

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**

**DIVISION DE CIENCIA ANIMAL**

**DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN ANIMAL**



**DIGESTIBILIDAD *IN VITRO* DE MAÍZ Y SORGO CULTIVADOS EN CONDICIONES  
DE HIDROPONIA**

**POR**

**ADOLFO PÉREZ ROBLERO**

**TESIS**

**Presentada Como Requisito Parcial Para Obtener el Título de Ingeniero  
Agrónomo Zootecnista**

**Buenavista, Saltillo, Coahuila, México**

**Junio de 2013**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISION DE CIENCIA ANIMAL  
DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN ANIMAL

DIGESTIBILIDAD *IN VITRO* DE MAÍZ Y SORGO CULTIVADOS EN CONDICIONES  
DE HIDROPONIA

POR:


ADOLFO PÉREZ ROBLERO

QUE SE SOMETE A CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR COMO  
REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRONOMO ZOOTECNIATA

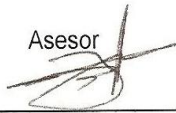
APROBADA

Asesor Principal



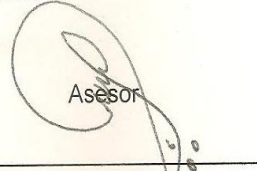
Dr. Jesús Manuel Fuentes Rodríguez

Asesor



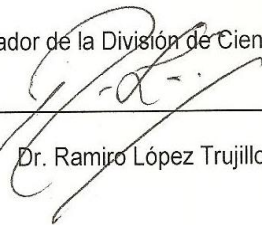
Dr. Fernando Borrego Escalante

Asesor



M.C. Manuel Torres Hernández

Coordinador de la División de Ciencia Animal



Dr. Ramiro López Trujillo



Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Junio de 2013

## **AGRADECIMIENTOS**

### ***Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”***

En especial al Departamento de Producción Animal, por haberme dado la oportunidad de desarrollarme y capacitarme profesionalmente.

#### **A mi Alma Terra Mater:**

Que siempre formara parte de mi corazón por ser la forjadora de mi carrera universitaria.

#### ***A los miembros del comité de asesoría***

Al Dr. Jesús M. Fuentes Rodríguez. Por todo su apoyo en la realización y dirección de este proyecto de investigación, por todas las buenas enseñanzas, experiencias y consejos compartidos durante todo este tiempo.

Al Dr. Fernando Borrego Escalante, *por su apoyo en la revisión de este trabajo y sus sugerencias para la culminación del mismo.*

Al M.C. Manuel Torres Hernández, por formar parte del comité y por su apoyo en la revisión de esta tesis.

A todos los maestros del Departamento de Producción Animal, por ayudarme en mi formación profesional con sus clases, experiencias compartidas y consejos.

A la Laboratorito de producción animal LCN. Laura Maricela Lara López, por su apoyo incondicional para lograr terminar con este trabajo mil gracias.

## **DEDICATORIA**

### ***A Dios***

A ti grandioso padre celestial por darme fortaleza, por permitirme cumplir este gran logro en mi vida, que por cosas del destino no había podido realizar, pero con esfuerzo y paciencia lo hice, gracias señor por tu amor, paciencia y dirección.

### ***A mis padres***

Adolfo Pérez Morales y Esperanza Roblero Rivera por darme la vida, por enseñarme que en este mundo a veces tenemos que llorar y reír, por enseñarme que la única forma de lograr algo es trabajando duro, y por brindarme el cariño y amor, les doy las gracias por su apoyo para mi formación profesional, que gran fortuna ser hijo suyos.

### ***A mis hermanos***

A mis amados hermanos Celín Osvaldo Pérez Roblero y Yelqui Godolfredo Pérez Roblero, y por todos los momentos compartidos, alegrías, tristezas en esta vida, por las buenas y malas experiencias, por todo su apoyo para que pudiera alcanzar una meta más en la vida también mi hermanita (Chavelita) que me acompañó desde cielo por mandarme todas sus bendiciones gracias.

### ***A mi cuñada***

Rosa Amelia Dimas Linares por todos los momentos compartidos, por todo su apoyo brindado durante este tiempo, por los consejos que me han dado y ánimos para poder lograr este proyecto en mi vida.

### ***A mi sobrina***

Dulce Jacqueline Pérez Linares, por todos los momentos felices que hemos compartido, por las alegrías y risas que hacen que disfrutemos más la vida.

### ***A mis amigos***

A todo los compañeros, preparatoria, universidad en especial a las personas que fueron muy cercanas en vida, por lo momentos y experiencias que estuvieron a mi lado y brindarme su apoyo y cariño por eso y mucho más gracias.

## MANIFIESTO DE HONESTIDAD ACADEMICA

El suscrito Adolfo Pérez Roblero estudiante de la carrera de Ingeniero Agrónomo Zootecnista, con matrícula 299042 y autor de la presente Tesis manifiesto que:

1. Reconozco que el Plagio académico constituye un delito que está penado en nuestro país.
2. Las ideas, opiniones datos e información publicadas por otros autores y utilizadas en la presente Tesis han sido debidamente citadas reconociendo la autoría de la fuente original.
3. Toda la información consultada ha sido analizada e interpretada por la suscrita y redactada según su criterio y apreciación, de tal manera que no se ha incurrido en el "copiado y pegado" de dicha información.
4. Reconozco la responsabilidad sobre los derechos de autor de los materiales bibliográficos consultados por cualquier vía y manifiesto no haber hecho mal uso de ninguno de ellos.
5. Entiendo que la función y alcance de mi Comité de Asesoría, está circunscrito a la orientación y guía respecto a la metodología de la investigación realizada para la presente Tesis, así como del análisis e interpretación de los resultados obtenidos, y por lo tanto eximo de toda responsabilidad relacionado al plagio académico a mi comité de Asesoría y acepto que cualquier responsabilidad al respecto es únicamente por parte mía.

Atentamente

Adolfo Pérez Roblero

Nombre y Firma

Tesista de Licenciatura UAAAN

## INDICE GENERAL

<b>ÍNDICE</b>	<b>PÁG.</b>
<b>INDICE DE CUADROS .....</b>	<b>i</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>ii</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>iii</b>
<b>I.-INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. Objetivo .....</b>	<b>2</b>
<b>1.2. Hipótesis .....</b>	<b>2</b>
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA .....</b>	<b>3</b>
<b>2.1. Definición, antecedentes e historia de la hidroponía .....</b>	<b>3</b>
<b>2.1.1. Ventajas de la hidroponía .....</b>	<b>5</b>
<b>2.1.2. Desventajas de la hidroponía .....</b>	<b>5</b>
<b>2.2. Forraje verde hidropónico (FVH) .....</b>	<b>6</b>
<b>2.2.1. Características del Forraje Verde Hidropónico .....</b>	<b>8</b>
<b>2.2.3. Costo del kg de FVH .....</b>	<b>9</b>
<b>2.2.4. Ventajas del FVH en relación al cultivo tradicional .....</b>	<b>10</b>
<b>2.2.5. Proceso de Producción de Forraje Hidropónico.....</b>	<b>11</b>
<b>2.2.6. Factores que afectan la Producción de FVH .....</b>	<b>13</b>
<b>2.3. Trabajos realizados con FVH .....</b>	<b>15</b>
<b>2.4. EL maíz como cultivo forrajero.....</b>	<b>17</b>
<b>2.4.1. Calidad del maíz.....</b>	<b>17</b>
<b>2.4.2. Valor nutritivo del maíz. ....</b>	<b>19</b>
<b>2.5. Valor Nutritivo del Sorgo .....</b>	<b>19</b>
<b>2.6. Descripción del ácidos húmicos de lombriz.....</b>	<b>23</b>
<b>2.7. Concepto de digestibilidad .....</b>	<b>24</b>
<b>2.7.1. Digestibilidad .....</b>	<b>25</b>
<b>2.7.2. Composición de los alimentos .....</b>	<b>26</b>
<b>6.7.3. Digestibilidad y energía de los alimentos.....</b>	<b>26</b>
<b>2.7.4. Factores que afectan la digestibilidad de los alimentos .....</b>	<b>28</b>
<b>2.7.5. Tasa de degradabilidad ruminal .....</b>	<b>30</b>
<b>2.7.6. Digestibilidad aparente .....</b>	<b>31</b>
<b>2.7.7. Digestibilidad verdadera .....</b>	<b>31</b>
<b>2.7.8. Técnicas de Digestibilidad.....</b>	<b>32</b>

2.8. Trabajos realizados de Degradabilidad ruminal y digestibilidad del forraje verde hidrópico .....	34
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>38</b>
3.1. Localización.....	38
3.2. Características del invernadero.....	38
3.3. Proceso de producción de forraje verde hidropónico de los granos sorgo y maíz. ....	39
3.4. Forrajes Utilizados en la prueba de digestibilidad in vitro .....	40
3.5. Digestibilidad in vitro con el incubador, DAISY <sup>II</sup> .....	40
3.6.-Diseño experimental .....	41
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSION .....</b>	<b>43</b>
<b>V. CONCLUSIONES .....</b>	<b>51</b>
<b>VI. LITERATURA CITADA.....</b>	<b>52</b>

## INDICE DE CUADROS

NO. DE CUADRO	PAG.
<b>Cuadro 1.-</b> Criterios de calidad para fuentes forrajeras.....	19
<b>Cuadro 2.-</b> Composición y valor nutritivo promedio del grano de sorgo.....	20
<b>Cuadro 3.-</b> Ganancia de peso (GP), Consumo de materia seca (CMS) y Energía metabolizable (EM) para distintos granos forrajeros a partir de resultados de feedlots americanos.....	21
<b>Cuadro 4.-</b> Análisis químico de lombrihumus.....	24
<b>Cuadro 5.-</b> Degradabilidad de la materia seca del forraje hidropónico de maíz en diferentes intervalos de tiempo.....	35
<b>Cuadro 6.-</b> Tiempos y tratamientos para la DIVMS.....	40
<b>Cuadro 7.-</b> Resultados de la DIVMS, en cuanto a tiempos y tratamientos.....	43
<b>Cuadro 8.-</b> Digestibilidad de sorgo y maíz producidos en hidroponía con ácidos húmicos y agua en el tiempo 0 h.....	45
<b>Cuadro 8.-</b> Digestibilidad de sorgo y maíz producidos en hidroponía con ácidos húmicos y agua en el tiempo 6 h.....	45
<b>Cuadro 9.-</b> Digestibilidad de sorgo y maíz producidos en hidroponía con ácidos húmicos y agua en el tiempo 12 h.....	46
<b>Cuadro 10.-</b> Digestibilidad de sorgo y maíz producidos en hidroponía con ácidos húmicos y agua en el tiempo 24 h.....	47
<b>Cuadro 11.-</b> Digestibilidad de sorgo y maíz producidos en hidroponía con ácidos húmicos y agua en el tiempo 48 h.....	47
<b>Cuadro 12.-</b> Digestibilidad de sorgo y maíz producidos en hidroponía con ácidos húmicos y agua en el tiempo 72 h.....	48



## ÍNDICE DE FIGURAS

No. DE FIGURA	PÁG.
Figura .1- Producción de forraje hidropónico.....	7
Figura 2.- Invernadero.....	38
Figura 3.- Incubadora Daysi <sup>ll</sup> .....	41

## RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue estimar la Digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) de maíz y sorgo a diferentes tiempos de incubación, bajo condiciones de hidroponía con diferentes soluciones.. Para el análisis de los resultados se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial con tres repeticiones.

Es muy importante conocer la digestibilidad de los forrajes para saber que tanto son aprovechados por los animales. Entre los principales factores que afectan la digestibilidad son: Estructura, composición de los alimentos, y la especie animal que la consuma.

El presente trabajo se llevo realizo en el Laboratorio de Producción Animal de la UAAAN. Se utilizaron 4 tratamientos T1=maíz con ácidos húmicos, T2=sorgo con ácidos húmicos, T3=maíz con agua, T4=sorgo con agua, los cuales fueron evaluados a diferentes tiempos de incubación, tiempo 0, tiempo 6, tiempo 12, tiempo 24, tiempo 48 y tiempo 72 horas con el fin de determinar la DIVMS de acuerdo a los tiempos evaluados.

Los resultados obtenidos en cuanto a los tratamientos, el que presento mayor DIVMS fue el T4 arrojando un 68.37 % seguido por el T1 y T3 que presentaron resultados parecidos, 67.75 y 67.18 % de DIVMS, por otra parte el T2 fue el que presento la menor DIVMS con 51.60 %. En cuanto a los tiempos el que mejor DIVMS obtuvo fue el de 48 horas arrojando 68.37 %, seguidos por el tiempo de 72 con un 67.75 % de DIVMS, el tiempo 12 presento un 45.62 %, en cuanto a los tiempos 0 y 6 fueron los que menor porcentaje de DIVMS reportaron con un 42.30 y 45.62 %, respectivamente.

Estos resultados permiten observar que el ambos materiales tuvieron similar respuesta en cuanto a la digestibilidad, tanto en agua como con la aplicación de ácidos húmicos. En relación a los tiempos de digestibilidad se observó que los tiempos de 48 y 72 h tuvieron los más altos valores. Por lo anterior, la utilización de forraje hidropónico en la alimentación animal es una buena alternativa para las zonas áridas del país.

