

Evaluación hidropónica de dólidos (*Lablab purpureus* L.), maíz (*Zea mays* L.) y sorgo (*Sorghum bicolor* L.) en producción y calidad de forraje

Proyecto especial presentado como requisito para optar
al título de Ingeniero Agrónomo en el Grado
Académico de Licenciatura.

presentado por

Carlos Alberto Romero Herrera

MICROISIS:	_____
FECHA:	_____
MICROISIS:	_____

Zamorano, Honduras
Encro, 1999

970
copias

DEDICATORIA

A mis Padres por el cariño y la confianza depositada en mí persona.

A mis queridos Hermanos Patty, Lucy y José por su apoyo y ayuda.

A Dios todopoderoso y a la Virgen María por haberme dado la fuerza para concluir con éxito esta etapa de mi vida.

AGRADECIMIENTOS

A mis queridos padres por haberme apoyado, ayudado y por ser siempre motivo de inspiración y ejemplo en todos los aspectos de mi vida.

A mis hermanos por su cariño, amistad y consejos brindados durante todo este tiempo.

A mis amigos Miguel Lira y Horacio Vásquez por su apoyo incondicional.

Al Dr. Raúl Santillán por su tiempo y conocimientos brindados para la realización de este trabajo.

Al Dr. Daniel Meyer y al Dr. Isidro Matamoros por su valiosa ayuda y consejos para la elaboración de este trabajo.

A Miguel Montesino, Carlos Gerle, Carlos Gallegos, Douglas Fuentes, Federico Charris y Joerg Kaehler por su amistad.

A Camilo Cornejo Dávila por la valiosa ayuda técnica brindada.

Y a todas las demás personas que de una u otra forma ayudaron en la elaboración de este trabajo.

RESUMEN

Romero, Carlos 1999. Evaluación hidropónica de dólicos (*Lablab purpureus* L.), maíz (*Zea mays* L.) y sorgo (*Sorghum bicolor* L.) en producción y calidad de forraje. Proyecto Especial del Programa de Ingeniero Agrónomo, Zamorano, Honduras. 23p

En las explotaciones ganaderas de leche se recurre a la suplementación para complementar la dieta del animal y de esta forma corregir las deficiencias del forraje. Esta suplementación frecuentemente se realiza con concentrados, bloques multinutricionales y otros suplementos. Como otra alternativa que se está estudiando es la técnica de producción de forraje hidropónico. Esta técnica está siendo utilizada con el propósito de brindarle al ganado un alimento fresco y de alta calidad nutritiva. En este experimento se evaluaron tres especies forrajeras para la producción de forraje hidropónico. El experimento se dividió en dos etapas: en la primera se evaluaron tres densidades de semilla por m^2 . Las especies evaluadas fueron dólicos: 1.33, 2.33, 3.33 kg/m^2 , maíz: 2.67, 4.00, 5.33 kg/m^2 , sorgo 1.0, 2.0, 3.00 kg/m^2 . En la segunda etapa se evaluaron tres concentraciones de solución nutritiva 1.8, 2.2, 2.6 g/l. Con las densidades de 3.33, 5.33 y 3.00 kg de semilla por m^2 de dólicos, maíz y sorgo respectivamente, ya que con estas se obtuvieron el mejor desarrollo y crecimiento de las plantas forrajeras en la primera etapa. En cada etapa los tratamientos contaron con tres repeticiones. Las concentraciones de solución nutritiva con las que se obtuvieron los mejores resultados fueron: la de 1.8 g/l para dólicos, 2.6 g/l para maíz y 2.6 g/l para el sorgo. Se produjo aproximadamente 25.57 kg , 32.61 kg y 24.84 kg de materia fresca por metro cuadrado, lo que equivale a 3.31 kg/m^2 , 5.79 kg/m^2 y 3.13 kg/m^2 de materia seca para el cultivo de dólicos, maíz y sorgo respectivamente.

Palabras claves: suplementación, ganado lechero, plantas forrajeras, solución nutritiva.

SI SE PUEDE PRODUCIR FORRAJE DE FORMA HIDROPONICA A PARTIR DE GRAMINEAS Y LEGUMINOSAS

En un experimento realizado en Zamorano, Honduras se decidió realizar pruebas para producir forraje hidropónico y determinar si era posible su producción bajo las condiciones locales.

Investigaciones realizadas en Chile y Ecuador, reportan que a partir de semillas de gramíneas y leguminosas es posible obtener un forraje verde que se puede utilizar como alimento o suplemento de dietas en ganado lechero.

El principal objetivo del trabajo fue comprobar si era posible producir alimento para bovinos a partir de una solución nutritiva de la cual las plantas tomarían los nutrientes necesarios para su desarrollo y crecimiento.

Para realizar dicho trabajo se utilizaron semillas de dos gramíneas (maíz y sorgo) y de una leguminosa (dólicos), las cuales se podían conseguir con facilidad en la región. Estas semillas fueron irrigadas con una solución nutritiva y fueron expuestas a la luz solar, al pasar doce días se obtuvo un forraje de buena apariencia y excelente calidad nutritiva.

Se pudo observar que el mayor crecimiento y producción de forraje se obtuvo a partir de semillas de maíz, aunque con semillas de sorgo y dólicos también se obtuvo forraje de buena calidad pero en menor cantidad.

CONTENIDO

Portadilla.....	i
Autoría.....	ii
Página de firmas.....	iii
Dedicatoria.....	iv
Agradecimientos.....	v
Resumen.....	vi
Nota de prensa.....	vii
Contenido.....	viii
Índice de Cuadros.....	x
Índice de Figuras.....	xii
Índice de Anexos.....	xiii
1. INTRODUCCION.....	1
2. REVISION DE LITERATURA.....	3
2.1 EL FORRAJE HIDROPONICO.....	3
2.2 USOS DEL FORRAJE HIDROPONICO.....	3
2.3 SISTEMAS DE CULTIVOS HIDROPONICOS.....	4
2.4 FACTORES QUE AFECTAN EL DESARROLLO DEL CULTIVO.....	4
2.4.1 El agua.....	4
2.4.2 La radiación.....	5
2.4.3 Los gases.....	5
2.4.3.1 Dióxido de Carbono (CO ₂).....	5
2.4.3.2 Oxígeno (O ₂).....	5
2.4.4 La solución nutritiva.....	5
2.4.5 La semilla.....	5
2.5 ESPECIES EN ESTUDIO.....	6
2.5.1 <i>Lablab purpureus</i> L. (Dólicos).....	6
2.5.2 <i>Zea mays</i> L. (maíz).....	6
2.5.3 <i>Sorghum bicolor</i> L. (Sorgo, maicillo).....	7
3. MATERIALES Y METODOS.....	8
3.1 LOCALIZACION.....	8
3.2 PROCEDIMIENTOS.....	8
3.2.1 Primera etapa.....	8
3.2.2 Segunda etapa.....	9
3.2.3 Fase en e laboratorio.....	9

