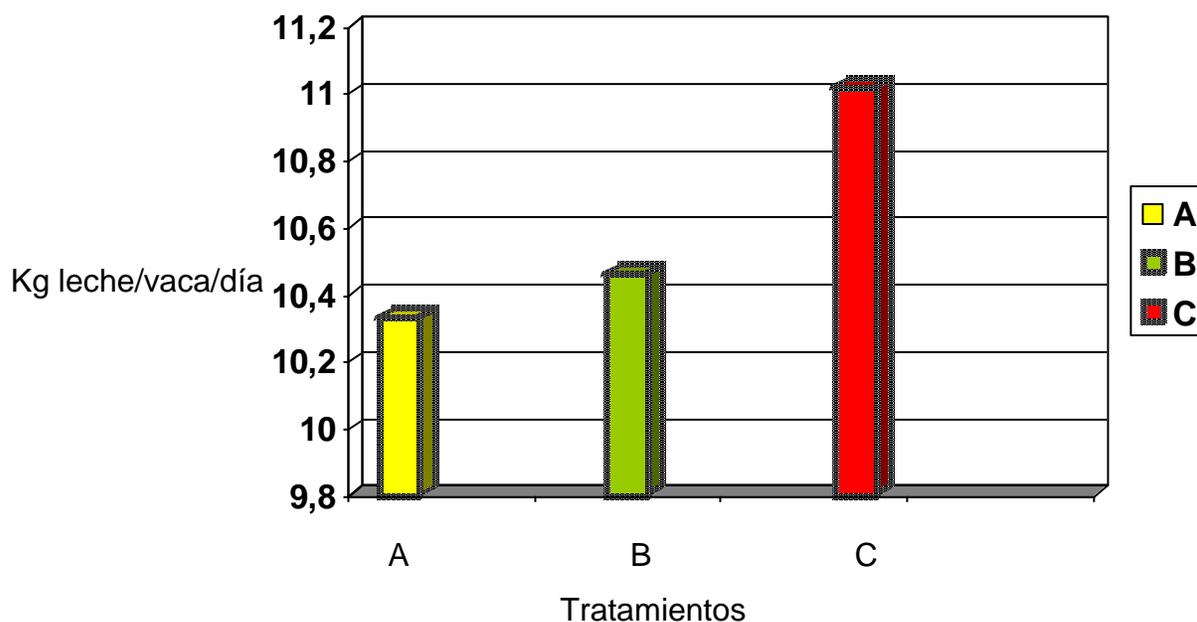


Figura 1. Efecto de los tratamientos sobre la producción de leche

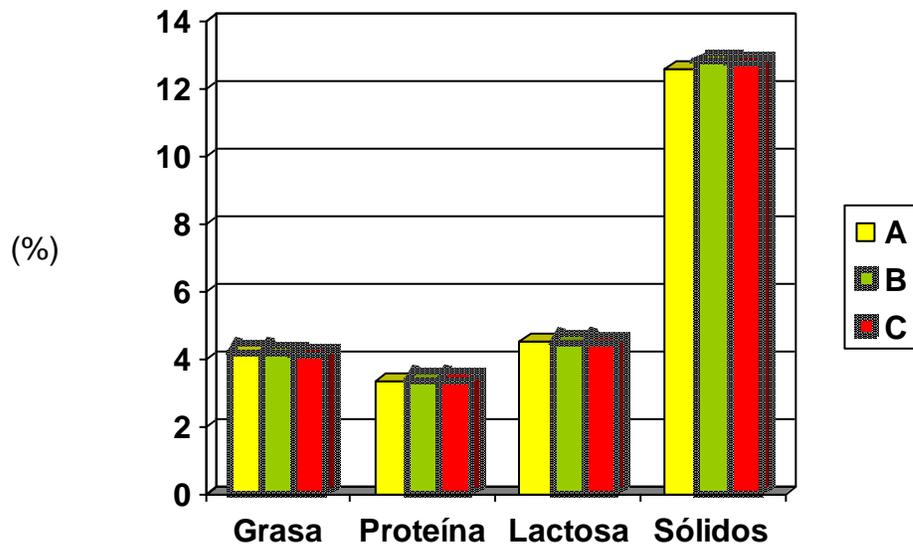


Figura 2. Efecto de los tratamientos sobre los componentes de la leche

La naturaleza y composición nutricional de los componentes utilizados en las dietas básicas de los animales, se reflejarán en los resultados de los procesos de la fermentación microbiana en el rumen. Según Hungate (1966) citado por Camero (1991) y Bergen y Yokohama (1987) los ácidos grasos volátiles son fuentes de energía metabolizable, que los rumiantes utilizan para llevar a cabo procesos fisiológicos, dentro de los cuales se encuentran la producción láctea y sus constituyentes. Debido a que en este trabajo no se evaluó los resultados del proceso de fermentación ruminal, no se puede asegurar que los diversos productos de esta fermentación (ácidos grasos volátiles, amonio ruminal, aminoácidos, ácidos grasos de cadena ramificada y consecuentemente, síntesis de células microbianas) fueran causantes de diferencias o no de la producción de leche y sus constituyentes. Sin embargo muchos trabajos con vacas en pastoreo donde se utiliza suplementación, no evidencian diferencias significativas en cuanto a las concentraciones de grasa, proteína, lactosa y sólidos totales. No se encontró diferencias significativas entre constituyentes de la leche cuando se usó poro (*Erythrina poeppigiana*) y madero

negro (*Gliricidia sepium*) y urea como suplementos proteicos (Camero 1991); morera (*Morus sp.*) (Mora 2006); caña de azúcar (*Sacharum officinarum*) y poró (Alagón 1990); melaza, poró y pasto estrella (Abarca 1989); semolina de trigo, melaza y poró (Romero *et al* 1993).

Partiendo del hecho de que no hubo respuesta significativa en el aumento de la producción de leche al suplementar con FVH, hay que suponer que factores asociados a la dieta básica estén aportando elementos para que esta respuesta no se diera. Este supuesto podría estar en que la sumatoria de los aportes nutritivos de la dieta no estén llenando los requisitos mínimos necesarios para lograr diferencias entre los tratamientos probados (especialmente a lo referente a la ENL). Para tratar de demostrar estos supuestos, fue necesario realizar valoraciones nutricionales de los materiales que conformaron las dietas, los requerimientos nutricionales de cada vaca bajo estudio y un balance nutricional total para cada animal en cada tratamiento.