**Palabras clave:** hidroponía, sorgo, maíz, digestibilidad, ácidos húmicos

## I.-INTRODUCCIÓN

Uno de los problemas fundamentales que impiden el desarrollo de la industria ganadera nacional es la escasez de forraje, esta se acentúa en las zonas áridas y semiáridas de México y el mundo. Estas representan el 52% de la superficie del territorio nacional.

Según López (2012), la sequía es considerada el principal factor ambiental que causa severas fluctuaciones en la población de ganado en el noroeste de México. En temporadas severas de sequía es esencial implementar estrategias de alimentación para el ganado. El forraje verde hidropónico (FVH) es una técnica de producción de alimento para el ganado que utiliza de 30 a 50 veces menos agua para producir los mismos rendimientos que las de los principales especies forrajeras cultivadas en suelo, pero en una superficie 100 veces menor y sin utilización de agroquímicos. El FVH posee el suficiente valor nutricional para considerarlo como un suplemento nutricional ideal para mantener al ganado vivo en temporadas de sequía severa.

El FVH, es una solución a los problemas de alimentación y nutrición del productor ganadero, independientemente de su escala de producción. Es un desarrollo tecnológico que viene a complementar las características productivas naturales de nuestra tierra. Es una tecnología que permite mejorar la competitividad de la producción ganadera ante el inminente avance de la agricultura (López, 2012).

No obstante los sistemas de producción de forraje convencional han venido experimentando serias dificultades marcadas por la situación actual del sector agropecuario, el intenso crecimiento en la tasa de urbanización y el aumento en el valor de las tierras centrales se han encargado de desplazar las explotaciones pecuarias hacia sectores donde se reduce el potencial de producción forrajero (Rodríguez, 2008).

En lo que respecta a la evaluación de los forrajes o alimentos, existen diferentes metodología para determinar el valor nutritivo de los mimos, uno de

ellos es la determinación de la digestibilidad. Existen tres técnicas para la determinación de la digestibilidad, según McDonald, (1999) la digestibilidad puede determinarse directamente en los animales (digestibilidad in vivo), o indirectamente tanto en el laboratorio (in vitro), como el empleo de bolsas de polyester (in situ).

Al estimar la digestibilidad de un alimento por el método convencional in vivo resulta demorado, costoso, limita la cantidad de alimentos a evaluar simultáneamente, exigen grandes cantidades de alimento (Pires *et al.*, 1979), Por estas y otras razones han sido desarrolladas técnicas in vitro con la finalidad de realizar los ensayos en el laboratorio, de los procesos digestivos que ocurren en los rumiantes. Actualmente se ha desarrollado un nuevo método para obtener la digestibilidad in vitro de los alimentos.

Este método conocido como Fermentador ruminal DAISY” de ANKOM Technology Corporation, EUA. Esta técnica permite evaluar un gran número de muestras al mismo tiempo. El sistema DAISY” es eficiente y una alternativa viable para el análisis in vitro (Garman *et al.*, 1997), cuando se requiere de analizar una gran cantidad de muestras y los reactivos resultan costosos, la cantidad de muestra se puede reducir siempre y cuando el volumen de inóculo permanezca constante. (González *et al.*, 1990).

### **1.1. Objetivo**

Determinar la digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) del sorgo y maíz forrajero con diferentes soluciones a diferentes tiempos de incubación.

### **1.2. Hipótesis**

- Existe diferencia en la *DIVMS* entre las dos especies.
- Existe diferencias entre cada uno de los tiempos de incubación de los tratamientos estudiados en cada una de las especies.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Definición, antecedentes e historia de la hidroponía

El término hidropónico se deriva de dos palabras griegas: *Hydro*, que significa agua y *Ponos* que es trabajo y el significado en conjunto es agua que trabaja; teniendo un profundo significado para el desarrollo de la agricultura, en otras palabras, significa que la humedad ya no dependerá exclusivamente de la tierra para su sustento, obteniendo importantes cosechas sin depender del suelo directamente, pudiendo elegir el sitio que le resulte más conveniente (Almansa, 1984).

La hidroponía es parte de los sistemas de producción llamados Cultivos sin Suelo. En estos sistemas el medio de crecimiento y/o soporte de la planta está constituido por sustancias de diverso origen, orgánico o inorgánico, inertes o no inertes es decir con tasa variable de aportes a la nutrición mineral de las plantas. Se puede ir desde sustancias como perlita, vermiculita o lana de roca, materiales que son consideradas propiamente inertes y donde la nutrición de la planta es estrictamente externa a medios orgánicos realizados con mezclas que incluyen turbas o materiales orgánicos como corteza de árboles picada, cáscara de arroz etc. que interfieren en la nutrición mineral de las plantas. (Gilzans, 2007). Se concibe a la hidroponía como una serie de sistemas de producción en donde los nutrientes llegan a la planta a través del agua, son aplicados en forma artificial y el suelo no participa en la nutrición (Gilzans, 2007).

En la Hidroponía las plantas no compiten por el alimento, sino por la luz, de tal manera que una densidad de siembra excesiva obliga a las plantas a un mayor esfuerzo por obtener la luz disponible y tiende a reducir los resultados de las cosechas. De todos modos, la densidad de siembra en los Cultivos Hidropónicos es bastante mayor que la de los cultivos en tierra (Bedoya *et al.*, 2003).

Se tienen estudios que indican que desde hace más de 1,000 años se practicaba la hidroponía empíricamente en China y en la India. Pero no sería

sino hasta mediados del siglo XVII cuando, gracias a las investigaciones del francés A. de Lavoisier, que sentó las bases de la química moderna, se logró demostrar científicamente que las plantas pueden crecer y fructificar en una solución de nutrientes que contenga una mezcla bien determinada de sales (Samperio, 1997)

La palabra Hidroponía fue acuñada por primera vez por W. F. Gericke, profesor de la Universidad de California quien en 1938 realiza los primeros cultivos comerciales sin suelo. Desde aquella época a la fecha se han incrementado variedad de técnicas que han crecido notablemente sobre todo en países tercermundistas, Bedoya *et al.*, (2003).

Sánchez, (1988) menciona que la hidroponía es una alternativa para la problemática agrícola en el aspecto técnico, ya que permite obtener altos rendimientos, mejor calidad, varias cosechas al año de cultivos de alto valor, lo que se propone es utilizar como una alternativa tecnológica que posibilite el producir, de manera económica, en aquellos lugares donde la agricultura normal es difícil o imposible.

Según Sánchez, (1988) la hidroponía es una técnica de producción agrícola muy intensiva, que presenta diversas modalidades, pero en esencia se caracteriza por que el sistema radical se alimenta de agua y nutrientes de una manera controlada, a través de una solución de elementos esenciales (preparadas con fertilizantes comerciales) y teniendo como medio de cultivo un sustrato diferente del suelo agrícola, que proporciona las condiciones físicas, químicas y sanitarias más adecuadas para el desarrollo de las plantas. Ejemplos de sustratos ya probados son grava, tezontle, arena, padecería de ladrillo, agrolita, turba, aserrín, espuma sintética, etc.

En países donde se han establecidos cultivos hidropónicos a escala comercial (Estados Unidos, Canadá, Inglaterra, Holanda, España y México inclusive), se han obtenido utilidades elevadas con especies hortícolas y ornamentales, debido entre otras cosas a los altísimos rendimientos por unidad de superficie (100 a 1000% mayores con respecto al cultivo convencional en suelo) y a la mayor cantidad de productos obtenidos.

Su aplicación a beneficiado a ciertos cultivos, adaptando técnicas nuevas como alternativa para satisfacer la demanda de productos agropecuarios, así como usar diferentes instalaciones, de las cuales para algunos su sistema no siempre es justificable económicamente por los gastos de inversión inicial pero presenta varias opciones adecuadas en casi todos los casos (López, 1988).

### **2.1.1. Ventajas de la hidroponía**

- ❖ Mayor crecimiento en poco tiempo
- ❖ Permite mayor densidad de población
- ❖ Menor consumo de agua y fertilizantes
- ❖ Humedad uniforme
- ❖ Se evita la contaminación del suelo con productos químicos
- ❖ Reutilización de soluciones nutritivas
- ❖ Permite aprovechar suelos o terrenos no aptos a la agricultura tradicional
- ❖ Técnica apropiada para zonas donde hay escasez de agua
- ❖ Mayor calidad del producto
- ❖ La recuperación de lo invertido es rápido

### **2.1.2. Desventajas de la hidroponía**

- ❖ Se necesita conocer y manejar la especie que se cultive en el sistema
- ❖ El desconocimiento del manejo agronómico puede reducir significativamente los rendimientos
- ❖ Falta de experiencia en el manejo de soluciones nutritivas puede afectar la calidad de las plantas
- ❖ La inversión inicial es costosa
- ❖ Requiere de un abastecimiento continuo de agua y nutrientes.

## 2.2. Forraje verde hidropónico (FVH)

Se conoce como FVH, al producto obtenido de la germinación de semillas de cereales o leguminosas en una cámara cerrada controlada ambientalmente (figura .2), Valdivia, 1996).

El FVH emplea menor cantidad de agua para su producción; presenta menos problemas de plagas y enfermedades; produce forraje diariamente durante todo el año y se puede programar su producción con base en la demanda; no requiere de grandes superficies de tierra, ni períodos largos de producción, tampoco alguna forma de conservación y almacenamiento; está protegido de las lluvias, de las bajas temperaturas y de la exposición directa de los rayos del sol; es consumible en su totalidad, con raíces, tallos, hojas y restos de semillas, también indica que 75 m<sup>2</sup> de producción de FVH tienen el equivalente de 3 ha de terreno agrícola para la producción de alfalfa. (Tarrillo, sf), es además una opción en lugares con poca disponibilidad de agua, tierras no aptas para el cultivo o en climas extremos (Rodríguez *et al.*, 2003).

El FVH se ofrece tierno a los animales, es un germinado muy rico en vitaminas, especialmente la A y E, tiene grandes cantidades de carotenoides, cuyo contenido puede variar de 250 a 350 mg por kg de materia seca (MS), posee una elevada cantidad de hierro, calcio y fósforo, alta digestibilidad, puesto que la presencia de lignina y celulosa es escasa, además es muy su aspecto, sabor, color y textura le confieren una elevada palatabilidad a la vez que aumenta la asimilación de otros alimentos apetecible (Valdivia, 1996).

El ciclo de producción del FVH se ubica entre seis y nueve días, dependiendo del tipo de semilla que se emplee, la conversión de semilla a pasto es de un kg de semilla por aproximadamente siete kg de forraje y su valor nutritivo es tal que un kg de FVH reemplaza entre (3.1 y 3.4) kg de alfalfa verde (Valdivia, 1996). Además, para alimentar diariamente a una vaca lechera en producción son suficientes de 16 a 18 Kg de FVH en base fresca (Lomelí, 2000).



La técnica del FVH emplea menos de dos litros de agua para producir un kg de forraje, lo que equivale a 8 litros de agua para promover un kg de materia seca de FVH (considerando un 25% de materia seca del FVH), cantidad notablemente menor a los (635, 521, 505, 372 y 271) litros de agua/kg. De materia seca de la avena, cebada, trigo, maíz y sorgo, respectivamente, sembrados a campo abierto (Rodríguez *et al.*, 2003).

El FVH puede emplearse en la alimentación de bovinos, caprinos, ovinos, cerdos, gallinas, caballos, pavos y avestruces y en todos ellos puede significar buenas ganancias de peso, el inconveniente es el bajo contenido de materia seca, lo que puede resolverse agregando diversos rastrojos para complementar la ración (Rodríguez *et al.*, 2003).

Las mejoras más notables son en la alimentación, la reproducción y la sanidad animal, pues cuando a los animales se les provee de FVH aumentan la producción de leche, se eleva el contenido de grasa y sólidos totales, se presenta una rápida ganancia de peso, mejor conversión alimenticia, reducción de días vaca-vacía, menor incidencia de mastitis y menor retención de placenta, entre otras (Tarrillo, s/f).

Según Romerom (2009), la evolución del forraje verde hidropónico se remonta al siglo XVII cuando el famoso científico Irlandés Boyle, (1627 – 1691) realizó los primeros experimentos de cultivos en agua. Pocos años después, el inglés John Woodward hizo crecer menta en agua, su desarrollo se alcanzó durante la segunda Guerra Mundial, especialmente por la resistencia de los ejércitos occidentales a consumir vegetales cultivados en suelos abonados con excrementos humanos.



Figura .1- producción de forraje hidropónico.

### **2.2.1. Características del Forraje Verde Hidropónico**

El Forraje Verde Hidropónico es el resultado del proceso de germinación de semillas como cebada, trigo, avena, maíz, sorgo que han crecido por un periodo de 7 días logrando alcanzar una altura de 20 a 25 cm. Esto en función de condiciones ambientales controladas tales como: luz, temperatura y humedad. Este método se practica sin suelo, lo que permite producir, a partir de la germinación de las semillas, una masa forrajera de alto valor nutritivo, consumible al 100% y con una buena digestibilidad (Romerom, 2009).

### **2.2.2. Ventajas del FVH**

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

Aumento de producción en aves domésticas (pollos, gallinas, patos, gansos, etc.) a partir del uso de FVH lográndose sustituir entre un 30 a 40 % de la dosis de ración, ganancia de peso en cerdos con una alimentación en base a FVH, (Sánchez, 1997).