3.3	TRATAMIENTOS.....	10
3.4	MATERIALES	11
3.5	VARIABLES MEDIDAS.....	11
3.6	DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANALISIS ESTADISTICO.....	11
4.	RESULTADOS Y DISCUSION.....	12
4.1	ETAPA DE DENSIDADES	12
4.1.1	Forraje hidropónico de dólidos.....	12
4.1.2	Forraje hidropónico de maíz	12
4.1.3	Forraje hidropónico de sorgo	13
4.2	ETAPA DE CONCENTRACIONES DE SOLUCION NUTRITIVA	14
4.2.1	Forraje hidropónico de dólidos.....	14
4.2.2	Forraje hidropónico de maíz	14
4.2.3	Forraje hidropónico de sorgo	15
4.3	ANALISIS DE LABORATORIO.....	16
4.3.1	Análisis de la solución nutritiva.....	17
4.4	EVALUACION ECONOMICA	18
4.4.1	Costos de suplementación.....	18
5.	CONCLUSIONES	19
6.	RECOMENDACIONES	20
7.	BIBLIOGRAFIA.....	21
8.	ANEXOS.....	23

INDICE DE CUADROS

Cuadro

1.	Densidades de semilla en kilogramos por bandeja (0.15 m ²) y por metro cuadrado (m ²) para las tres especies empleadas.....	10
2.	Concentraciones de la solución nutritiva para cada cultivo, utilizando la mejor densidad de siembra por especie.....	10
3.	Cantidad de forraje producido en base a materia fresca (MF) y materia seca (MS) por m ² en un ciclo de producción de 12 días	12
4.	Cantidad de forraje producido en base a materia fresca (MF) y materia seca (MS) por m ² en un ciclo de producción de 12 días.....	13
5.	Cantidad de forraje producido en base a materia fresca (MF) y materia seca (MS) por m ² en un ciclo de producción de 12 días.....	13
6.	Cantidad de forraje producido en base a materia fresca (MF) y materia seca por m ² en un ciclo de producción de 12 días con tres concentraciones de solución nutritiva.....	14
7.	Cantidad de forraje producido en base a materia fresca (MF) y materia seca por m ² en un ciclo de producción de 12 días con tres concentraciones de solución nutritiva.....	15
8.	Cantidad de forraje producido en base a materia fresca (MF) y materia seca por m ² en un ciclo de producción de 12 días con tres concentraciones de solución nutritiva.....	15
9.	Resultados del análisis bromatológico del forraje hidropónico obtenido en la etapa de concentraciones	16

10.	Composición nutricional promedio de las semillas de dólidos, maíz y sorgo.....	16
11.	Cantidad de forraje hidropónico producido de dólidos, maíz y sorgo en base a materia fresca (MF) y materia seca por m ² en un ciclo de producción de 12 días.....	17
12.	Resultados de la concentración inicial y final de fósforo total (mg PO ₄ ³⁻ /l) en la solución nutritiva.....	17

INDICE DE FIGURAS

Figura

1. Crecimiento del forraje hidropónico de dólidos con los tres tratamientos de solución durante un ciclo de producción de 12 días. 14
2. Crecimiento del forraje hidropónico de maíz con los tres tratamientos de solución durante un ciclo de producción de 12 días. 15
3. Crecimiento del forraje hidropónico de sorgo con los tres tratamientos de solución durante un ciclo de producción de 12 días. 16

INDICE DE ANEXOS

Anexo

1. Composición química de la solución nutritiva Hidrogardens[®] de fórmula 8-10- 22 23

1. INTRODUCCION

En el trópico americano se encuentra el 24.5% de la población de ganado vacuno del planeta, y el 16.5% del total de vacas lecheras. Sin embargo, únicamente se produce a nivel mundial el 20.1% de carne y el 8.5 % del total de leche en el trópico americano (FAO, 1992).

En los últimos años, ha habido un incremento en la producción de carne y leche en los países de América tropical. Este se debe en su mayor parte a un aumento en el área dedicada a pasturas permanentes y al número de animales en producción. Muy poco de este incremento se debe a una mayor productividad por unidad de área o por animal (FAO, 1992).

Las explotaciones pecuarias del trópico americano poseen ciertas características en común. Hay una mala utilización de las pasturas y una baja disponibilidad de alimentos apropiados. Esto conlleva a deficiencias nutricionales y problemas reproductivos dentro del hato.

La alimentación se considera el factor más limitante para poder mejorar los rendimientos productivos y reproductivos de las explotaciones ganaderas en la región. Para lograr dicho objetivo es indispensable mejorar las prácticas de producción, manejo y utilización adecuada de las pasturas con el fin de producir forrajes de alta calidad (FUSAGRI, 1986).

En las explotaciones ganaderas tropicales, las pasturas aportan la mayoría de los nutrientes requeridos por los animales para la producción de carne y leche. Para cubrir las deficiencias nutricionales del alimento base se recurre a la suplementación, con la que se busca cubrir la demanda de nutrientes de los microorganismos del rumen junto con las del bovino mismo (Combellas y Mata, 1992).

La suplementación normalmente se realiza a través de concentrados energéticos, bloques multinutricionales, leguminosas arbustivas y proteína sobrepasante. Una nueva alternativa es la suplementación con forraje producido de forma hidropónica (Sánchez, 1998).

El crecimiento de plantas en el agua o en una solución nutritiva, se conoce como hidroponía (*hydro* = agua, *ponos* = labor), la misma que es conocida desde hace siglos (Jones, 1997).

La hidroponía es una técnica en la cual la planta no se desarrolla en el suelo, sino que se nutre artificialmente mediante una solución de sales minerales que le provee a ésta de los

elementos esenciales en las proporciones y formas químicas normales, con lo cual éstos pueden ser absorbidos por las raíces de una forma rápida y eficiente (Zapp, 1991).

Esta técnica se puede realizar dentro de un invernadero o fuera de él. Bajo condiciones exteriores es necesario tomar en cuenta el tipo de planta a sembrar en relación con las condiciones climáticas, plagas y enfermedades a la que estaría expuesta. En cambio si se realiza dentro de un invernadero, es factible cultivar plantas de otros climas, al igual que existe la posibilidad de controlar los factores climáticos y biológicos como la humedad relativa, luminosidad, precipitación, temperatura y plagas (Giraldo y Brand, 1990).