Por otro lado, es de suponer que el FVH esté sustituyendo el consumo de pasto, y que por tener el FVH una alta concentración de agua, el mismo esté escapando rápidamente del rumen y pasando al tracto digestivo posterior donde su aprovechamiento se reduce, reflejándose esto en la producción de leche al comparar con animales que estaban en sólo pastoreo sin suplementación de FVH.

#### 4.2. Valor nutricional de la dieta consumida durante la fase experimental.

En el Cuadro 5 se reportan los valores obtenidos a partir del análisis bromatológico de los componentes de la dieta experimental

Mediante el análisis bromatológico realizado a los distintos componentes de la dieta se encontró que el FVHM tuvo una materia seca muy baja (12.32%) en comparación con el 20 % reportado por Castro (2006) en un ensayo hecho en Costa Rica. La

proteína cruda fue también inferior en comparación a los 19.4% reportado por Carbadillo (2005).

Cuadro 5. Composición bromatológica de los ingredientes alimenticios que conforman la dieta consumida por los animales (pasto estrella, el FVHM y el concentrado comercial).

Atributo nutricional	Estrella	FVH	Concentrado
% Materia seca	26.00	12.32	87.00
% Proteína cruda	12.20	16.53	14.00
% Fibra detergente ácida	28.90	21.10	
%Fibra detergente neutra	70.50	43.16	
% Fibra cruda			12.00
% Cenizas	7.30	6.40	
% Extracto etéreo	2.40	3.70	4.00
% Lignina	5.20	2.50	
% Proteína cruda ligada a la fibra detergente ácida	0.60	0.50	
% Proteína cruda ligada a la fibra detergente neutra	4.40	4.10	
ENL (Mcal/kg)	1.02	1.73	1.70

En comparación con la estrella, el FVHM presentó porcentajes menores de proteína cruda ligada a la FDN y FDA y un mayor porcentaje de lignina relacionada con los niveles mayores de fibra del la pastura. Según Cruz y Sánchez (1999) los valores de FDA están inversamente relacionados con la digestibilidad de los alimentos y por ende con su aporte de energía, por lo tanto sería de suponer que el FVHM es más digestible que el pasto estrella con 28.90 % de FDA y que por tanto es fuente mayor de energía digestible. Sin embargo, estos mismos autores indican que la FDN ofrece una estimación mas precisa del total de fibra o pared celular en los alimentos y que además es la fracción que mide mejor la capacidad de los alimentos de ocupar un volumen dentro del tracto digestivo, lo cual la asocia con el llenado físico y su capacidad de consumo de materia seca.