Aumento de producción en vacas lecheras a partir del uso de FVH obtenido de semillas de avena variedad "Nehuén" y cebada cervecera variedad "Triumph" existiendo también en este caso antecedentes en el uso del maíz, sorgo, trigo, arroz y tritricale, (Sepúlveda, 1994).

Sustitución en conejos, de hasta el 75% del concentrado por FVH de cebada sin afectar la eficiencia en la ganancia de peso alcanzándose el peso, (2.1 a 2.3 kg de peso vivo) a los 72 días. Estos resultados han tenido un alto impacto técnico, económico y social en Uruguay (Rincón de la Bolsa) posibilitando la generación de ingresos, la alimentación familiar y el mantenimiento de la producción a mini productores cunícolas afectados por los altos costos de los concentrados (Sánchez, 1997)

La eficiencia del sistema de producción de FVH es muy alta. Estudios realizados en México (Lomelli, 2000), con control del volumen de agua a aplicar, luz, nutrientes y CO<sub>2</sub> (anhídrido carbónico), demostraron que a partir de 22 kg de semillas de trigo es posible obtener en un área de 11.6 m<sup>2</sup> (1.89 kg semilla/m.c.) una óptima producción de 112 kg de FVH por día (9.65 kg FVH/m<sup>2</sup>/día). En todos los resultados mencionados anteriormente el sistema de producción de FVH ha posibilitado obtener mayor calidad de carne; aumento del peso vivo a la fecha; aumento en la proporción de pelo de primera en el vellón de conejos; mayores volúmenes de leche; aumento de la fertilidad; disminución de los costos de producción por sustitución parcial de la ración por FVH (Hidalgo, 1985).

### **2.2.3. Costo del kg de FVH**

La inversión para producir un kg de FVH fue la siguiente: costo de la semilla de cebada \$2,15 /kg, el agua empleada fueron 6.92 L, por charola a 0.17 centavos, de cloro se emplearon 250 ml a 0.95 centavos, el jornal se determinó a \$5/charola por día; el costo de la instalación e inversión inicial fue de \$186 685,25, valor que amortizado a siete años arroja una cantidad de \$26 669,40/año lo que dividido entre los 183 960 kg de FVH por año, da un valor de 0.14 centavos/kg de FVH. Por lo anterior, el costo de producción de un kg de FVH es de \$1.09/kg de FVH, valor muy superior a \$0.41/kg reportado por Valdivia (1996), esa diferencia se debe entre otros aspectos al incremento que han tenido, a través del tiempo, los insumos el material y el equipo a lo que se suma el hecho de que dicho autor no incluye en el costo las instalaciones y el equipo.

### **2.2.4. Desventajas de la producción de FVH**

#### **Desinformación de la tecnología**

Proyectos de FVH preconcebidos como “llave en mano” son vendidos a productores sin conocer exactamente las exigencias del sistema, la especie forrajera y sus variedades, su comportamiento productivo, plagas, enfermedades, requerimientos de nutrientes y de agua, óptimas condiciones de

luz, temperatura, humedad ambiente, y niveles óptimos de concentración de CO<sub>2</sub>.

El FVH es una actividad continua y exigente en cuidados, lo que implica un compromiso concreto del productor. La falta de conocimientos e información simple y directa, se transforma en desventaja, al igual en el caso de la tecnología de hidroponía familiar (Sánchez, 1996).

### **Costos de instalación**

Una desventaja que presenta este sistema sería el elevado costo de implementación. Sin embargo, se ha demostrado que utilizando estructuras de invernaderos hortícolas comunes, se logran excelentes resultados Sánchez, (1996).

#### **2.2.4. Ventajas del FVH en relación al cultivo tradicional**

Según Gilzans, (2007), los cultivos desarrollados mediante el sistema hidropónico tienen una serie de ventajas sobre los tradicionales, entre las cuales se pueden señalar las siguientes:

- ❖ Se puede cultivar en interiores, balcones, terrazas, patios, etc.
- ❖ Se requiere una superficie mucho menor para obtener igual cantidad de producción. Realizando instalaciones superpuestas, puede multiplicarse aún más el espacio.
- ❖ Se acorta el período de cultivo. El desarrollo de la planta es más rápido.
- ❖ Las plantas desarrollan poco sus raíces pues están directamente en contacto con los nutrientes, pero logran un crecimiento extraordinario de tallos, hojas y frutos.
- ❖ Requiere mucho menor mano de obra, ya que no es necesaria la remoción del suelo, efectuar trasplantes, limpiar los cultivos de malezas, aplicar fertilizantes, etc. reduciéndose además las tareas de recolección de los frutos, entre otras ventajas.
- ❖ La presentación de los productos obtenidos es superior a la de los cultivados en tierra.
- ❖ Mantiene los cultivos en un medio fitosanitario extraordinariamente bueno. Facilita el control de las plagas en los cultivos.

- ❖ Disminuye los gastos para las operaciones de cultivo.
- ❖ El sistema de cultivo hidropónico, permite la incorporación de personal, que por sus características (avanzada edad, discapacitados, etc.) no podrían realizar tareas en los cultivos tradicionales
- ❖ Resuelve el problema del cansancio del suelo

## **2.2.5. Proceso de Producción de Forraje Hidropónico**

### **Selección de semilla**

Se debe utilizar semilla de cereales sin malezas y libres de plagas y enfermedades, evitar los transgénicos. No deben de provenir de lotes tratados con insecticidas o fungicidas. La humedad más deseable es de un 12% y debe de haber tenido un reposo para que se cumpla con los requisitos de madurez fisiológico. La especie que se utilizará es el sorgo forrajero (cultivos hidropónicos).

En términos ideales, se debería usar una semilla de buena calidad, de origen conocido, adaptadas a las condiciones locales, disponibles y de probada germinación y rendimiento. Sin embargo, por una razón y eficiencia y costos, el productor puede igualmente producir FVH con simiente de menor calidad pero mantenimiento un porcentaje de germinación adecuado. Si los costos son adecuados, se deben utilizar las semillas de los cultivos de grano que se producen a nivel local (Sánchez, 2001).

### **Lavado y desinsectación de la semilla**

Limpiar el grano separando basura y granos quebrados. Lavar la semilla y limpiar de nuevo retirando los granos que floten. No se debe utilizar semillas tratadas con fungicidas (Valdivia, 1997).

Las semillas deben de lavarse y desinfectarse. Existen varias formas de eliminar agentes patógenos en el proceso mediante varias sustancias como; hipoclorito de sodio, hidróxido de sodio (sosa común) e hidróxido de calcio a las que son susceptibles hongos y bacterias. El lavado tiene por objeto eliminar

hongos y bacterias contaminantes, liberarlas e residuos y dejarlas bien limpias. Independientemente de la semilla y la sustancia que se use para desinfectar, pasados de 10 a 15 minutos se debe retirar todo el material que flote: basuras, lanas, cualquier tipo de impurezas, esto es suficiente para retirarlas ya que ocasionan problemas de podredumbre. Finalizando el lavado procedemos a un enjuague riguroso de las semillas con agua (Rodríguez, 2003).

### **Absorción de agua (imbibición)**

Durante la fase de absorción de agua se inicia la actividad vital de la semilla, es decir, se reanuda el metabolismo, para lo cual se necesitan condiciones adecuadas de humedad, temperatura y oxígeno. Una vez reunidos estos factores la semilla va aumentando de volumen por la absorción del agua, el embrión se hincha, se reblandecen las cubiertas protectoras y las reservas alimenticias principian una serie de reacciones químicas y biológicas que hacen que el embrión se desarrolle (Caballo, 2000).

Es conveniente poner la semilla en un recipiente de mayor tamaño, tomando en cuenta que aumentará un 15 a un 20% de volumen. Se debe cuidar que la capa superior no se reseque, es decir dejar una cantidad de agua suficiente en la capa superior (Rodríguez, 2003)

El tiempo de remojo es variable; cuando la temperatura es alta (verano), el número de horas puede variar de 18 a 20, mientras que en invierno dura como máximo 24 horas. Lo importante en el remojo es la imbibición del grano, para comprobar que el proceso de imbibición se ha dado, el agua después de este debe de ser de color amarillo lechoso (Valdivia, 1997).

### **Recipientes**

Los recipientes ideales son charolas de material de fibra de vidrio de aproximadamente 90 x 30cm., o pueden utilizarse bandejas de otro tipo de material disponible (Valdivia, 1996).

## **Germinación**

Se llama germinación al proceso por el que se reanuda el crecimiento embrionario después de la fase de descanso. Este fenómeno no se desencadena hasta que la semilla ha sido transportada a un medio favorable por alguno de los agentes de dispersión.

Las condiciones determinantes del medio son: aporte suficiente de agua y oxígeno y temperatura apropiada. Durante la germinación, el agua se difunde a través de las envolturas de la semilla y llega hasta el embrión, que durante la fase de descanso se ha secado casi por completo. El agua hace que la semilla se hinche, a veces hasta el extremo de rasgar la envoltura externa. El oxígeno absorbido proporciona a la semilla la energía necesaria para iniciar el crecimiento (Caballo, 2000).

## **Riegos**

A partir del momento de la siembra se debe regar con la finalidad de que la charola no pierda humedad, los riegos son variables dependiendo de la etapa de crecimiento del forraje y las condiciones de temperatura, se debe evitar encharcamiento o inundaciones de lo contrario se producirá pudrición en las raíces (García, 2004).

## **Cosecha**

Esta es la culminación del proceso. Una vez que las plántulas han alcanzado una altura de 14 a 18 centímetros, se habrá formado una alfombra de pasto verde con un colchón radicular blanco y consistente. Esta alfombra se desprende y está listo para dárselo al animal, existe una estrecha relación entre el tamaño y el porcentaje de proteína que contiene este alimento dándose a esta altura el tamaño óptimo y mayor contenido de proteína (Rodríguez, 2003).

### **2.2.6. Factores que afectan la Producción de FVH**

#### **Humedad**

Guerrero (1992), menciona que la temperatura ideal para la nacencia del maíz se encuentra próxima a los 15 °C, mientras que en la fase de crecimiento

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

### **Calidad de la semilla**

El éxito del FVH comienza con la elección de una buena semilla, tanto en calidad genética como fisiológica. Si bien todo depende del precio y de la disponibilidad, la calidad no debe ser descuidada. La semilla debe presentar como mínimo un porcentaje de germinación no inferior al 75% para evitar pérdidas en los rendimientos de FVH, FAO, (2002). La semilla a utilizar debe estar limpia y tratada con una solución de hipoclorito de sodio al 1% a través de un baño de inmersión, el cual debe durar como máximo 3 minutos; y que el lote de semillas no debería contener semillas partidas ni semillas de otros cultivares comerciales (FAO, 2002).

### **Iluminación**

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

### **Temperatura**

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



## **Calidad del agua de riego**

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

La calidad de agua no puede ser descuidada y existen casos donde desconocer su importancia fue causa de fracasos y pérdidas de tiempo. Un ejemplo de esto lo constituye una ex ponencia llevada a cabo en el Departamento de Rocha - Uruguay - donde la utilización de una fuente de agua proveniente de una cañada del lugar, provocó una muy severa expansión de enfermedades fungosas, al igual que una elevada presencia de colibacilos fecales en el cultivo, (Ramos 1999).

### **El pH del agua de riego**

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

### **2.3. Trabajos realizados con FVH**

En los resultados reportados por Pérez (1987), destacan incrementos mayores de 1.4Kg. De peso diario en ganado vacuno de carne, con 7-8Kg. de FVH y 7Kg. de concentrado. 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 28L leche / día, y en vacas de baja producción 14L leche / día, el incremento ha sido del 53%.

Además, se debe recordar que el mayor problema que enfrentan las empresas lácteas, cuando incrementan la producción lechera, es la disminución de la fertilidad del animal. 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 diariamente, de 4.4%, (Arano, 1998).

Aumento significativo de peso vivo en corderos precozmente destetados al suministrarles dosis crecientes de FVH hasta un máximo comprobado de 300 Gramos de materia seca al día Morales, (1987), lográndose sustituir entre un 30 a 40 % de la dosis de ración paleteada pero asociado al riesgo, en casos de exceso en el uso de FVH, de un incremento de excreta de heces líquidas y fermentaciones aeróbicas del estiércol, malos olores de los locales, aumento de insectos voladores no deseados y aumento de enfermedades respiratorias especialmente en verano. Aumento de producción en aves domésticas (pollos, gallinas, patos, gansos, etc.) a partir del uso del FVH, (Falen *et al.*, 1969).

Sustitución en conejos, de hasta el 75% del concentrado por FVH de cebada sin afectar la eficiencia en la ganancia de peso alcanzándose el peso al sacrificio (2.1 a 2.3 kg de peso vivo) a los 72 días. Estos resultados han tenido un alto impacto técnico, económico y social en Uruguay (Rincón de la Bolsa) posibilitando la generación de ingresos, la alimentación familiar y el mantenimiento de la producción a mini productores cunícolas afectados por los altos costos de los concentrados (Sánchez, 1996).

Aumento de producción en vacas lecheras a partir del uso de FVH obtenido de semillas de avena variedad "Nehuén" y cebada cervecera variedad "Triumph" existiendo también en este caso antecedentes en el uso del maíz, sorgo, trigo, arroz y tritricale (Sepúlveda, 1994)

## **2.4. EL maíz como cultivo forrajero**

El nivel nutricional del maíz usado como forraje tiene una función proteica y su potencial de digestibilidad es tal que varía con el contenido de grano y composición de elote.