El equipo básico que se utiliza en un sistema hidropónico consta de recipientes impermeables, depósitos para la recolección de la solución nutritiva y un sistema de bombas para la circulación de esta (Apí y Tognoni, 1991).

Según Jones (1997) las ventajas que la hidroponía presenta con respecto al cultivo de plantas en el suelo son las siguientes:

- Producción de cultivos donde no existe el suelo adecuado o este se encuentre contaminado.
- Máximo aprovechamiento del espacio disponible.
- Se utiliza de mejor manera el agua y los nutrientes en el sistema, con lo que se reduce la contaminación del suelo por efecto de acumulación de químicos.
- Se controla con mayor facilidad las infestaciones de plagas.
- En condiciones de invernadero, existe un control de la temperatura, humedad y composición del aire, con lo que la planta se encuentra en el ambiente óptimo para su crecimiento.

En países como Ecuador, España, Colombia y Chile esta técnica se está utilizando para la producción de forraje, con el propósito de brindarle al ganado un alimento fresco y de alta calidad nutritiva (Urroz, 1996, citado por Sánchez, 1998).

El objetivo general planteado en este trabajo fue:

Evaluar la producción hidropónica de forraje de tres especies, dólcos (*Lablab purpureus* L.), maíz (*Zea mays* L.) y sorgo (*Sorghum bicolor* L.).

Con el propósito de alcanzar este objetivo se definieron los siguientes objetivos específicos:

1. Determinar el efecto de tres densidades de siembra sobre la germinación de las semillas y la producción de forraje.
2. Determinar el efecto de tres concentraciones de solución nutritiva sobre el crecimiento y producción de forraje.

2. REVISION DE LITERATURA

2.1 EL FORRAJE HIDROPONICO

Dentro de la práctica de alimentación de rumiantes, los suplementos proteínicos tanto a través de forraje como de granos o residuos de éstos, se utilizan con el fin de mejorar la capacidad de procesamiento de fibra por parte de los animales.

El forraje hidropónico se obtiene a partir de la germinación y crecimiento de granos de alfalfa, avena, cebada, maíz, sorgo, etc., los cuales se dejan en presencia de luz solar y de una solución nutritiva poco concentrada de la cual absorben los elementos minerales, pudiéndose aumentar en forma significativa el contenido de aminoácidos, proteínas y vitaminas, al igual que la palatabilidad y digestibilidad del forraje resultante (Zapp, 1991).

El forraje obtenido es muy limpio y con un alto valor nutritivo, llegando a alcanzar niveles de proteína cruda de hasta 21%, dependiendo de la especie que se utilice (Sri Lanka Agriculture Information, 1998).

Este tipo de forraje se está utilizando fundamentalmente en la alimentación de ganado vacuno, caballos, conejos, ovejas, aves, porcinos y otros animales domésticos. Aunque en las especies monogástricas se ha observado una respuesta productiva inferior al introducir este forraje en sus raciones, debido principalmente al incremento en la fibra cruda de las mismas (Gestión Agrícola de Chile, 1998).

Según Gestión Agrícola de Chile (1998), el pasto producido si no es consumido el día de cosecha, puede ser almacenado por 2 o 3 días bajo condiciones de humedad adecuadas, ya que si deja más tiempo el contenido nutricional de este empieza a alterarse significativamente y puede llegar a perder gran parte de su valor alimenticio.

2.2 USOS DEL FORRAJE HIDROPONICO

Las características físicas (color y textura) del forraje hidropónico, hacen que sea atractivo y palatable para los rumiantes, los cuales lo consumen sin ningún problema, debido a la alta digestibilidad del forraje obtenido (Gestión Agrícola de Chile, 1998).

Según Zapp (1991) en un período de 7-15 días después de la siembra, 1 kilogramo (kg) de semilla por metro cuadrado se puede convertir en 5-8 kg de pasto hidropónico, con una energía alimenticia similar, pero con un contenido de proteína cercano al 17%.

Con corderos destetados precozmente, con un peso vivo al tercer mes de 18 kg se incluyó un 30% de avena hidropónica, aproximadamente 300 gramos (g) de materia seca por cordero por día, el cual fue aceptado fácilmente por los animales (Gestión Agrícola de Chile, 1998).

Según Gestión Agrícola de Chile (1998) con una dieta adicional de forraje hidropónico en vacas lecheras, se puede incrementar en un 10% la producción de leche y los niveles de grasa en la mantequilla en un 14%. Al deshidratar el forraje es posible obtener un heno de excelente calidad, y al molerlo incluso se puede peletizar, con lo cual el animal logra un mejor aprovechamiento de este alimento.

2.3 SISTEMAS DE CULTIVOS HIDROPONICOS

El equipo básico que se utiliza en un sistema hidropónico consta de bandejas impermeables, un tanque de reciclaje, un tanque de almacenamiento y un sistema de bombas para la circulación de la solución nutritiva (Alpi y Tognoni, 1991).

De la elevación sobre el nivel del mar a que se encuentre la explotación ganadera dependerá el tipo de invernadero a utilizar para la producción de forraje hidropónico. Los invernaderos de tierra fría, que se encuentran a alturas mayores a los 1800 msnm, deberán contar con equipo para elevar la temperatura del interior. En cambio los invernaderos de tierra caliente, deberán tener suficiente ventilación para controlar las altas temperaturas dentro de éste (Giraldo y Brand, 1990).

El invernadero puede construirse con madera y polietileno transparente y puede tener una capacidad suficiente para 1200 bandejas de 0.8 m x 0.4 m x 0.05 m, distribuidas en cinco niveles repartidos en camarotes o repisas de 2.2 m de alto y 0.50 m entre piso y piso, con una pendiente de 10% (Gestión Agrícola Chile, 1998).

Debe quedar un espacio libre de un metro entre la última bandeja y el techo del invernadero, para evitar que la semilla se quemé por el efecto de los rayos solares. El piso del invernadero se recomienda que sea de concreto para evitar el desarrollo de plagas. La humedad relativa y la temperatura del interior deberán de ser de 90% y de 25-35°C respectivamente para que las plantas se desarrollen de buena manera (Giraldo y Brand, 1990).

2.4 FACTORES QUE AFECTAN EL DESARROLLO DEL CULTIVO

2.4.1 El agua.

Es absorbida por la raíz y por las hojas. El forraje hidropónico requiere de una humedad relativa del 90%, con la cual las plantas se mantendrán vigorosas y frescas (Giraldo y Brand, 1990).