Los valores de FDN encontrados para la estrella con 70.50 % no difieren a los reportados por Sánchez (1995) para la época semiseca del trópico húmedo con 70.30 %. El relativamente bajo contenido de FDN podría ser un factor a favor del FVHM comparado con el pasto estrella, siempre y cuando no existiera restricción en el consumo. Sin embargo en este trabajo, la cantidad de FVHM suministrada fue limitada a una cantidad establecida. Además, el alto contenido de humedad sugiere velocidades de pasaje altas con potencial efecto negativo sobre el aprovechamiento del contenido nutricional a nivel ruminal.

4.3. Consumo diario promedio por vaca de materia seca (kg MS) en cada tratamiento durante la fase experimental.

Los datos del Cuadro 6 muestran los valores calculados para consumo de materia seca obtenidos de las formulas anteriormente descritas.

Cuadro 6. Resumen del consumo de MS de pasto, FVHM, concentrado y total y consumo de ENL y PC totales.

Tratamiento	Consumo kg MS Pasto (1)	Consumo kg MS FVHM (2)	Consumo kg MS concentrado (3)	Consumo kg MS total	Consumo ENL Mcal	Consumo PC (g)
1	5.74	0.00	3.48	9.22	11.78	1145
2	5.81	0.90	3.48	10.19	13.40	1301
3	5.82	1.80	3.48	11.10	14.97	1452

(1) Consumo de materia seca estimado con base a % de FDN

(2) Consumo de materia seca estimado con base a la cantidad de FVHM ofrecido

(3) Consumo de materia seca estimado con base al concentrado ofrecido

El consumo de materia seca del pasto está basado en el % de FDN, sin embargo no se está considerando el efecto que podría estar causando el aporte del FVHM. En este caso es razonable pensar que lo que los animales consumen de FVHM puede

estar sustituyendo parte del posible consumo de pasto en el potrero. Por otro lado, también es razonable considerar que debido a la poca disponibilidad y valor nutricional de forraje durante la época durante la cual se desarrolló la investigación, pudiera estar limitando un mayor consumo del mismo. Sin duda alguna los valores nutricionales reportados para el FVHM comparados con el pasto estrella son mejores, por lo tanto el nivel asignado y el bajo contenido de materia seca de FVHM podría estar impidiendo que el nivel nutricional de los animales mejore con la suplementación.

Asumiendo una digestibilidad mayor para el FVHM dada las características de material vegetativo recién germinado y succulento, sin embargo, es importante tomar en cuenta la tasa de pasaje, siendo esta desconocida, ya que puede afectar en gran manera la digestibilidad.

Maynard *et al* ( 1989) explicaron que la digestibilidad puede ser limitada por falta de tiempo para realizar la acción digestiva completa en sustancias que son de lenta digestión, o bien, por falta de absorción completa; tal efecto aumenta por el rápido tránsito de alimentos a través del tracto digestivo, en especial si tienen alto contenido de humedad.

La alta humedad del FVHM suplementado en este trabajo (88%) concuerda con los resultados obtenidos por Herrera *et al* (2007) de un 85% de humedad. Este autor encontró que esta alta humedad pudo haber acelerado el paso del FVHM por el tracto digestivo, limitando su absorción y deprimiendo las ganancias de peso cuando trabajó con borregos.

Para nuestro caso, pudiera estar ocurriendo lo mismo, lo cual se reflejaría en que no hubiera un mejor aprovechamiento del valor nutricional del FVHM y éste se transformara en mayor producción de leche de las vacas utilizadas en este estudio.