De la Cruz, (2002) menciona que el contenido de grano en el maíz forrajero es de gran importancia siendo esta una de las alternativas con que se cuenta para solucionar la escasez de forraje también algunas de las ventajas de la utilización de este forraje son: alto potencial de aumentar su rendimiento de forraje.

Núñez *et al.*, (2003) señala que el maíz para forraje debe tener una alta productividad bajo contenido de proteínas minerales y un elevado valor energético.

La utilización de forraje de maíz tiene dos variantes: la primera es el ensilado en verde la cual se ha venido utilizando con mayor frecuencia debido a la comercialización de híbridos y variedades de maíz en la zona.

En cuanto a la segunda variante este se utiliza como forraje molido en donde se muele toda la planta una vez que adquiere toda su madurez fisiológica (Ramírez 1997)

### **2.4.1. Calidad del maíz**

Desde que se logró obtener maíces híbridos forrajeros, han quedado un tanto relegados los maíces forrajeros tradicionales, éstos se cultivan para el consumo de forraje verde, por ser muy apetecibles y digestibles por el ganado bovino y equino. De existir una incapacidad de consumo en este estado, se ensila por la dificultad de henificarlo, dado las características que posee, como el grosor del tallo y la cantidad de agua que éste posee siendo más apetecible y digestible en estado fresco y ensilado que henificado.

Peña *et al.* (2002) mencionan que por lo general, los híbridos forrajeros, son seleccionados arbitrariamente por su capacidad productora de materia seca, y poco interés se ha puesto para mejorar su calidad nutritiva. Los datos

indican que la variabilidad genética afecta la digestibilidad del rastrojo, grano, tallo y hojas en los híbridos en uso, así como el contenido de FDN de hojas y tallos. Adicionalmente se ha determinado que la variabilidad genética influye en la digestibilidad ya que ésta es mayor en la parte vegetativa que en el grano, de tal manera que la selección por calidad de follaje podría favorecer avances más notables.

Muchas veces se asume que el término calidad se refiere sólo a la concentración de ciertos nutrientes como son proteína cruda y fibra en un forraje, o bien a la proporción de grano en la planta. Aun cuando esto es importante, los valores que dan más información acerca del verdadero valor nutritivo de un forraje, y por tanto su calidad, son su digestibilidad y el efecto que provoca en el animal que lo consume, lo cual se mide en producción de leche o en crecimiento (ganancia de peso y altura) Herrera, (1999). Existen otros parámetros que indican valores asociados a la calidad de los forrajes y éstos están relacionados con el porcentaje de paredes celulares y el contenido celular de las plantas conocidos como fibra en detergente neutro y fibra en detergente ácido (FDN y FDA), los cuales están asociados al consumo voluntario de los forrajes por los rumiantes y con la digestibilidad y por lo consiguiente con la producción. Es decir a mayor porcentaje de FDN menor es el consumo de materia seca y a mayor contenido de FDA menor digestibilidad (Herrera, 1999) El mismo autor señala algunos criterios a considerar en los maíces forrajeros (cuadro 1).

Cuadro 1 Criterios de calidad para fuentes forrajeras, Herrera (1999).

Concepto	Baja Calidad	Alta calidad
Contenido de FDN	Más de 60%	De 40 – 52%
Contenido de FDA	Más de 35%	De 25 – 32%
Contenido de ENI M	henos de 1.4 Mcal/kg	Más de 1.45 Mcal/kg
Digestibilidad de la MS	Menos de 60%	Más de 65%

Por otro lado Lazcano (1979) considera que las especies forrajeras sufren cambios sensibles y graduales en su composición química, digestibilidad y valor nutritivo. El proceso de lignificación de la fibra se acentúa con la madurez de la planta favorecida por el déficit hídrico.

#### **2.4.2. Valor nutritivo del maíz.**

En cuanto a composición nutricional del ensilaje de maíz, se reportan valores de proteína cruda desde 8 hasta 12% en base a materia seca (MS) y de energía digestible de 2.2 a 2.8 Mcal ED/kg de MS (Elizondo, 2004). Por otra parte, Capriles *et al.* (1970) reportan contenidos de proteína de 9,28%, de fibra cruda de 32.8%, de extracto etéreo de 0.46%. El promedio de PC obtenido es superior (9.7%) a otra investigación reportada (Jiménez *et al.* 2005) A cuatro meses de crecimiento, el contenido de proteína fue de 9.2% y la energía digestible disminuyó a 2.3 Mcal/kg de materia seca. Un mes antes la calidad fue excelente (12% de proteína cruda y 2.8 Mcal/kg de energía digestible el rendimiento fue bajo (45%) y la humedad cercana al 90% (Wilkerson *et al.*, 1997).

#### **2.5. Valor Nutritivo del Sorgo**

El grano de sorgo resulta adecuado para cubrir los requerimientos energéticos de animales productores de carne y leche. Si tratamos mecánicamente, molido, partido, aplastado etc. se destruye la membrana del endospermo a fin de aumentar la accesibilidad microbiana al almidón (Cuadro 2). Se presenta el valor nutritivo promedio del grano sorgo. El trigo suele presentar los más altos contenidos de almidón (77 %) seguido de cerca por el maíz y el sorgo (72 %) para luego aparecer la cebada y la avena (57-58 %).

Estos datos indican que el sorgo resulta pobre en proteína 7 – 11 % y rico en energía 3.0 a 3.2 Mcal debido a su alto contenido de almidón 70-74 %. Es un almidón poco soluble de mediana Degradabilidad ruminal y una moderada velocidad de digestión. Estas propiedades nutricionales le otorgan un menor riesgo de causar interacciones digestivas negativas o cuadros de

acidosis ruminales clínicas en dietas de alto grano (feedlot o suplementación por escaso pasto o estratégica).

Cuadro 2. Composición y valor nutritivo promedio del grano de sorgo (Vallatis/f)

MS %.	86-90
MO %	98.3
Digestibilidad %	86-83
EM Mcal/kg MS	3.2-3.0
Proteína %	11- 7
Almidón % MS	74-70
Almidón soluble % MS	13.2
Almidón degradable en rumen %MS	52.5
Almidón bypass % MS	21.5
Velocidad de digestión %/hora	4.4
Pared celular % MS	10- 11
Lignina % MS	4.0- 3.0
Lípidos % MS	3.7
Minerales % MS	1.7
Calcio % MS	0.03
Fósforo %MS	0.32

Puede observarse que no existen diferencias significativas en cuanto a GP generada por la utilización de sorgo respecto a otros granos forrajeros. Aumenta el CMS con sorgo y disminuye con trigo El maíz y el sorgo tienen

menos digestibilidad cuando no son procesados por una asociación entre almidón y proteína insoluble. Recordemos que en estos casos el forraje representó solo un 6 % de la dieta pues son feedlots (Vallati s/f).

Cuadro 3. Ganancia de peso (GP), consumo de materia seca (CMS) y energía metabolizable (EM) para distintos granos forrajeros a partir de resultados de feedlots americanos. (Vallati s/f).

Grano	Cebada	Maíz	Sorgo	Avena	Trigo
GP kg	1.42	1.43	1.39	1.50	1.38
CMS kg/d	8.77	8.93	9.43	9.15	8.65
Conversión	6.24	6.32	6.88	6.12	6.34
EM estimada	3.55	3.40	3.22	3.46	3.46
EM NRC ('96)	3.29	3.25	2.96	2.78	3.18
Dif. %	+7.9	+4.6	+8.7	+24.5	+8.8

El grano de sorgo puede reemplazar exitosamente a otros granos forrajeros en esquemas de suplementación. Debido a la dureza de su pericarpio resulta un grano mucho más dependiente del procesado en comparación al maíz o cebada. Adecuadas respuestas productivas serán entonces dependientes del tratamiento del grano previo a suplementación y del contexto productivo en el cual se utilice la práctica (pastoreo o feedlot)

El sorgo es un cultivo tolerante a la sequía y puede crecer bajo una amplia gama de condiciones ambientales que maíz. Sin embargo, cuando se utiliza como alimento en la dieta de rumiantes, sorgo suele ser menor que el maíz en energía y digestibilidad de los nutrientes, en parte debido al contenido de taninos de algunas variedades de sorgo. El descubrimiento de cultivares de sorgo con alta digestibilidad proteica in vitro ( *Oria et al., 1995* ), que puede ser comparable o superior a la de otros granos de cereales, puede proporcionar una alternativa viable o complemento de maíz como fuente de energía para cerdos y las dietas de aves de corral .Además, la calidad nutricional de los

cultivares mutantes altamente digeribles de sorgo no puede verse afectada negativamente por factores de cocción o ambientales ( Oria *et al.*, 2000 ).

La proporción de grasa cruda en sorgo es de aproximadamente 1% menor que en el maíz, Además, el sorgo tiene menor digestibilidad del almidón que al del maíz debido a la naturaleza de la endospermo periférico de sorgo, que puede proporcionar resistencia física y enzimática para la digestión del almidón, Weurding *et al.*,(2001) estimó la digestibilidad sorgo almidón potencial en pollos de engorde a ser de aproximadamente 1,5% menor que el maíz, resultando en una menor energía digestible de los granos de sorgo con respecto al maíz. Este hecho podría explicar la menor ME y digestibilidad de la energía para pollos de engorde alimentados con las dietas a base de sorgo.

El valor alimenticio del grano de sorgo para rumiantes es intermedio en relación a otros cereales tales como maíz, trigo, cebada, sin embargo presenta ventajas por su bajo costo y desde el punto de vista agronómico es un cultivo resistente a condiciones adversas de tipo de suelo y estrés hídrico.

La digestión en rumen e intestino se modifica de acuerdo al método de conservación empleado Hill *et al.*, (1991). La alteración de las características físicas y químicas del grano de sorgo, ya sea por la fermentación o por efecto directo de la urea hidrolizada, y la cosecha antes de completar la madurez, permitirían una mayor Degradabilidad ruminal del almidón del grano (Hill *et al.*, 1991), que en el caso del sorgo constituye el 73 % del peso seco (Todorov, 1988).

Una de las características particulares del grano de sorgo está dada en la capacidad que tienen algunos cultivares de desarrollar cantidades relativamente grandes de taninos condensados, que son polímeros de unidades flavonoides (Zimmer, 1996) y se constituyen, junto con otros compuestos del grano, en factores que deprimen la palatabilidad y digestibilidad (Todorov, 1988), así como el contenido de energía metabolizable.



## 2.6. Descripción de los ácidos húmicos de lombriz

Es una mezcla de color café oscuro, con sustancias amorfas coloidales que son estables a la descomposición microbiana. El lombríhumus o abono orgánico posee una rica flora microbiana (100%), y cada gramo contiene aproximadamente dos millones de colonias de bacterias vivas y activas. El humus de lombriz proveniente de materia orgánica tiene duración ilimitada; además, al suministrarse en dosis excesiva, no quema ninguna planta. Influye en forma efectiva en la germinación de las semillas y en el desarrollo de las plantas pequeñas. El Lombricomposta aumenta notablemente el porte de plantas, árboles y arbustos en comparación con otros ejemplares de la misma edad. En plantas germinadas en sustancias con humus, después del trasplante se previenen enfermedades y se evita el Shock por heridas o cambios bruscos de temperatura y humedad. El humus puede usarse sin inconvenientes en estado puro y se encuentra libre de nematodos. El lombríhumus es un abono rico en hormonas, sustancias producidas por el metabolismo secundario de las bacterias, las cuales estimulan los procesos biológicos de la planta.

Estos agentes reguladores de crecimiento son:

La auxina: provoca el alargamiento de las células de los brotes, incrementa la floración, la cantidad y disminución de los frutos.

La giberelina: favorece el crecimiento de las flores, la germinación de las semillas y aumenta la dimensión de algunos frutos.

La citoquinina: retarda el envejecimiento de los tejidos vegetales, facilita la formación de los tubérculos y la acumulación de almidón en ellos.

El lombríhumus está compuesto principalmente por carbono, oxígeno, nitrógeno e hidrógeno y, en menor proporción, por elementos minerales que varían en cantidad, según las características que lo originaron. Cumple un papel importante, al corregir y mejorar las condiciones químicas, físicas y biológicas de los suelos, en el influye de la siguiente manera:

- Incrementa la disponibilidad de nitrógeno, fósforo y azufre.
- Incrementa la eficiencia de la fertilización, en especial nitrógeno.
- Estabiliza la reacción del suelo, debido a su poder de tampón.
- Por los altos contenidos de ácidos húmicos y fúlvicos, mejora las características químicas del suelo.

Cuadro No.4 Análisis químico de lombrihumus.

Materia Orgánica	65.0% a 70.0%
Humedad	40.0% a 45%
Nitrógeno	1.5% a 2.0%
Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	2.0% a 2.5%
Potasio (K <sub>2</sub> O)	1.0% a 1.5%
Relación N/C	10.0% a 11.0%
Ácidos húmicos	3.4% a 4.0%
Flora Bacteriana	40 x 10 <sup>6</sup> colonias por gramo

Fuente: Discousky, (s/f)

## 2.7. Concepto de digestibilidad

Puede definirse, con cierto grado de exactitud, como la cantidad de alimento que no se excreta en las heces y que, por tanto, se considera absorbida por el animal (McDonald *et al.*, 1999)

McDonald (1999), menciona que digestibilidad de los alimentos puede definirse como la cantidad que no se excreta en las heces, y que por lo tanto, se considera absorbida por el animal.