2.4.2 La radiación.

Se refiere al aprovechamiento de la luz solar por la planta, con la cual realiza la fotosíntesis. Las longitudes de onda que son aprovechadas por las plantas son las infrarrojas y las ultravioleta, las cuales inducen a la planta a producir su clorofila y ha aumentar sus nutrientes y pigmentos respectivamente (Giraldo y Brand, 1990).

2.4.3 Los gases.

Los cuales son tomados por la planta del aire.

2.4.3.1 Dióxido de Carbono (CO₂). Es el gas que la planta más necesita para cumplir su ciclo vital. Los invernaderos deben de poseer aperturas para que exista un buen intercambio y renovación del aire (Giraldo y Brand, 1990).

2.4.3.2 Oxígeno (O₂). La planta lo toma principalmente por las hojas y la raíz. El oxígeno del agua es tomado por la raíz de la planta. (Giraldo y Brand, 1990).

2.4.4 La solución nutritiva.

Es la parte más importante de todo el sistema debido a que esta debe de proveer a la planta todos los macro y microelementos requeridos, a lo largo de su crecimiento y desarrollo. El suministro de la solución dependerá de las condiciones climáticas locales y la etapa de desarrollo de la planta (Alpi y Tognoni, 1991).

Las fuentes para preparar las soluciones nutritivas o abonos hidropónicos deben ser muy solubles, debido a que los elementos indispensables deben de ser absorbidos en corto tiempo por la planta (Giraldo y Brand, 1990).

2.4.5 La semilla.

Esta no deberá presentar daño de plagas, ni ser vieja e inmadura ya que esto afectaría su viabilidad y reduciría el porcentaje de germinación. Los nutrimentos presentes en el endospermo de la semilla, deben ser suficientes para mantener a la plántula hasta que esta sea capaz de absorber por la raíz los nutrimentos que se le brindan a través de la solución nutritiva (Coljap, citado por Sánchez, 1997).

2.5 ESPECIES EN ESTUDIO

2.5.1 *Lablab purpureus* L. (Dólicos)

Es una planta herbácea, de ciclo de vida anual o perenne de vida corta, de hábito de crecimiento semideterminado y con un desarrollo inicial rápido. El dólicos posee tallos trepadores y vigorosos, parcialmente leñosos que pueden alcanzar un metro de altura (Binder, 1997).

Esta planta crece en forma de enredadera, posee hojas trifoliadas anchas de 7.5-15 centímetros (cm) de largo y 6-14 cm de ancho (Binder, 1997).

Las vainas son anchas, comprimidas y poseen de 3-5 semillas de color pardo pálido con un hilo blanco sobresaliente, las cuales pueden ser elípticas a ovoides de un centímetro de largo (Binder, 1997).

Es una forrajera muy apetecible especialmente por bovinos. En Brasil y Australia, se han obtenido rendimientos de hasta 12 litros de leche/vaca/día, al emplear dólicos como forraje suplementario a una buena gramínea tropical. Posee un contenido de proteína cruda (PC) entre el 10-18% y una digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica (DIVMO) de hasta 64% (Santillán, 1997).

Según Binder (1997) su potencial como forrajera es de alto a medio. En sus primeros estadios puede resistir un pastoreo intenso y su palatabilidad es mejor antes de la floración, ya que después de ella sufre una rápida lignificación. Las plantas no deben de ser suministradas como única dieta durante la floración, porque le dan un sabor amargo a la leche y pueden provocar timpanismo (Binder, 1997).

Si se preservan las hojas es posible obtener un heno de excelente calidad, los tallos son difíciles de secar. De igual forma, si se mezcla el dólicos con maíz o sorgo (1 parte de dólicos y 2 partes de forraje de gramíneas) se puede producir un ensilaje de buena calidad (Binder, 1997).

2.5.2 *Zea mays* L. (maíz)

Es una planta anual, robusta con tallos que crecen entre 1.5-5.0 m de altura y las hojas poseen un largo de 0.3-1.5 m de largo (Santillán, 1997).

El maíz es un cultivo que responde de buena forma a la fertilización, al riego y a prácticas complementarias de manejo. Se propaga por medio de semilla de buena calidad (certificada o seleccionada), para obtener un mayor rendimiento de forraje (Santillán, 1997).

La planta de maíz a nivel mundial es utilizada para la producción de grano el mismo que es empleado principalmente en la alimentación humana y animal. Es una excelente forrajera, que puede ser ofrecida a los animales como forraje fresco, en ensilaje y hasta en forma de rastrojo (Santillán, 1997).

El forraje de esta planta es rico en carbohidratos y bajo en proteínas igual que los granos, aunque al ser ofrecida como forraje verde, posee altos valores de vitamina A y D. Los niveles de fósforo en el forraje y ensilaje de maíz son algo bajos, aunque el porcentaje de este depende de la disponibilidad que posea la planta de dicho elemento (Flores, 1977).

2.5.3 *Sorghum bicolor* L. (Sorgo, maicillo).

El sorgo es una planta anual de 0.8-3.0 m de altura, con tallos gruesos en la base y que posee gran habilidad para desarrollar raíces adventicias. Los tallos están divididos longitudinalmente por entrenudos cuyas uniones las forman los nudos y de los cuales emergen las hojas (Santillán, 1997).

Las hojas pueden alcanzar hasta un metro de largo y 12 cm de ancho. La inflorescencia en una panícula que puede ir de altamente densa a muy abierta (Santillán, 1997).

Esta planta posee la habilidad de utilizar eficientemente la humedad del suelo, por lo que puede proveer forraje en temporadas secas y cálidas. La calidad del forraje dependerá del cultivar, su utilización y el manejo. La DVMIO para sorgo generalmente oscila entre 46-62 % (Santillán, 1997).

Gran cantidad de las variedades de sorgo contienen un glucósido cianogénico (diurrina) que al hidrolizarse, produce ácido cianhídrico (HCN) o prúsico, el cual es tóxico para los rumiantes. La cantidad de HCN producido dependerá de la variedad del sorgo y de las condiciones ambientales (Dogget, citado por Miranda, 1990).

El HCN únicamente se desprende hasta después que el animal ha masticado las hojas, ya que la diurrina es hidrolizada por acción de la diastasa, la cual se encuentra en células distintas a esta (Mela, citado por Miranda, 1990).

3. MATERIALES Y METODOS

3.1 LOCALIZACION

El experimento se realizó en el invernadero de la sección de Agrostología y los análisis bromatológicos del forraje se llevaron a cabo en el laboratorio de Nutrición Animal del Departamento de Zootecnia de la Escuela Agrícola Panamericana (EAP), la cual se encuentra localizada en el Valle del Yeguaré, a 32 km del Sureste de Tegucigalpa, Honduras; a una altura de 800 msnm, con una temperatura promedio anual de 24 °C y una precipitación promedio anual de 1100 mm.