4.4. Balance nutricional estimado para producción de leche de las vacas en cada tratamiento durante el periodo experimental

En el cuadro 7 se observan los valores de los requerimientos de los animales y los aportes de la dieta en cada tratamiento

Cuadro 7. Requerimientos, aporte y balance nutricional de los tratamientos aplicados a los animales bajo experimentación

Tratamientos	Requerimiento ENL (Mcal)	Aporte dieta ENL (Mcal)	Balance ENL (Mcal)	Requerimiento PC (g)	Aporte dieta PC (g)	Balance PC (g)
A	16.14	11.78	-4.36	1247	1145	-102
B	16.34	13.40	-2.94	1257	1301	-44
C	16.71	14.98	-1.73	1302	1452	+150

Nota: Los aportes de ENL y PC son el resultado del consumo total de pasto, concentrado y FVHM

Realizado el balance de los aportes de la dieta se encontró que ninguno de los tratamientos llenó dichos requerimientos de energía y solo el tratamiento C da positivo para proteína cruda y reafirma el supuesto planteado al no encontrar diferencias entre los tratamientos.

Tomando en cuenta la composición bromatológica de los componentes de las raciones recibidas por tratamiento y el consumo calculado de materia seca, se observa que el balance nutricional para la ENL es negativo en los tres tratamientos, aunque varía con el tratamiento al ir aumentando el aporte de las dietas que recibieron FVHM. En los sistemas tropicales de producción de leche se ha encontrado que es la energía frecuentemente el nutrimento más limitante para la producción y no tanto la proteína cruda, siendo la energía el más utilizado para el balanceo de las raciones (Castro 2006).

Como consideraciones finales, es evidente que el FVHM presenta un mejor perfil nutricional que el pasto estrella (forraje basal) en términos de PC, ENL y digestibilidad, este último, dada las características de material vegetativo recién

germinado y succulento. Sin embargo, no se tiene evidencias de mejora en el aprovechamiento ruminal. Por otra parte, si asumimos una sustitución 1:1, pareciera que el FVHM debería ser suministrado en mayor cantidad y mejorar el contenido de materia seca del mismo. Por otro lado, se reitera que la posibilidad de que el FVH esté sustituyendo consumo de materia seca del pasto ofrecido en el potrero pueda estar afectando la respuesta a la suplementación. También es importante tomar en cuenta la tasa de pasaje (que se supone alta) del rumen al tracto digestivo posterior, puede estar afectando de en gran manera la digestibilidad y aprovechamiento de los nutrientes del FVHM para su uso en producción de leche.

## **5. CONCLUSIONES**

Bajo las condiciones en que se desarrolló el presente trabajo, los resultados obtenidos permiten concluir lo siguiente:

1. La suplementación con FVH no mostró diferencias estadísticamente significativas para producción de leche en ninguno de los tratamientos evaluados.
2. A medida que se aumentó el nivel de suplementación de FVH se observó una tendencia a aumentar la producción de leche hasta en un 7% en las vacas con mayor suplementación al compararlas con las no suplementadas.
3. No se encontró efecto de los tratamientos para los componentes % de grasa, % de proteína, % lactosa y % sólidos totales.
4. El aporte nutricional de la dieta básica no llenó en ninguno de los casos los requerimientos de las vacas para las producciones obtenidas.

5. Las condiciones climatológicas atípicas, especialmente la precipitación, afectaron la producción de forraje, lo cual pudo haber influenciado la calidad y consumo del mismo.

## 6. LITERATURA CITADA

- Abarca, S. 1989. Efecto de la suplementación con poró (*Erythrina poeppigiana*) y melaza sobre la producción de leche de vacas pastoreando pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*). Tesis Mg. Sc. Turrialba C.R. CATIE, 68 p.
- Alagón, G. H. 1990. Comparación del poró (*Erythrina poeppigiana*) con otras fuentes nitrogenadas de diferentes potencial de escape a la fermentación ruminal como suplemento a vacas lecheras alimentadas con caña de azúcar. Tesis Mag. Sc. Turrialba, C.R. CATIE. 145 p.
- Altamirano, H.T. 2008. Importancia y composición de la estructura de una ración para vacas lecheras. Disponible en [WWW.enog.com.mx/MexCan/507/14-Importancia%20y%20coomposicion](http://WWW.enog.com.mx/MexCan/507/14-Importancia%20y%20coomposicion). Consultada 20 del 06 del 2008
- Arano, C. 1998. Forraje Verde Hidropónico y Otras Técnicas de Cultivos sin Tierra. Editado por el propio autor. Prov. de Buenos Aires, Argentina.
- Bergen, W.C.; Yokohama, M.T. 1987. Productive limits to rumen fermentation. *Journal of Animal Sci.* (EEUU) 45:573.
- Camero, A. 1991. Evaluación del poró (*Erythrina poeppigiana*) y madero negro (*Gliricidia sepium*) como suplementos proteicos a vacas lecheras alimentadas con pasto jaragua (*Hyparrhenia rufa*). Tesis Mag. Sc. Turrialba, C.R. CATIE 92 p.
- Carballido, C.D. 2005. Forraje verde hidropónico. Artículos silvoagropecuarios. [www.usuarios.lycos.es/forrajehidroponico](http://www.usuarios.lycos.es/forrajehidroponico). 24/04/06