Church *et al.*, (2002) la define como la preparación de los alimentos para que sean absorbidos en el aparato digestivo.

Flores (1989), señala que de un alimento cualquiera, una parte es digestible y aprovechable y la otra es eliminada por las heces, es decir, indigestible, de aquí concluye que todos los alimentos tienen diferente

digestibilidad. Es la propiedad de un alimento para ser digerido y absorbido por el organismo. Cuando el animal consume un alimento, una parte de éste la asimila y la otra la elimina (Ríos *et al.*, 2004).

### **2.7.1. Digestibilidad**

No todas las especies forrajeras ofrecen un forraje igualmente digestible. Su grado de digestibilidad depende de la especie, del estado de desarrollo de la planta en el momento de ser cortada, de si es consumido en verde, henificado, deshidratado o ensilado. El poder digestible tampoco es igual entre los rumiantes y no rumiantes.

Ingerido el forraje por el animal en el proceso digestivo y antes de ser asimilado, sufre ciertas modificaciones y transformaciones en las cuales juegan un importante papel un cierto número de agentes químicos y biológicos que lo solubilizan; y de la sustancia así obtenida el organismo del animal únicamente aprovecha una parte más o menos suficiente para cubrir sus necesidades y poder mantener así la vitalidad del animal, y fomentar su crecimiento y desarrollo.

La digestibilidad de los forrajes y pajas por parte del animal depende de su contenido de fibra bruta, que aumenta paralelamente al desarrollo de la planta por contener los tallos de las especies gramíneas de prado, y ciertas leguminosas como la alfalfa en particular, una mayor impregnación de lignina y cutina, haciéndolos más digestibles.

La digestibilidad de los forrajes bastos o mal henificados es más fácil para los rumiantes que para los no rumiantes. Cuanto más digestible es un forraje, menos necesidad tendrá el animal de completar su ración a base de concentrados, y sus requerimientos alimenticios.

La digestibilidad es una forma de medir el aprovechamiento de un alimento, es decir, la facilidad con que es convertido en el aparato digestivo en sustancias útiles para la nutrición. Comprende dos procesos, la digestión que corresponde a la hidrólisis de las moléculas complejas de los alimentos, y la absorción de pequeñas moléculas (aminoácidos, ácidos grasos) en el intestino

Lotero, (1972). La digestibilidad constituye un indicador de la calidad de la materia prima que a veces varía notablemente, de una especie a otra.

### **2.7.2. Composición de los alimentos**

La digestibilidad de los alimentos guarda estrecha relación con la composición química, de forma que un alimento como la cebada, cuya composición varía poco de unas partidas a otras, presenta ligeras variaciones en la digestibilidad.

La fracción de fibra de los alimentos es lo que más afecta su digestibilidad, siendo importantes tanto la cantidad como la composición química de la fibra.

Las gramíneas tropicales suelen ser menos digestibles que las gramíneas de las zonas templadas, ya que sus hojas contienen más cantidad de haces vasculares y, por tanto, más lignina, y porque presenta densas masas de células que son resistentes a la invasión por microorganismos.

La digestibilidad de los alimentos puede rebajarse por la deficiencia o excesos de nutrientes u otros componentes. Dichos efectos son más frecuentes en los rumiantes, (McDonald, 1999).

### **6.7.3. Digestibilidad y energía de los alimentos**

La composición química de un alimento es solamente indicativa de su contenido de nutrientes, mas no de su disponibilidad para el animal, por lo que es necesario contar con los datos de digestibilidad. Esta se define como el porcentaje de un nutrimento dado que se digiere (desaparece) en su paso por el tubo gastrointestinal (Shimada, 2010)

Según Maresca *et al.*, (2003), el grano de maíz entero es prácticamente indigestible en rumen, y en el intestino, por lo tanto, si se suministra entero la única manera de exponer el almidón al ataque microbiano y a las enzimas digestivas es a través del procesamiento por la masticación que el animal realice durante la ingestión y la rumia. Si bien el grano de maíz entero puede

ser suficientemente dañado durante la masticación, el grado de ruptura que sufre el grano durante dicha masticación, dependería de la edad de los animales. Los animales jóvenes muestran una mayor digestibilidad del almidón y menor cantidad de granos enteros en las heces con respecto a los adultos, indicando que la masticación es más eficiente.

Según Shimada, (2010) la digestibilidad de los granos de cereales y otras fuentes de azúcares o almidones es grande para todas las especies de animales de la granja; posiblemente los granos menos digestibles son la avena y cebada, por su gran proporción fibrosa. Además menciona que los alimentos que más varían en la digestibilidad son los forrajes, también menciona que el principal causante de dicha variabilidad es el estado de madurez, a medida que aumenta la madurez de la planta, disminuye su contenido de proteína y de azúcares, y se eleva el de fibra (principalmente celulosa y lignina), lo que lleva consigo un decremento gradual en la digestibilidad.

Lotero, (1972) menciona que la digestibilidad de la fibra cruda en los rumiantes es relativamente alta debido a que el principal componente es la celulosa. Los microorganismos del rumen pueden degradarla para satisfacer sus propias necesidades energéticas, produciendo en este proceso ácidos grasos volátiles que son absorbidos en el rumen y proporcionan energía al huésped. La baja digestibilidad de la fibra varía también dentro de la misma especie, debido a un momento de la lignificación con la maduración de la planta.

La digestibilidad de los alimentos puede aumentar mediante su proceso como son el molido, el rolado y a formación de pastillas y hojuelas, sin embargo esto incrementa también la velocidad a la que pasa el alimento por el tubo gastro intestinal, por lo que el efecto neto es una disminución ligera de la digestión (Shimada, 2010).

Es común que los cerdos y las aves digieran más eficiente a aquellos alimentos con gran contenido de proteína y baja cantidad de fibra, mientras que los rumiantes no son notorios pero su capacidad de aprovechamiento de los alimentos fibrosos con bajo contenido proteico (Shimada, 2010).

La determinación de la digestibilidad en las aves es más complicada debido a que las heces y la orina se excretan por el mismo conducto, cloaca McDonald, (1999).

#### **2.7.4. Factores que afectan la digestibilidad de los alimentos**

Según Bauxade, (1994) la digestibilidad puede agruparse en dos grandes grupos. El primero de ellos está representado por aquellos que están ligados directamente con el animal y el segundo grupo corresponde a los factores que están relacionados con el alimento.

Entre los factores ligados al animal, la especie resulta ser más importante, pues la raza, la edad y el estado fisiológico no parecen tener por sí tanta importancia sobre la digestibilidad de los alimentos y de los factores ligados al alimento podemos destacar: el nivel de alimentación, la composición química, el estado vegetativo de la planta, el método de conservación o procesado de los alimentos y el efecto asociativo de los alimentos (composición de la ración) Bauxade, (1994).

La edad de los animales, el nivel de fibra en la dieta es otro factor que puede afectar el sitio y magnitud de la digestión del grano de maíz entero. El tiempo de permanencia de los granos en el rumen es mayor en las dietas con bajo nivel de forraje, incrementando las posibilidades de regurgitación y masticación de los granos y aumentando el tiempo de exposición de las partículas de granos a los microorganismos ruminales Maresca *et al.*, (2003).

El maíz criollo presenta menos digestibilidad que los maíces forrajeras que actualmente han creado los genetistas para la alimentación animal. Ya que los maíces híbridos presentan mayor porcentaje de tallo que hojas y en las hojas es donde existe el mayor porcentaje de nutrientes acumulado por ser más digestible. En años recientes se han desarrollado híbridos forrajeros con mayor digestibilidad de la fibra, bajo el supuesto de que así se incrementa el consumo de materia seca y se logra una mayor producción de leche. Otros híbridos han sido desarrollados para una mayor área foliar y mayor digestibilidad con resultados positivos (Thomas *et al.*, 2001).

Bauxade, (1994) menciona que conforme aumenta la edad de la planta (morfología y composición química) se produce un incremento en el contenido de fibra bruta y, por lo tanto, se reduce su digestibilidad. En este aumento en el contenido de fibra bruta con la edad de la planta se produce por la lignificación de los tallos y la disminución de la relación hojas/tallos, puesto que al ser más bajo el contenido de fibra bruta de las hojas su digestibilidad es mucho más elevada que la de los tallos.

En las gramíneas el coeficiente de digestibilidad disminuye lentamente hasta un estado vegetativo, varía según las especies, comprendido entre el encañado y el principio del espigado. La digestibilidad de los rebrotes es siempre menor que la del principio de primer ciclo, pero también es menor la disminución de su digestibilidad conforme aumenta su edad durante el segundo y sucesivo rebrote, porque la proporción de tallos frente a hojas aumenta más lentamente (Bauxade, 1994).

Según (Bauxade, 1994) menciona que en el caso de las leguminosas, el coeficiente de digestibilidad disminuye regularmente a lo largo del primer ciclo, con unos valores normalmente más elevados que las gramíneas, con la excepción de la alfalfa, que presenta unos valores iniciales más bajos y para la que la disminución es más acusada. Al igual que en las gramíneas, la digestibilidad de los rebrotes es siempre inferior a la correspondiente al primer ciclo, pero su disminución con la edad es menos acusada.

Según Flores, (1986) la digestibilidad comprende todos los procesos que sufren los alimentos en el tracto digestivo, desde la masticación y la mezcla de los alimentos con la saliva en la boca, digestión, descomposición química y la absorción de nutrientes, así como la expulsión de los materiales no digeridos a través del ano.

Maynard, (1989) indica que el análisis proximal o de Weende, de los alimentos, es el esquema químico más empleado para describir los alimentos, y comprende seis fracciones: humedad, extracto etéreo, proteína cruda, cenizas, fibra cruda y extracto no nitrogenado (nifex), correspondiendo la suma de los dos últimos al total de los carbohidratos del alimento.

Cuando el grano se suministra con altas proporciones de fibra (60% o más) el efecto del procesado sobre la digestibilidad del grano sería positiva debido a un aumento de la tasa de fermentación ruminal. Los altos niveles de forraje generan altas tasas de pasaje disminuyendo el tiempo de permanencia del grano en el rumen. Esto afecta significativamente la digestión del grano entero ya que este requiere de mayor tiempo de permanencia en el tracto digestivo para lograr una digestión más completa. Por esto, al incluir grano entero en dietas basadas en forrajes se podría esperar un menor aprovechamiento. Sin embargo, son escasas las evaluaciones que determinan en qué medida la digestión del almidón del grano de maíz entero se ve deprimida al ofrecer niveles altos de forraje a animales de diferentes edades y si esta depresión es compensada o no por la mayor intensidad con que los animales jóvenes mastican el grano (Maresca *et al.*, 2003).

#### **2.7.5. Tasa de degradabilidad ruminal**

El concepto de degradabilidad propuesto por Wilkins, (1969) es definido como la degradación que sufrirá un alimento en el ecosistema ruminal. La degradabilidad de materia seca permite la descripción de la cantidad de nutrientes de manera eficaz que son degradados en el rumen de ganado así como el proceso de fermentación de los alimentos en el rumen (Susmel *et al.*, 1990). El porcentaje efectivo degradabilidad de materia seca es dependiente entre otras cosas, en el curso de la degradación de las partículas de materia seca en la distribución del rumen y el tiempo de la materia seca que permanecen en el rumen. La materia seca se reducirá si hay un aumento de la velocidad de paso de las partículas (McDonald, 1981).

La digestión ruminal es un proceso dinámico relacionado a la ingestión y deglución del alimento (ingesta) y la salida de líquido, bacterias y alimentos residuales no digeridos. La renovación del contenido ruminal tiene una gran influencia en la eficiencia de utilización del alimento, existiendo una relación inversa entre el índice de pasaje y la degradación del alimento (George, 2006).

Uno de los factores que afectan la degradabilidad de los alimentos, es el pH del líquido ruminal tal como lo reportaron Orskov, (1982), quienes



encontraron que cuando el pH es menor de 6.2 se inhibe el crecimiento de las bacterias celulolíticas y hemicelulolíticas afectando por lo tanto la degradación de estos dos nutrientes.

Wattiaux *et al.*, (1991) demostraron que cuando se incrementó el contenido de fibra detergente neutro en la dieta se aumentó la tasa de degradación en varios forrajes mientras que el tiempo de inicio de degradación se disminuyó.

La tasa de degradación de un alimento se refiere a la cantidad de substrato que puede ser degradada por unidad de tiempo (Van Soest, 1994). La estimación de las tasas de degradación de una fracción dada requiere el describir matemáticamente la degradación o desaparición de dicha fracción en función del tiempo Mertens, (1982).

#### **2.7.6. Digestibilidad aparente**

Según (Maynard, 1975) la digestibilidad aparente se considera como la diferencia entre la totalidad de los nutrientes excretados en las heces y lo consumido. Van Soest (1982) define a la digestibilidad aparente como el balance de la pérdida del alimento en las heces. Así mismo, mucha de la materia orgánica presente en las heces y por ende digestible, es de origen endógeno (descamación intestinal) y microbiana.

#### **2.7.7. Digestibilidad verdadera**

La digestibilidad verdadera es el balance entre la dieta y los residuos del alimento en las heces inclusive productos del metabolismo. El coeficiente de digestibilidad verdadera es más alto que el de digestibilidad aparente. Así es de que el significado de digestibilidad verdadera está en que representa las partes del alimento disponible para la digestión animal o enzimas microbiales (Van Soest, 1982).