3.2 PROCEDIMIENTOS

El experimento se dividió en dos etapas, en la primera se evaluaron diferentes densidades de semilla por bandeja, y en la segunda se evaluó el efecto de diferentes concentraciones de solución nutritiva sobre el crecimiento y producción de forraje.

La semilla utilizada se sumergió en una solución de cloro a 10 ppm por 10 minutos para evitar el desarrollo de hongos, inmediatamente fueron retiradas y lavadas para evitar el daño de esta por el cloro. Después se depositaron en agua por 6 y 24 horas, para el dólidos, el maíz y el sorgo respectivamente con el propósito de hidratarla y obtener una germinación rápida y uniforme.

Posteriormente se colocaron de forma uniforme sobre las bandejas. Las semillas fueron regadas por aspersión dos veces al día y estuvieron cubiertas con una tela sarán para mantener las condiciones adecuadas de humedad y temperatura para una buena germinación. Después de germinadas se empezó a aplicar la solución nutritiva, y se comenzó a contar los 12 días para su cosecha.

La medición de la altura de las plantas en cada etapa se realizó cada mañana con una regla graduada y para el pesado de las bandejas se utilizó una balanza manual de 10 kg de capacidad.

3.2.1 Primera etapa.

Al tercer día de estar las semillas en las bandejas se empezó a aplicar la solución nutritiva a razón de 35 cc/bandeja/riego para las tres especies de forraje. A partir del séptimo día,

se aplicaron 50 cc/bandeja/riego debido al mayor requerimiento de las plantas, ya que estas habían desarrollado gran cantidad de raíces adventicias.

Se realizaron 6 riegos por día con una duración de un minuto cada uno. Se evaluaron tres tratamientos y cada uno de ellos contó con tres repeticiones (cuadro 1).

3.2.2 Segunda etapa.

Las densidades de semilla utilizadas en la segunda etapa estuvieron basadas en la cantidad final de biomasa producida en la primera etapa. De igual forma los tres tratamientos contaron con tres repeticiones (cuadro 2).

3.2.3 Fase en el laboratorio.

Con el fin de tener una idea de la composición nutricional del forraje obtenido, se le realizaron pruebas bromatológicas simples, las cuales se llevaron a cabo en el laboratorio de bromatología, entre las que se encuentran: digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica (DIVMO), materia orgánica (MO), proteína cruda (PC) y cenizas (Cz).

En el laboratorio del proyecto de acuicultura se realizó la determinación de la concentración de fósforo total en la solución nutritiva, los resultados del análisis se presentaron como el ion del ácido fosfórico o fosfato en la solución ($\text{mg PO}_4^{3-}/\text{l}$). Esta prueba se realizó con el fin de determinar en que cantidad se encontraba este elemento al momento de realizar el cambio de la solución nutritiva.

Estas fueron pruebas complementarias, ya que la información no fue analizada estadísticamente debido a la falta de un mayor número de repeticiones, las que no se realizaron por el elevado costo de los análisis y los objetivos del estudio.

3.3 TRATAMIENTOS

Primera etapa.

Cuadro 1. Densidades de semilla en kilogramos por bandeja (0.15 m^2) y por metro cuadrado (m^2) para las tres especies empleadas.

DOLICOS

TRAT	DEN.SEM/BANDEJA (kg)	DEN.SEM (kg/m^2)
T1	0.20	1.33
T2	0.35	2.33
T3	0.50	3.33

MAIZ

TRAT	DEN.SEM/BANDEJA (kg)	DEN.SEM (kg/m^2)
T1	0.40	2.67
T2	0.60	4.0
T3	0.80	5.33

SORGO

TRAT	DEN.SEM/BANDEJA (kg)	DEN.SEM (kg/m^2)
T1	0.15	1.0
T2	0.3	2.0
T3	0.45	3.0

La solución nutritiva que se utilizó tuvo una concentración de 1.6 veces de la recomendada por la casa comercial (1.2 g/l).

Segunda etapa.

Cuadro 2. Concentraciones de la solución nutritiva para cada cultivo, utilizando la mejor densidad de siembra por especie.

DOLICOS

TRAT	DEN.SEM (kg/m^2)	CONCENTRACION SOLUCION NUTRITIVA (g/l)
T1	3.33	1.8
T2	3.33	2.2
T3	3.33	2.6

MAIZ

TRAT	DEN.SEM (kg/m^2)	CONCENTRACION SOLUCION NUTRITIVA (g/l)
T1	5.33	1.8
T2	5.33	2.2
T3	5.33	2.6

SORGO

TRAT	DEN.SEM (kg/m^2)	CONCENTRACION SOLUCION NUTRITIVA (g/l)
T1	3.0	1.8
T2	3.0	2.2
T3	3.0	2.6

En ambas etapas la solución nutritiva fue preparada a partir del granulado soluble de la casa Hidrogardens® de fórmula 8-10-22 (Anexo 1). Al finalizar cada repetición, el equipo fue desinfectado con una solución clorinada de 100 ppm.

3.4 MATERIALES

Se utilizó un invernadero, con una estructura de perfiles metálicos, que cuenta con material de recubrimiento de fibra de vidrio transparente corrugada (FRP), techo y paredes laterales con ventanillas ajustables.

Se emplearon bandejas plásticas de color negro de 0.50 x 0.30 x 0.025 m de largo, ancho y altura respectivamente, a las mismas se les insertó en uno de sus extremos una manguera, que servía de vía de drenaje para la solución nutritiva.

El sistema de riego y reciclaje utilizado contaba con el siguiente equipo:

- tres tanques de 207,96 litros de capacidad
- seis baldes de 20 litros
- tres bombas sumergibles de 1/15 HP (Little Giant) de 710 GPH y de elevación máxima de 7 m de bombeo
- 12 m de manguera de 1.27 cm de diámetro
- 10 m de manguera de riego marca Chapin
- 10 m de tubería de PVC
- 1 reloj electrónico "Timer" (con ajuste de frecuencias de riego automático)

3.5 VARIABLES MEDIDAS

- Cantidad de biomasa verde y materia seca producida en el ciclo de producción según la densidad de semilla utilizada por metro cuadrado.
- Cantidad de biomasa verde y materia seca producida en el ciclo de producción según la concentración de la solución nutritiva utilizada.

3.6 DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El modelo utilizado fue un diseño completamente al azar (D.C.A.). Cada tratamiento contó con tres repeticiones en las dos etapas del experimento. Para analizar los datos se utilizó el paquete estadístico SAS. La separación de medias se realizó por la prueba Tukey al nivel de 5% de significación.

4. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 ETAPA DE DENSIDADES

4.1.1 Forraje hidropónico de dólidos

Se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en la cantidad de biomasa verde y seca producida para las tres densidades de semilla de dólidos al finalizar el ciclo de producción de 12 días (Cuadro 3).

Cuadro 3. Cantidad de forraje producido en base a materia fresca (MF) y materia seca (MS) por m^2 en un ciclo de producción de 12 días.

TRAT	kg MF/ m^2	kg MS/ m^2
T1	13.40 ^a	2.01 ^a
T2	17.87 ^b	2.68 ^b
T3	25.13 ^c	3.51 ^c

Los resultados obtenidos muestran que al utilizar una mayor cantidad de semilla de dólidos por metro cuadrado hubo un incremento en el número de plantas en crecimiento, las que no se vieron afectadas por el aumento en la densidad. La mayor producción de MS/ m^2 se obtuvo con el T3.

Los niveles de materia seca del forraje estuvieron en 13%, a diferencia de los obtenidos por Binder (1997) los cuales se encontraban entre 18-19%. Debido a los resultados obtenidos, se utilizó la densidad de 3.3 kg de semilla/ m^2 (T3) para la segunda etapa del experimento.

4.1.2 Forraje hidropónico de maíz

Se detectaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en la cantidad de biomasa verde y seca producida por las tres densidades de semilla de maíz al finalizar el ciclo de producción de 12 días (Cuadro 4).

Cuadro 4. Cantidad de forraje producido en base a materia fresca (MF) y materia seca (MS) por m² en un ciclo de producción de 12 días.

TRAT	kg MF/m ²	kg MS/m ²
T1	19.67 ^a	3.93 ^a
T2	26.87 ^b	5.37 ^b
T3	33.80 ^c	6.76 ^c

Estos resultados manifiestan que al aumentar la densidad de siembra para el maíz por metro cuadrado hubo un incremento notable de plantas que se desarrollaron saludablemente durante el ciclo de producción. La mayor producción de MS/m² se obtuvo con el T3, lo que concuerda con los resultados encontrados por Sánchez (1998).

Los niveles de MS obtenidos en el forraje fueron de 18%, los que concuerdan con los valores publicados por Vélez (1997) los cuales eran de 19%. Debido a los resultados obtenidos con esta densidad (5.3 kg de semilla/m²)(T3) se empleó la misma para la segunda etapa del experimento.

4.1.3 Forraje hidropónico de sorgo

Se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en la cantidad de biomasa verde y seca producida por las tres densidades de semilla de sorgo al finalizar el ciclo de producción de 12 días (Cuadro 5).

Cuadro 5. Cantidad de forraje en base a materia fresca (MF) y materia seca (MS) por m² en un ciclo de producción de 12 días.

TRAT	kg MF/m ²	kg MS/m ²
T1	13.2 ^a	1.58 ^a
T2	18.8 ^b	2.26 ^b
T3	27.0 ^c	3.24 ^c

Los resultados obtenidos indican que al utilizar una mayor cantidad de semilla por metro cuadrado hubo un mayor número de plantas en crecimiento activo que no se vieron afectadas por el aumento en la densidad. La mayor producción de MS/m² se obtuvo con el T3.

El contenido de MS en el forraje fue del 13%, a diferencia de los reportados por Vélez (1997) los cuales eran de 21%. Debido a los resultados obtenidos se utilizó la densidad de 3 kg de semilla/m² para la segunda etapa del experimento.

Los resultados obtenidos con las tres especies indican que a medida que se incrementó la densidad de siembra en los niveles empleados para este experimento, se alcanzaron los valores más altos en respuesta productiva, sin embargo, existe la posibilidad que relaciones de siembra mayores puedan afectar tanto la respuesta biológica como económica.

4.2 ETAPA DE CONCENTRACIONES DE SOLUCION NUTRITIVA

4.2.1 Forraje hidropónico de dólidos

Se encontraron diferencias ($P \leq 0.05$) con respecto a la cantidad de biomasa verde y seca producida a partir de cada una de las concentraciones de solución nutritiva.

Cuadro 6. Cantidad de forraje producido en base a materia fresca (MF) y materia seca (MS) por m^2 en un ciclo de producción de 12 días con tres concentraciones de solución nutritiva.

TRAT	kg MF/ m^2	kg MS/ m^2
T1	27.47 ^a	3.57 ^a
T2	25.00 ^a	3.25 ^a
T3	23.33 ^b	3.03 ^b

Debido a que no se pudo detectar una diferencia en la biomasa producida por las concentraciones del T1 y T2, es preferible utilizar la concentración del T1, ya que aunque esta es menos concentrada se obtuvo una respuesta mayor a la obtenida con el T2 (Figura 1).

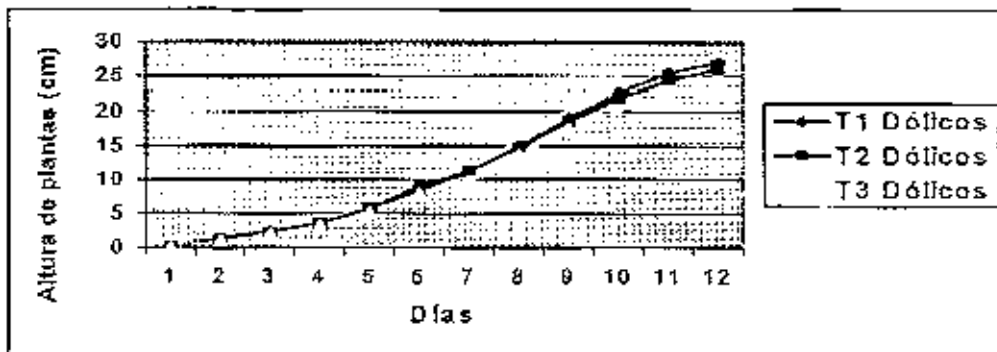


Figura 1. Crecimiento del forraje hidropónico de dólidos con los tres tratamientos de solución nutritiva durante un ciclo de producción de 12 días.

4.2.2 Forraje hidropónico de maíz

Se encontraron diferencias ($P \leq 0.05$) con respecto a la cantidad de biomasa verde y seca producida a partir de cada una de las concentraciones de solución nutritiva.

Cuadro 7. Cantidad de forraje producido en base a materia fresca (MF) y materia seca (MS) por m² en un ciclo de producción de 12 días con tres concentraciones de solución nutritiva.