- Castro, A. 2006. Forraje hidropónico para alimentar cabras (en línea). MAG. Costa Rica. Consultado 04 de mayo 2008. Disponible en [www.mag.go.cr/bibliotecavirtua\\_lanimal/cabra\\_hidro.html](http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtua_lanimal/cabra_hidro.html)
- Cruz, M. Sánchez, J. (1999) <http://www.feednet.ucr.ac.cr/bromatologia/intro1.htm> Consultado 28 06 2008.
- Elizondo, J. 2002. Estimación lineal de los requerimientos nutricionales del NRC para Ganado de leche. *Agronomía Mesoamericana*. 13(1):41-44.
- Herrera, A.; Depablos, L.; Lopez R. 2007. Degradabilidad y digestibilidad de la materia seca del forraje Hidropónico de Maíz (*Zea Mays*). Respuesta animal en términos de consumo y ganancia de peso. *Rev. Cient. (Maracaibo)*. [online]. ago. 2007, vol.17, no.4. Disponible en la World Wide Web:[http://www.scielo.org/ve/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S079822592007000400009&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org/ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S079822592007000400009&lng=es&nrm=iso).
- Leng, R.A. 1983. "Supplementation of tropical and subtropical pastures for ruminant production". *Herbivore nutrition in the subtropics and tropics*. Pretoria. South Africa. The sciences press. Pág. 129-144.
- Maynard, L.; Loosli, J.; Hintz, H.; Warner, R. 1989. *Procesos digestivos en diferentes especies animales*. Nutrición Animal. Mc Graw-Hill. 4<sup>ta</sup> Ed. México. 34 pp.
- Mora, N. 2006. Efecto de la utilización de morera (*Morus alba*) como sustituto parcial del concentrado en la producción de leche del hato de la finca La Esmeralda del ITCR, en Santa Clara, San Carlos. Tesis Ing. Agr. San Carlos, C.R. ITCR. 51 p.
- Ñíguez, M.E. 1988. *Producción de forrajes en condiciones de hidroponía II. Selección de especies y evaluación de la cebada y trigo*. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales de la Universidad de Concepción, Sede Chillán, Chile.

- Pérez, N. 1987. Efecto de la sustitución del concentrado por forraje obtenido en condiciones de hidroponía en una crianza artificial de terneros. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales de la Universidad de Concepción, Sede Chillán, Chile.
- Peruchena, C.O. 1993. "Utilización de subproductos agroindustriales para la alimentación del ganado en la región subtropical de Argentina". Anais do simposio Internacional IICA-EMBRAPA, 16-20 de noviembre de 1992. Sao Carlos, SP. Brasil. 351 pág.
- Peruchena, C. O. 1999. Suplementación de bovinos para carne sobre pasturas tropicales. Aspectos nutricionales, productivos y económicos. Conferencia. XXXVI Congreso Anual de la Sociedad Brasileira de Zootecnia, Porto Alegre, Brasil.
- Romero, F.; Abarca, S.; Corado, L.; Tobón, J.; Kass, M. y Pezo, D. 1993. Producción de leche de vacas em pastoreo suplementadas com poro (*Erythrina poeppigiana*) en el trópico húmedo de Costa Rica. In: S.B. Westley y M.H. Power (eds.) *Erythrina in the New and Old Worlds*. NFTA. Paia. Hawaii, U.S.A.
- Sánchez, A. 2000. Una experiencia de forraje verde hidropónico en el Uruguay. Boletín informativo de la Red de Hidroponía No. 7. Lima. Perú.
- Sánchez, J.M. 1995. <http://www.feednet.ucr.ac.cr/bromatologia/publicaciones12.htm>
- Vargas, E.. 2007. Efecto de diferentes edades de cosecha sobre la producción y valor nutricional del forraje verde hidropónico (FVH) del maíz blanco, maíz amarillo y arroz bajo condiciones de invernadero en la zona norte de Costa Rica. Tesis Ing. Agr. ITCR. CR. 78 p.