Castellanos *et al.*, (1990), mencionan que el concepto de digestibilidad verdadera es un concepto teórico, para su determinación se requeriría hacer

una diferenciación de los componentes que apareciendo en las heces no son de origen alimenticio directo, sino de origen metabólico.

### **2.7.8. Técnicas de Digestibilidad**

La digestibilidad es a menudo estimada por sistemas in vitro del rumen que simulan el proceso de digestión. Los sistemas in vitro pueden ser más precisos, porque in vivo los microorganismos y las enzimas son sensibles a los factores indeterminados que influyen el ritmo y la extensión de digestión. Los sistemas químicos son rápidos y ofrecen mejor copia; sin embargo, no reflejan el proceso biológico de digestión que ocurre en el ambiente del rumen. La técnica de la bolsa de tela puede proveer una mejor indicación de digestión en el rumen, pero tiene su propio conjunto de problemas. El éxito de cualquier rumen en el sistema in vitro depende del grado para el cual refleja acontecimientos del rumen y los procesos secuenciales del tracto digestivo rumiante. La última superioridad de cualquier análisis puramente químico estriba en la exactitud de su respuesta biológica. (Van Soest, 1994).

#### **Técnica in vitro**

La secuencia de todos los procedimientos in vitro del rumen es una fermentación anaerobia de un substrato simple con un medio de alcohol y filtrado del rumen seguido por una medida del punto final. El medio es usualmente una solución buffer simulando la saliva del rumiante. Es importante para observar cuidadosamente la técnica anaerobia y suministrar todos los nutrientes posibles, en particular amoníaco, eso podría ponerse limitativo en forrajes de mala calidad. A diferencia del rumen, los sistemas in vitro no tienen un suministro continuo de saliva, lo cual podría suministrar nitrógeno. El tiempo de fermentación del montón es generalmente de 48 h para estimación de la digestibilidad, aunque otros periodos de tiempo de 3 h para varios cientos de horas han estado acostumbrados a estimar ritmos de fermentación. La ingestión voluntaria es más conveniente relatada para un valor 6-h, y una digestibilidad esta mejor asociado para un valor 36-48-h. Los tiempos más largos son necesarios para la máxima extensión. (Van Soest, 1994).

Puesto que la realización de experimentos de digestibilidad es un proceso laborioso, se han realizado muchos intentos para determinar la digestibilidad de los alimentos reproduciendo en el laboratorio las reacciones que tienen lugar en el tracto digestivo de los animales. Aunque no es fácil de imitar en su totalidad la digestión en los animales no rumiantes.

La digestibilidad de los alimentos de los rumiantes puede determinarse, con cierta exactitud, sometiénolos, en primer lugar a la acción de líquido ruminal y, seguidamente, a la acción de la pepsina. Durante la primera fase de este método, denominado "in vitro en dos fases", se incuba, en condiciones anaerobias, durante 48 horas, una muestra del alimento, finamente molido, en un tubo que contiene líquido ruminal tamponado. En la segunda fase, se matan las bacterias acidificando el medio con ácido clorhídrico, hasta un alcanzar un pH 2, y se digieren incubándolas con pepsina durante otras 48 horas. El residuo insoluble se filtra, deseca e incinera; restando la materia orgánica de la existente en el alimento, se obtiene una estimación de la materia orgánica digestible, (McDonald et al, 1999).

### **Técnica in situ**

En esta técnica se utilizan animales fistulados para realizar la valoración rápida de la digestibilidad de pequeñas muestras de alimentos. Dichas muestras (3-5 g de materia seca), se introducen en pequeñas bolsas de material sintético permeable, de paso de malla estandarizado (400-1,600  $\mu\text{m}^2$ ), que se introducen en el rumen a través de una cánula, incubándose durante 24-48 horas. Una vez extraídas las bolsas, se lavan y se desecan, para determinar la cantidad de materia seca del alimento que permanece como material no digerido, (McDonald et al, 1999).

Este método ha sido usado para estimar la calidad del forraje (digestibilidad) mediante el uso de pequeñas bolsas de nylon conteniendo el forraje, en animales fistulados. La desaparición de la materia se interpreta como materia digestible, (Tejada, 1992).

Los animales que se utilizan deben de mantenerse durante las pruebas con una dieta similar o de preferencia con el mismo forraje, (Tejada, 1992).

### **Técnica in vivo:**

La digestibilidad in vivo de los alimentos se ve afectada por numerosos factores, entre los que destacan el tipo de ración, el nivel y pauta de ingestión de los alimentos, la especie animal y el estado fisiológico de los animales (Schneider and Flat, 1975). De todos los factores relacionados con el tipo de ración administrada a los animales, el efecto de la relación forraje: concentrado ha sido uno de los más estudiados, (Bochi *et al*, 1999).

Según Shimada, (2010), el método más completo para medir la digestibilidad, es el que implica la medición adicional de la orina, los gases, el calor generado, la eficiencia de la rumia, el volumen de las fracciones sólida y líquida del rumen y los ácidos grasos volátiles, entre otros.

### **2.8. Trabajos realizados de Degradabilidad ruminal y digestibilidad del forraje verde hidrópico**

Según el trabajo que realizaron Herrera, *et al.*, (2007), la Degradabilidad ruminal acumulada de la MS del FVHM a las 48 horas fue de 42.2%, si se toma en consideración la cantidad de lignina presente en este (43.42%), solo faltaría un 14.38% de la materia seca por ser degradada, pudiendo esto ocurrir a nivel intestinal. Ello indicaría la posibilidad de una mejor calidad del FHM si se retirase la cascarilla de arroz utilizada como medio de germinación del maíz.

Cuadro 5. Degradabilidad de la materia seca del forraje hidropónico de maíz en diferentes intervalos de tiempo.

Tiempo (horas)	Degradabilidad (%)
0	15.2
3	15.4
6	15.8
9	19.6
12	21.5
24	33.1
48	42.2

<http://redalyc.uaemex.mx/pdf/959/95917409.pdf>

La lignina es un material indigestible, siendo su mayor implicación el hacer menos aprovechables a componentes como celulosa o hemicelulosa cuando está asociada a ellos. En concordancia con esto, la elevada concentración de lignina (43.4%) del FHM, podría estar afectando en forma negativa la Degradabilidad del material y tal vez esta sea la causa del bajo valor obtenido para la determinación en cuestión.

La digestibilidad aparente promedio de la MS del FHM, fue del 55.9%, y se obtuvo en animales que estaban consumiendo poca cantidad de MS por día en relación a su peso vivo (1.65% PV), razón por la que se descarta exceso de ingestión como causa del valor bajo de digestibilidad.

Según Bochi *et al.*, (1999), menciona en su estudio que la digestibilidad in vitro de la materia seca de heno de alfalfa 79.1 %, heno de veza-cereal 74.2 % y trébol rojo 69.2%.

Según Cáceres, (1982) la digestibilidad es un valor que disminuye conforme aumenta la edad del forraje. Acentuándose en época de lluvia mientras que en época seca el descenso es mínimo. Ellos observaron valores superiores al 70% en los estados avanzados. Por otra parte Villegas (1990) obtuvo valores de DVMS de 65% en edades de 45 días y 60% al alcanzar los 65 días.

Según Hernández, (2009) el sorgo se caracteriza por la baja digestibilidad de su proteína, atribuida a la presencia de taninos; sin embargo, éstos solo la afectan cuando están presentes en gran cantidad.

Según McCloy *et al.*, (1971) reportan valores para digestibilidad in situ en ganado vacuno de la materia seca triticale y grano de sorgo de 72.8 y 69.6 % respectivamente.

Charney *et al.*, (1993), menciona valores de DIVMS, reportan valores con respecto a la alfalfa de (75.1 %), para el silo de maíz (73.2 %) y para la avena (83.7 %) de digestibilidad.

Con respecto a los encontrados por Núñez *et al.*, (2000), reportaron que el sorgo x sudan de nevadura café tuvo una digestibilidad in vitro de la materia seca del 70 % de DIVMS.

En la investigación que realizó Mendoza, (1983), reporta una digestibilidad in vitro de la materia seca de un 67 % en el grano de sorgo.

Los resultados obtenidos por Martínez, (1994), menciona que en la DIVMS en *Agave antroviensis* (64.52) y *Agave salmiana* (62.4 %) de digestibilidad.

El trabajo realizado por Hernández, (2011), reporta los porcentajes de digestibilidad in vitro de la materia seca con un 86.61 %, respectivamente en la especie de nopal (*Opuntia lindheimeri*).

Morales, (2010), menciona en su estudio de la DIVMS de triticale en tres cortes, para el primer, segundo y tercer corte respectivamente y los intermedios-invernales cuyos valores fueron 71.01, 68.22 y 66.92% para cada uno de los cortes.

En la investigación que realizó Cruz (2008) en DIVMS y valor nutritivo de tres variedades de alfalfa (*Medicago sativa*) en hidroponía, Se obtuvieron valores de 96.29% a 97.30%, las tres variedades fueron similares ( $P < 0.05$ ).

En el trabajo de Navarrete, (2005), reporta los % de Tasa digestibilidad In Vitro de Tres Híbridos de maíz Forrajero los cuales fueron se pueden apreciar valores de (78.55%) para el AN-388; (73.86%) para el P30G54 (comercial) y (60.21%) para el AN-44.

En la investigación que realizó Cruz, (1999), en la Tasa de degradación in vitro de la fibra de algunos forrajes de uso común reporto un Porcentaje de digestibilidad de (71.44%).

Castillo *et al.*, (2009) Encontraron valor promedio de la digestibilidad in Vitro de materia seca (DIVMS) en ensilaje de maíz cultivado en asocio con vigna (*Vigna radiata*) promedio de (74,3 %).

Según Díaz, (2012), en su trabajo que realizo en Digestibilidad In vitro de materia seca, de mezcla de maíz -girasol silvestre en los tiempos 72 y 96 horas de incubación encontró un 75.44 y 78.60% de DIVMS respectivamente.

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Localización

La producción de forraje verde hidropónico se realizó en las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, (UAAAN) en el invernadero N° 2 de la misma, durante el mes de julio del 2012, en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Ubicada en los 25° 22" de latitud Norte y 110° 00" de longitud Oeste con una altitud de 1742 msnm (García, 2004). La zona de estudio tiene un clima BMW (X); de muy seco a semicalido con invierno fresco, extremoso, con lluvias en verano y una precipitación media anual de 298.5 mm, siendo los meses de junio a octubre los más lluviosos y marzo el más seco, una temperatura media anual de 19.8 °C. El clima está clasificado como seco o árido (Mendoza, 1983).

#### 3.2. Características del invernadero

El invernadero donde se realizó el experimento tiene las siguientes características, (figura 2): Es de tipo semicircular, 9.15m de frente por 30.5m de largo y 4.5m de alto. Cubierta de acrílico TR12 color blanco lechoso. Cuenta también con dos extractores, pila de enfriamiento, termostato y camas de siembra.



Figura 2. Invernadero.



### **3.3. Proceso de producción de forraje verde hidropónico de los granos sorgo y maíz.**

El proceso de producción de los forrajes de sorgo y maíz fue el siguiente.

- ❖ Los kilogramos de semillas que se utilizaron fueron 6 kg de maíz y 6 kg de sorgo y se utilizaron 12 charolas de plástico.

Selección de las semillas. Para este procedimiento se realizó sumergiendo la semilla de las dos variedades en agua, las que flotaban serían las semillas que estaban en malas condiciones o todo tipo de impurezas se eliminaban, también para ver que no hayan sido tratadas con insecticidas o fungidas. El porcentaje de germinación debe de ser superior al 80%.

Desinfección de la semilla: se realizó en un tambo de 20 litros de agua utilizando cloro comercial al 1 % se pasó remojar la semilla durante 90 segundos, luego se enjuago con agua purificada, la deje remojar durante 12 horas en agua.

Luego se pasó a drenar la semilla y pasarlas a ser lo que fue la pre germinación durante 24 horas, se introdujeron las semillas en unas bolsas negras dejándole agujeritos pequeños para su ventilación.

Después se sacaron las semillas de las bolsas para posteriormente meterlas a las charolas de plástico, fueron 12 charolas 6 para sorgo y 6 para maíz, en cada charola se introdujeron 1 kg de forraje. Las dimensiones de las charolas eran de 20 cm ancho por 30 cm de largo, los dos primeros días a cada charola se le coloca periódico humedecido, esto con el fin de que la luz no le perjudicara a los granos que ya habían germinado.

Los riegos que se realizaron fueron con agua y con ácidos húmicos a 3 charolas de maíz se regaron con agua y a las o tras 3 con ácidos húmicos igual para lo del sorgo, los primeros 6 días fueron 3 riegos por día y el resto de los días fueron de 4 riegos al día.

La cosecha se realizó a los 15 días con una altura de la planta de 18 a 22 cm.

### 3.4. Forrajes Utilizados en la prueba de digestibilidad in vitro

El forraje utilizado fue sorgo y maíz forrajero molidos en molino Willey con una criba de 0.2 mm. de diámetro y secada a una temperatura de 70° por 24 horas, determinándose materia seca total a las muestras para posteriormente ser pesados 5 g. de muestra (in vitro) y colocados en cada una de las bolsas de nylon, previamente lavadas, secadas, pesadas e identificadas.