TRAT	kg MF/m ²	kg MS/m ²
T1	30.53 ^a	5.49 ^a
T2	32.47 ^b	5.84 ^b
T3	34.80 ^b	6.27 ^b

Estos valores pueden deberse a que la planta de maíz posee una alta capacidad para responder a la fertilización, y su crecimiento no se vio afectado por ninguna de las concentraciones de solución nutritiva utilizadas.

No se pudo encontrar una diferencia en la biomasa producida por las concentraciones del T2 y T3, por lo cual es preferible utilizar la concentración del T2. Al momento de la cosecha la mayoría de las plantas de maíz habían sobrepasado los 30 cm, no hubieron diferencias marcadas en el tiempo en que estas llegaron a esta altura (Figura 2).

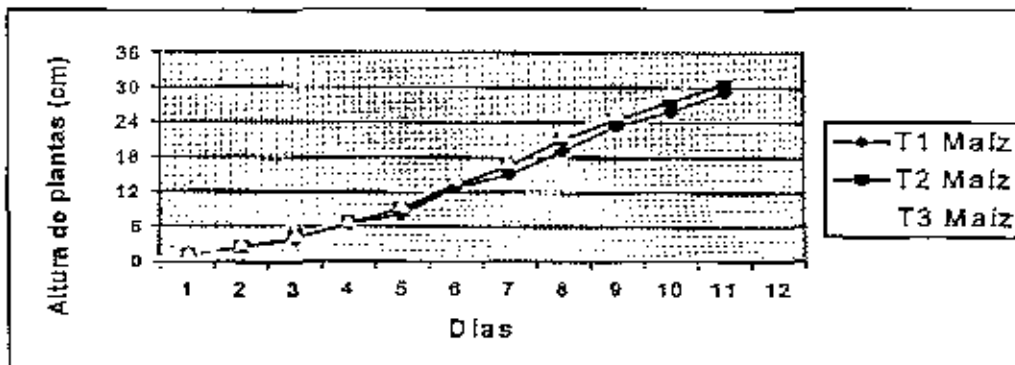


Figura 2. Crecimiento del forraje hidropónico de maíz con los tres tratamientos de solución nutritiva durante un ciclo de producción de 12 días.

4.2.3 Forraje hidropónico de sorgo

Se encontraron diferencias ($P \leq 0.05$) con respecto a la cantidad de biomasa verde y seca producida a partir de cada una de las concentraciones de solución nutritiva.

Cuadro 8. Cantidad de forraje producido en base a materia fresca (MF) y materia seca (MS) por m² en un ciclo de producción de 12 días con tres concentraciones de solución nutritiva.

TRAT	kg MF/m ²	kg MS/m ²
T1	23.53 ^a	3.06 ^a
T2	24.13 ^a	3.14 ^a
T3	26.87 ^b	3.49 ^b

No se pudieron detectar diferencias significativas en la cantidad final de material verde producido a partir de las concentraciones del T1 y T2. En cambio si hubo diferencia significativa en la cantidad de material verde producido con la concentración del T3.

Estos resultados indican que las plantas de sorgo al igual que las plantas de maíz poseen una buena capacidad para responder a la fertilización, y su crecimiento se vio beneficiado a medida que se incrementaron los niveles de la concentración de la solución nutritiva (Figura 3).

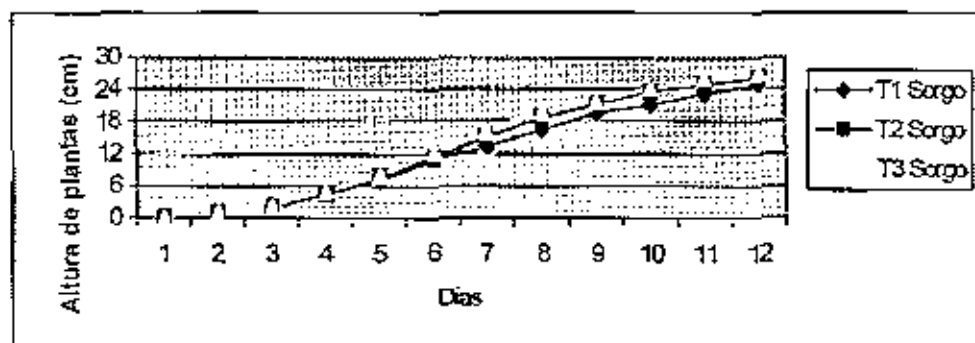


Figura 3. Crecimiento del forraje hidropónico de sorgo con los tres tratamientos de solución nutritiva durante un ciclo de producción de 12 días.

4.3 ANALISIS DE LABORATORIO

Al forraje obtenido se le realizaron para fines de comparación ciertas pruebas bromatológicas para tener una idea de su composición nutricional (Cuadro 9).

Cuadro 9. Resultados del análisis bromatológico del forraje hidropónico obtenido en la etapa de concentraciones.

TRAT	%MS	%Cz	%MO	%DIVMO	%PC
Dólicos	12.33	8.06	91.94	40.63	19.33
Maíz	17.67	3.66	96.34	70.63	15.12
Sorgo	12.49	3.75	96.25	67.35	20.39

Los resultados del cuadro anterior se compararon con la composición nutricional de la semilla (Cuadro 10).

Cuadro 10. Composición nutricional promedio de las semillas de dólicos, maíz y sorgo

SEMILLA	%MS	%Cz	%PC
Dólicos	89.30	3.9	21.6
Maíz	87.58	1.54	8.48
Sorgo	86.00	2.2	11.2

Fuente: Binder, 1997, Sánchez, 1998 y Vélez, 1997, adaptado por el autor.

El contenido promedio de materia seca en los granos son parecidos, y éste como es lógico, es más elevado que el encontrado en el forraje fresco hidropónico.

Los niveles de proteína cruda del forraje de maíz y sorgo fueron mayores que los encontrados en el grano, lo que concuerda con los valores obtenidos por Sánchez (1998). Esto a diferencia del dólícos, en el cual los valores de proteína cruda del follaje fueron menores que los encontrados en el grano, situación similar a lo encontrado por Binder (1997).

De igual forma se puede observar que la DIVMO del forraje de dólícos fue el más bajo. Esto se debió posiblemente al alargamiento excesivo del peciolo, ya que estos tienen cierta consistencia semileñosa y un elevado contenido de cenizas (cuadro 9).

El forraje de maíz tenía aproximadamente 25% más de MS que el forraje de las otras dos especies, (Cuadro 9) lo que pone de manifiesto la superioridad de este cultivo que pertenece al grupo de plantas C_4 .