En cuanto a los tiempos que se utilizaron para la DIVMS fueron cuatro tratamientos utilizados, sorgo y maíz 6 tiempos y que se les aplicaron dos riegos agua y ácidos húmicos (cuadro. 6).

Cuadro 6. Tratamientos y tiempos para la DIVMS.

TRATAMIENTOS	Horas de incubación
T1: Maíz con ácidos húmicos	0, 6,12,24,48,72
T2 : Sorgo con ácidos húmicos	0, 6,12,24,48,72
T3: Maíz con agua	0, 6,12,24,48,72
T4: Sorgo con agua	0, 6,12,24,48,72

El análisis bromatológico se realizó de acuerdo a la A.O.A.C (1980), para determinar la fibra detergente neutro y fibra detergente ácido se utilizó la metodología descrita por Van Soest (1964).

### 3.5. Digestibilidad in vitro con el incubador, DAISY<sup>II</sup>

Para estimar la DIV de los alimentos se utilizó la técnica descrita por Goering y Van Soest (1970), siguiendo la modificación metodológica propuesta por Ankom Technology Corporation. Las muestras de 0.5 g se incubaron en el interior de bolsas de nylon, introducidas en recipientes de vidrio de 4 l de capacidad en los que se añadieron 2 lts. De una mezcla de líquido ruminal y del

medio de cultivo (1:4 v/v) descrito por Goering y Van Soest (1970) y 21 muestras por recipiente (3 en blanco por frasco). La preparación del medio de cultivo y la mezcla con el líquido ruminal se realizaron en condiciones anaerobias (gaseado continuo con CO<sub>2</sub>) y manteniendo la temperatura constante a 39°C. El incubador utilizado Daisy<sup>II</sup> dispone de cuatro recipientes. Una vez cerrados los recipientes se introdujeron en el incubador durante 72, 48, 24, 12, 6, y 0 horas, bajo agitación continua. Transcurrido este tiempo se extrajeron las bolsas de los recipientes. El procedimiento siguiente fue el lavado y secado de las bolsas.



Figura 3. Incubador Daisy<sup>II</sup>

### 3.6.-Diseño experimental

El análisis bromatológico se realizó de acuerdo a la A.O.A.C (1980), para determinar la fibra detergente neutro y fibra detergente ácido se utilizó la metodología descrita por Van Soest (1964).

Para este trabajo se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial, teniendo cuatro tratamientos con tres repeticiones cada uno y seis tiempos de incubación. Se expresa con la siguiente fórmula:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \xi_{ijk}$$

Donde

$i = 1, 2, 3, 4$  .tratamientos

$j = 1, 2, 3, 5, 6$ , Tiempos

K= 1, 2, 3. Repeticiones

Para la determinación de la correlación que pudiera existir entre el tiempo y la digestibilidad, se realizó el análisis respectivo para encontrar una respuesta entre el tiempo y la cantidad de materia degradada, en cada tiempo de incubación.

Los análisis se realizaron con el PROC ANOVA y la prueba de tukey ( $p < 0.05$ ),

#### IV. RESULTADOS Y DISCUSION

En el cuadro 7. Se presentan los resultados de la DIVMS conforme a los tratamientos y los tiempos de digestibilidad que fueron evaluados el maíz y sorgo con sus respectivas soluciones de riego.

En cuanto a los tratamientos los resultados obtenidos, en base al análisis de varianza se observó que existieron diferencias ( $P < 0.05$ ), se puede apreciar que el tratamiento uno y cuatro, presentaron los mayores porcentajes de DIVMS con un 67.75 y 68.37%, respectivamente, en comparación con los tratamientos dos y tres que tuvieron diferencias ( $P < 0.05$ ), que fueron los que menor digestibilidad arrojaron con un 33.29 y 43.20 % respectivamente. En cuanto a los cuatro tratamientos se puede observar que el tratamiento dos se comportó muy diferente al tratamiento cuatro.

De acuerdo a los tiempos evaluados (cuadro. 7), y la comparación de medias los tiempos uno, cuatro y cinco presentaron diferencia ( $P < 0.05$ ), en cuanto al tiempo cinco se observa que hubo diferencias ( $P < 0.05$ ), por otra parte en cuanto a los tiempos, dos y tres no se presentaron diferencias ( $P > 0.05$ ), de igual manera se obtuvo una mayor digestibilidad en los tiempos cuatro, cinco y seis con un 67.18, 68.37, 67.76 % de digestibilidad, también se observa que entre los tratamientos cuatro y seis son muy parecidos ( $P > 0.05$ ), en cuanto a los tiempos uno, dos y tres son los que menor digestibilidad obtuvieron con un 33.29, 39.84 y 43.20 % de digestibilidad respectivamente, en los seis tiempos evaluados el que presentó mayor DIVMS fue el tiempo cinco con un 68.37% comparado al tiempo que presentó menor porcentaje de digestibilidad fue el tiempo uno con 33.28 %, se observa una diferencia de 35.9 % de DIVMS entre ambos tiempos.

Cuadro 7. Resultados de la DIVMS, en cuanto a tiempos y tratamientos.

Tiempo de incubación	Digestibilidad Maíz ac.h T1	Digestibilidad Sordo ac.h T2	Digestibilidad Maíz H2O T3	Digestibilidad sorgo H2O T4
0	42.30 <sup>a</sup>	33.29 <sup>c</sup>	37.95 <sup>b</sup>	38.82 <sup>b</sup>
6	40.77 <sup>a</sup>	39.84 <sup>a</sup>	40.21 <sup>a</sup>	45.62 <sup>a</sup>
12	52.09 <sup>a</sup>	43.45 <sup>a</sup>	43.21 <sup>a</sup>	49.27 <sup>a</sup>
24	57.54 <sup>b</sup>	51.14 <sup>c</sup>	67.18 <sup>a</sup>	60.74 <sup>b</sup>
48	67.10 <sup>a</sup>	51.60 <sup>a</sup>	53.46 <sup>a</sup>	68.37 <sup>a</sup>
72	67.75 <sup>a</sup>	53.53 <sup>c</sup>	61.41 <sup>b</sup>	57.21 <sup>b</sup>

De acuerdo al análisis estadístico y la comparación de medias, se presenta una interacción entre los tratamientos y los tiempos, estas se expresan en los siguientes cuadros.

De acuerdo en la interacción de los tiempos y tratamientos en el tiempo 0, se puede observar que existieron diferencias ( $P < 0.05$ ), entre cada uno de ellos, en el tiempo 0 (cuadro. 8), se observó que el mejor tratamiento fue el uno, al aplicar ácidos húmicos al cultivo de maíz, este arrojó un 42.30 % de digestibilidad, seguido por el tratamiento cuatro que fue sorgo con agua este reportó un 38.82 % de digestibilidad, en comparación el tratamiento dos que fue el que menores resultados arrojó al aplicar ácidos húmicos al sorgo este dio un 33.29 % de digestibilidad; los datos observados indican que el tratamiento uno es diferente ( $P > 0.05$ ) a los tratamientos dos, tres, y cuatro, los tratamientos tres y cuatro son similares pero diferentes ( $P > 0.05$ ) al número dos.

**Cuadro 8.- Digestibilidad de sorgo y maíz producidos en hidroponía con ácidos húmicos y agua en el tiempo 0.**

TRATAMIENTO	DIGESTIBILIDAD
1	42.30 <sup>a</sup>
2	33.29 <sup>c</sup>
3	37.95 <sup>b</sup>
4	38.82 <sup>b</sup>

De acuerdo con la interacción de los tiempos y tratamientos en el tiempo 6, se puede observar que no existieron diferencias ( $P < 0.05$ ), entre cada uno de ellos, en el tiempo 6 (cuadro .9), se observó que el mejor tratamiento fue el número cuatro arrojando un 45.64 % de digestibilidad al aplicar agua al cultivo de maíz, seguido por el tratamiento uno con un porcentaje de DIVMS de 40.77, de igual forma el tratamiento tres con un 40.21% de digestibilidad, en cuanto al tratamiento dos fue el que menor % de DIVMS arrojó con un 39.84 % a comparación con los tratamientos mencionados; Los datos observados indican que el tratamiento uno y tres son idénticos pero diferentes ( $P > 0.05$ ) al dos y cuatro, el tratamiento dos es diferente ( $P > 0.05$ ) al cuatro.

**Cuadro 9.- Digestibilidad de sorgo y maíz producidos en hidroponía con ácidos húmicos y agua en el tiempo 6.**

TRATAMIENTO	DIGESTIBILIDAD
1	40.77 <sup>a</sup>
2	39.84 <sup>a</sup>
3	40.21 <sup>a</sup>
4	45.64 <sup>a</sup>

De acuerdo en la interacción de los tiempos y tratamientos en el tiempo 12, se puede observar que no existieron diferencias ( $P < 0.05$ ), entre cada uno de ellos, en el tiempo 12 (cuadro. 10), se puede observar que el tratamiento que mayor digestibilidad arrojó fue el uno al aplicarle ácidos húmicos al maíz arrojando un 52.10 % de digestibilidad, seguido del tratamiento cuatro arrojando un 49.27 % de digestibilidad al aplicar agua al sorgo, el tratamiento dos presentó 43.45 % de digestibilidad al aplicarle ácidos húmicos al sorgo, el tratamiento tres arrojó un 43.21 % de digestibilidad al aplicarle agua al maíz, los tratamientos dos y tres fueron idénticos pero diferentes ( $P > 0.05$ ) a los tratamientos uno y cuatro.

**Cuadro 10.- Digestibilidad de sorgo y maíz producidos en hidroponía con ácidos húmicos y agua en el tiempo 12.**

TRATAMIENTO	DIGESTIBILIDAD
1	52.10 <sup>a</sup>
2	43.45 <sup>a</sup>
3	43.21 <sup>a</sup>
4	49.27 <sup>a</sup>

De acuerdo en la interacción de los tiempos y tratamientos en tiempo 24, se puede observar que existieron diferencias ( $P < 0.05$ ), entre cada uno de ellos, en el tiempo 24 (cuadro. 11), se aprecia que el mejor tratamiento fue el tres al aplicar agua al cultivo de maíz este arrojó un 67.18% de digestibilidad fue superior a los demás tratamientos, seguido por el tratamiento cuatro que fue al aplicar agua al sorgo este reportó un 60.74 % de digestibilidad, el tratamiento número uno presentó un 57.54 % de digestibilidad, el tratamiento número dos que fue el que menor porcentaje de digestibilidad arrojó al aplicar ácidos húmicos al sorgo con un 51.14 % de DIVMS, los datos observados indican que el tratamiento tres y cuatro son idénticos pero diferentes ( $P > 0.05$ ) a los tratamientos uno y dos, por otra parte el tratamiento uno y 2 son idénticos pero diferentes ( $P > 0.05$ ) al número tres.



**Cuadro 11.- Digestibilidad de sorgo y maíz producidos en hidroponía con ácidos húmicos y agua en el tiempo 24.**

TRATAMINETO	DIGESTIBILIDAD
1	57.54 <sup>b</sup>
2	51.14 <sup>c</sup>
3	67.18 <sup>a</sup>
4	60.74 <sup>b</sup>

De acuerdo en la interacción de los tiempos y tratamientos en tiempo 48, se puede observar existieron diferencias ( $P < 0.05$ ), entre cada uno de ellos, en el tiempo 48 (cuadro. 12) se observó que el mejor tratamiento fue el número cuatro, al aplicar agua al cultivo de sorgo este arrojó un 68.37 % de digestibilidad, seguido por el tratamiento uno al aplicar ácidos húmicos al maíz este reportó un 67.10 % de digestibilidad ambos son muy parecidos, seguido por el tratamiento tres que arrojó un 53.46 % de digestibilidad, al aplicar agua al cultivo de maíz, en comparación del tratamiento dos fue el que menor resultados arrojó al aplicar ácidos húmicos al sorgo, con un 51.60 % de DIVMS en comparación al tratamiento uno y cuatro; los datos observados indican que el tratamiento uno y cuatro son idénticos pero diferentes ( $P > 0.05$ ) al dos y tres, el tratamiento uno es muy diferentes ( $P > 0.05$ ) al dos.

**Cuadro 12.- Digestibilidad de sorgo y maíz producidos en hidroponía con ácidos húmicos y agua en el tiempo 48.**

TRATAMIENTO	DIGESTIBILIDAD
1	67.10 <sup>a</sup>
2	51.60 <sup>a</sup>
3	53.46 <sup>a</sup>
4	68.37 <sup>a</sup>

De acuerdo en la interacción de los tiempos y tratamientos en tiempo 72, se puede observar que existieron diferencias ( $P < 0.05$ ), entre cada uno de ellos, en el tiempo 72 (cuadro. 13) se observó que el mejor tratamiento fue el uno, al aplicar ácidos húmicos al cultivo de maíz este arrojó un 67.74% de digestibilidad, seguido por el tratamiento tres que fue al aplicar agua al cultivo de maíz este reportó un 61.417 % de digestibilidad, los tratamientos dos (sorgo con ácidos húmicos ) y cuatro (sorgo con agua) fueron los que menor % de DIVMS reportaron 53.52 , 57.21 respectivamente, el tratamiento dos que fue el que menor resultados arrojó este dio un 53.526% de digestibilidad; los datos observados indican que el tratamiento uno es diferente ( $P > 0.05$ ) a los tratamientos dos, tres, y cuatro, los tratamientos tres y cuatro son idénticos pero diferentes ( $P > 0.05$ ) al número dos.