La mayor producción de MS (kg) se obtuvo con el maíz, seguida por el sorgo y dólícos respectivamente (Cuadro 11). Estos resultados se pueden deber a que las plantas de maíz y sorgo son más eficientes en la utilización de la energía solar, mientras que el dólícos mostró los valores más bajos que caracterizan casi siempre a las plantas C_3 .

Cuadro 11. Cantidad de forraje hidropónico producido de dólícos, maíz y sorgo en base a materia fresca (MF) y materia seca (MS) por m^2 en un ciclo de producción de 12 días.

FORRAJE	kg MF/ m^2	kg MS/ m^2
Dólícos	27.27	3.54
Maíz	34.61	6.11
Sorgo	25.84	3.23

4.3.1 Análisis de la solución nutritiva

Los resultados de la determinación de la concentración de fósforo total en la solución nutritiva se muestran en el cuadro 12.

Cuadro 12. Resultados de la concentración inicial y final de fósforo total ($mg PO_4^{3-}/l$) en la solución nutritiva.

TRATAMIENTO	CONC. INICIAL $mg PO_4^{3-}/l$	CONC. FINAL $mg PO_4^{3-}/l$
T1	12.6	5.1
T2	14.8	6.3
T3	16.3	8.6

Se puede observar que existe una diferencia entre la concentración inicial y final de fósforo total en la solución, situación que pone en evidencia que este elemento fue absorbido por las plantas.

4.4 EVALUACION ECONOMICA

La bandeja de 1 m² produce en promedio: 32.61 kg de biomasa verde (5.76 kg de MS/m²).

Por m² se producen 32.61 kg MF/día tomando en cuenta que a una vaca lechera se le ofrecen 8 kg MF, entonces se necesitan 0.25 m² bandeja/vaca/día para poder suplementarla diariamente. Para suplementar 30 vacas serían necesarios: 7.5 m²/día

4.4.1 Costos de suplementación.

Expresado en materia orgánica digerible:

Con forraje hidropónico de maíz:

En promedio se producirían 240 kg MF/día x 30 días = 7200 kg MF/mes

Se necesitan U.S \$ 348.72/mes para obtener 7200 kg MF/mes

Lo que equivale a U.S \$ 0.048 kg/MF

En promedio la MO del forraje de maíz es de 96.34%

En promedio la MS del forraje de maíz es de 17.67%

En promedio la DIVMO del forraje de maíz es de 70.63%

1kg MF x 0.9634 MO x 0.1767 MS x 0.7063 DIVMO = 0.12 kg

1 kg MOD = U.S \$ 0.40

El costo de producir un kilogramo de MOD de forraje hidropónico equivale a U.S \$ 0.40

5. CONCLUSIONES

1. Es posible producir forraje hidropónico a partir de semillas de dólidos, maíz y sorgo principalmente.
2. Las densidades de semilla con las que se obtuvo el mejor rendimiento en dólidos, maíz y sorgo fueron de 3.33 kg, 5.33 kg y 3.00 kg de semilla por m².
3. Las concentraciones de solución nutritiva con las que se obtuvo un mayor crecimiento y producción de forraje fueron la de 1.8 g/l para dólidos, 2.6 g/l para maíz y 2.6 g/l para el sorgo.
4. En un metro cuadrado es posible producir alrededor de 26 kg de materia fresca de dólidos, 33 kg de materia fresca de maíz y 25 kg de materia fresca de sorgo en sistemas de producción de forraje hidropónico.

6. RECOMENDACIONES

1. Continuar con los ensayos de producción de forraje hidropónico y evaluar la respuesta animal a la suplementación con este tipo de forraje.
2. Realizar pruebas para determinar el momento óptimo para el cambio de la solución nutritiva.
3. Estudiar la producción hidropónica en repisas con el propósito de aprovechar al máximo el espacio disponible.
4. Evaluar el efecto de luz complementaria en el crecimiento y calidad del forraje.

7. BIBLIOGRAFIA

- ALPI, A.; TOGNONI, F. 1991. Cultivo en invernadero. Trad. por C.I. Cerisola. 3 ed. Madrid, España, Mundiprensa. 347 p.
- BINDER, V. 1997. Manual de Leguminosas de Nicaragua. Estelí, Nic., Imprenta Monjes Agustinos. v.1, 191 p.
- FAO (CHILE). 1992. Avances en la producción de leche y carne en el trópico americano. Ed. por Saúl Fernández-Baca. Santiago, Chile., s.n. 504 p.
- FLORES, M. 1977. Bromatología animal. México, Editorial Limusa. 683 p.
- GESTION AGRICOLA DE CHILE. 1998. Producción de forraje hidropónico. Chile. INTERNET: www.interaccess.cl/ngroneg/gestion.htm
- GIRALDO, S.; BRAND, H. 1990. Hidrocultivos al alcance de todos: Los principios fundamentales de la hidroponía bajo invernadero. Colombia, Editorial Lea. 64 p.
- JONES, B. 1997. Hydroponics: a practical guide for soilles grower. Published by St. Lucie Press. Florida, USA. 230 p.
- MIRANDA, G. 1990. Comparación bajo pastoreo de dos sorgos forrajeros (*Sorghum bicolor* x *S. sudanense*) en la producción de forraje y carne. Tesis de Ing. Agr. Escuela Agrícola Panamericana. El Zamorano, Honduras. 55 p.
- PASTOS. 1986. Ed. por FUSAGRI. Venezuela, Fundación servicio para el agricultor. 112 p.
- SANCHEZ, P. 1998. Producción de forraje hidropónico en condiciones de Zamorano. Tesis de Ing. Agr. Escuela Agrícola Panamericana. El Zamorano, Honduras. 30 p.

SANTILLAN, R. 1997. Pastos y forrajes. Escuela Agrícola Panamericana. El Zamorano, Honduras. 56 p.

SRI LANKA AGRICULTURE INFORMATION. 1998. Hydroponics forage production for small farmers. Sri Lanka. INTERNET: www.agro-lanka.org/slaginfo/hydro.html

VELEZ, M. 1997. Producción de ganado lechero en el Trópico. Segunda edición. Zamorano Academic Press. Zamorano, Honduras. 189 p.

ZAPP, J. 1991. Cultivos sin tierra: Hidroponía Popular. Bogotá, Col., Editorial Presencia. 235 p.

8. ANEXOS

Anexo 1.

Composición química de la solución nutritiva Hidrogardens®

Formular: 8-10-22

Nutriente	Contenido (%)
Nitrógeno	10
Acido Fosfórico disponible	8
Potasio soluble	22
Calcio	5
Azufre	2
Boro	0.05
Cobre	0.05
Hierro	0.20
Manganeso	0.10
Molibdeno	0.05
Zinc	0.05

Fuente: Sánchez, 1998