**Cuadro 13.- Digestibilidad de sorgo y maíz producidos en hidroponía con ácidos húmicos y agua en el tiempo 72.**

TRATAMIENTO	DIGESTIBILIDAD
1	67.748 <sup>a</sup>
2	53.526 <sup>c</sup>
3	61.417 <sup>a<sup>b</sup></sup>
4	57.212 <sup>c<sup>b</sup></sup>

Los resultados obtenidos de DIVMS en los diferentes tratamientos y tiempos evaluados presentan los valores más altos en el tiempo 48 en el tratamiento cuatro (sorgo con agua) y uno presentando un 68.37 y 67.10 % de digestibilidad, los cuales coinciden con los encontrados por Bochi *et al.*, (1999) que reportaron valores para digestibilidad in vitro de la materia seca de trébol rojo de 69.20 %.

Morales, (2010), menciona en su estudio de la DIVMS de triticale en tres cortes, para el primer, segundo y tercer corte respectivamente y los intermedios-invernales cuyos valores fueron 71.01, 68.22 y 66.92% para cada

uno de los cortes. Comparados a los resultados en este trabajo, valores son similares a los encontrados por (Morales ,2010).

En cuanto a los resultados obtenidos en el tiempo cinco, en el tratamiento tres en el cultivo de maíz al aplicarle agua arrojó un 53.46 % de digestibilidad, estos resultados son parecidos a los mencionados por Carey *et al.*, (1993), quienes reportaron valores para digestibilidad *in situ* de la materia seca a las 48 horas de 52.3 % en la cebada, de 54.5 % en la pulpa de remolacha y de 54.4 % en el maíz;

Charney *et al.*, (1993), menciona valores de DIVMS, reportan valores con respecto a la alfalfa de (75.1 %), para el silo de maíz (73.2 %) y para la avena (83.7 %). En estos datos son muy superiores en cuanto a los resultados obtenidos en esta investigación que es de un 68.373% de digestibilidad

Con respecto a los encontrados por Núñez *et al.*, (2000), reportaron que el sorgo x sudan de nevadura café tuvo una digestibilidad *in vitro* de la materia seca del 70 %, este valor es muy similar a los que arrojó el sorgo al aplicarle agua en el tiempo cinco arrojando un 68.373% de digestibilidad.

Mendoza, (1983), reporta digestibilidad *in vitro* de 67 % en el grano de sorgo, este valor es similar al encontrado en el presente trabajo, que se obtuvo un 68.373% en el tiempo cinco al aplicarle agua al cultivo del sorgo.

Los resultados obtenidos por Martínez, (1994), para DIVMS en *Agave antroviensis* (64.52) y *Agave salmiana* (62.4 %), comparados con el trabajo realizado estos porcentajes de digestibilidad son similares a los obtenidos en el tiempo 48 en los tratamientos uno y cuatro.

El trabajo realizado por Rodrigo, (2011), reporta los porcentajes de digestibilidad *in vitro* de la materia seca con un 86.6190 %, respectivamente en la especie de nopal (*Opuntia lindheimeri*) en este caso el % de digestibilidad del nopal es muy superior a los encontrados en esta investigación.

McCloy *et al.*, (1971) reportan valores para digestibilidad *in situ* en ganado vacuno de la materia seca triticale y grano de sorgo de 72.8 y 69.6 % respectivamente, estos resultados son muy parecidos con la DIVMS del sorgo

al aplicarle agua en el tiempo 48 que fue 68.37%, pero son diferentes con la del triticale que el autor menciona.

Cruz (2008) reporta en su trabajo DIVMS de tres variedades de alfalfa (*Medicago sativa*) en hidroponía obtuvieron valores de 96.29% a 97.30%, las tres variedades fueron similares ( $P < 0.05$ ). Comparados a los obtenidos en este trabajo que se obtuvieron en el sorgo al aplicarle agua un 68.37 % de DIVMS, se aprecia que los valores de la alfalfa fueron superiores al del sorgo.

En el trabajo de Navarrete, (2005), reporta la tasa digestibilidad *in vitro* de tres híbridos de maíz Forrajero en los que se pueden apreciar valores de 73.55% para el AN-388; 69.86% para el P30G54 (comercial) y 60.21% para el AN-44 comparados a los resultados de esta investigación estos valores son parecidos al 67.37% de DIVMS que se obtuvo el maíz con ácidos.

En la investigación que realizó Cruz, (1999), en la tasa de *degradación in vitro* de la fibra de algunos forrajes de uso común reporto un Porcentaje de digestibilidad de 71.44%, este resultado es muy cercano a los obtenidos que fue un 68.37% de DIVMS.

Castillo *et al.*, (2009) encontraron un valor promedio de la digestibilidad *in vitro* de materia seca (DIVMS) en ensilaje de maíz cultivado en asociación con vigna (*Vigna radiata*) de 74,3 %, en comparación con el obtenido este fue superior al maíz que se le aplico ácidos ya que reporto un 67.37 % de digestibilidad.

Según Díaz (2012), que realizó la digestibilidad *in vitro* de materia seca, de mezcla de maíz -girasol silvestre en los tiempos 72 y 96 horas de incubación encontró un 75.44 y 78.60% de DIVMS respectivamente, estos son mayores a los obtenidos en esta investigación obteniendo una DIVMS de 68.37%.

## V. CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos en esta investigación se concluye lo siguiente:

Los dos forrajes tuvieron efectos positivos y fueron similares a trabajos realizados por otros autores evaluando la digestibilidad con respecto a las soluciones las dos tuvieron efectos diferentes en los forrajes ya que dependerá a que forraje se le apliquen las soluciones ya que estas tienen diferentes reacciones en ellas, según el estudio realizado se recomendaría aplicar ácidos húmicos al maíz y en cuanto al sorgo es mejor con pura agua.

En cuanto a los tiempos evaluados en este estudio, a las 48 y 72 horas fueron lo que reportaron mejores resultados de digestibilidad, con respecto al estudio realizado se recomienda llegar a un tiempo de 48 horas que es donde se aprovecha el forraje al máximo, se podría llegar a un tiempo de 72 horas.

La utilización de forraje hidropónico en la alimentación animal es una buena alternativa para las zonas áridas del país.

## VI. LITERATURA CITADA

- Arano, C. 1998. Forraje Verde Hidropónico y Otras Técnicas de Cultivos sin Tierra. Editado por el propio autor. Prov. de Buenos Aires, Argentina. 397 p.
- Almanza, G.J, R.1984. Producción intensiva de Forraje por medio de sistemas hidropónicos en cámara de crecimiento. Tesis Licenciatura. UAAAN. Buenavista, Saltillo Coahuila. México, pp.9
- Bauxade, C.C. 1994. Bases de Producción animal, Producción y alimentación tomo II. Consell de cent, 391-Barcelona. España.pp.169-175.
- Bedoya J.E., C.M Pacheco. 2003. Curso hidroponía. Editorial EDITEC. Lima Perú. Pp. 12.
- Bochi, O., M.D. Carro, C. Valdés, J.S. González y S. López. 1999. Digestibilidad in vitro de Forrajes y Concentrados: Efecto de la ración de los animales donantes de líquido ruminal. Archivos de Zootecnia 48:51-61.
- Castillo, J.; B. Rojas; J. Winching. 2009. Valor nutricional del ensilaje de maíz cultivado en asocio con Vigna (Vigna radiata) Agronomía Costarricense 33(1): 133-146. ISSN: 0377.
- Cruz, C.N. 2008. Digestibilidad in vitro y valor nutritivo de tres variedades de alfalfa (Medicago sativa) en hidroponía. Tesis, Licenciatura. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Pp. 49.
- Cruz, R. C. 1999. Tasa de degradación in vitro de la fibra de algunos forrajes de uso común. Tesis de licenciatura, UAAAN. Buenavista Saltillo, Coahuila, México. Pp. 26-36.
- Caballo, M. C. R. 2000. Manual de procedimientos para granos para la alimentación animal. Editorial Limusa. Culiacán Sinaloa.. pp. 128-175.

- Carey, D. A., J.S. Caton., M. Biondini. 1993. Influence of Energy Source on Forage Intake, Digestibility, In Situ Forage Degradation, and Ruminant Fermentation in Beef Steers Fed Medium-Quality Brome Hay. *J. of Animal Sci.* 71:2260-2269.
- Castellanos, R.A., L.I. Llamas, LI y A. Shimada, A. 1990. Manual de Técnicas de Investigación en Ruminología. Sistema de Educación Continua en Producción Animal. Editorial. Diana, México. Pp.85-86, 96, 108.
- Cullison, A. E. 1979. Feeds and Feeding. Second edition. Reston, Virginia 22090. Ed. Diana, S. A. de C. V. México, D. F. pp.41, 42, 111.
- Church, D.C. y W.G. Pond. 2002 Fundamentos de Nutrición y Alimentación de Animales, Segunda Edición, Editorial Limusa, Noriega Editores. México. pp. 11- 35.
- Cherney, D.J.R.; J.H. Cherney, R.F. Lucey. 1993. In vitro digestion kinetics and quality of perennial grasses as influenced by forage maturity. *J. Dairy Sci* 76: 790–797.
- Cáceres, O.; García, T. 1982. Valor nutritivo de forrajes tropicales. 2. sorgo bicolor. *Pastos y forrajes. Matanza, Cuba.* 5(1): 95- 105.
- Díaz, D.D. 2012. Digestibilidad In vitro de materia seca, (DIVMS) de mezcla de maíz (*Zea mays*): -girasol silvestre (*Helianthus annuus*). Tesis, Lic. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Pp.18.
- FAO. 2002. Forraje Verde Hidropónico. Santiago Chile. Pp.69. [http://www.fao.org/Regionai/LAmerica\\_pror\\_segal\\_m\\_forraie\\_hm](http://www.fao.org/Regionai/LAmerica_pror_segal_m_forraie_hm).
- Flores, J. 1986. Manual de Alimentación Animal. Primera edición. Editorial. Limusa, México. Vol. 4. Pp.46.
- García, A. J. C. 2004. Evaluación de forraje verde hidropónico en tres especies forrajeras (cebada, trigo y triticale) bajo condiciones de invernadero. Tesis Licenciatura. U.A.A.A.N. Saltillo. Coahuila, México. Pp. 28-21.

- González, F.J. 1990. Predicción del valor nutritivo de algunas plantas forrajeras mediante digestibilidad In Vitro. Tesis D. C. A. M.-I. T.E. S. M. Monterrey, Nuevo León, México. pp. 42,43.pp.
- Gilzans, C.J. 2007. Hidroponía, Editado por la Unidad de Comunicación y Transferencia de Tecnología Andes. Montevideo – Uruguay. PP 6-9.
- Guerrero, A. 1992. Cultivos herbáceos extensivos. 5ª ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. Pp.779.
- Garmán, D. G., A.J. Estrada, 2004. Hidroponía en casa: Una Actividad Familiar. Editorial Octaviano Castillo Vargas. Universidad de Costa Rica. Costa Rica. pp. 3.
- Hernández., C.L y L.G. Mariscal. 2009. Efecto del contenido de kafirinas sobre la Digestibilidad ileal de la proteína de sorgo. Universidad Autónoma de Querétaro. Santiago de Querétaro. PP.272.
- Hernández HE. 2011. Influencia de la *L-alfa lisofosfatidilcolina* sobre las propiedades térmicas y estructurales del almidón de maíz nativo. *Tesis de Licenciatura*. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Pachuca de Soto hidalgo. 02-43 pp.
- Herrera, A.A, M.R. López, A.M. Benezra y A.L, Ríos. 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. Revista Científica, agosto. Universidad del Zulia. Maracaibo, Venezuela. pp. 372-379.
- Hidalgo, M. L. R. 1985. Producción de Forraje en Condiciones de Hidroponía. I. Evaluaciones Preliminares en Avena y Triticale. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales de la Universidad de Concepción, Sede Chillán. Chile.



- Hill, T.M.; Schmidt, S.P.; Russell, R.W.; Thomas, E.E. y Wolfe, D.F. 1991. J Anim Sci 69:4570-4576. Todorov. N.A. 1988. Liv Prod Sci 19:47-95.
- Lomelí Z. H. M. (2000). Producción de Forraje verde hidropónico. Universidad de México. Pp. 15-18.
- López, A.R. 2012. Forraje verde hidropónico, una alternativa para el ganado de zonas áridas. Universidad Autónoma de Baja California Sur, la Paz Baja California México. 107 (6).
- López, F. J. F. 1988. Evaluación de Seis Especies Forrajeras Bajo Técnica de Hidropónica. Tesis Licenciatura. UAAAN. Saltillo. Coahuila. México. pp.23.
- McDonald. P., R.A. Edwards. R.A., M.J.F.D. Greenhalgh y C.A. Morgan. 1999. Nutrición Animal Editorial Acriba. 5ª Edición, S.A. Zaragoza España. pp. 205-218.
- McDonald, I. 1981. A revised model for the estimation of protein degradability in the rumen. J. Agric. Sci. (Camb.), 96: 251- 252.
- Maresca, S, F.J. Santini, y J.C. Elizalde. 2003. Grano de maíz entero en la alimentación de ganado. Grupo de Nutrición y Metabolismo de Rumiantes Unidad Integrada Balcarce. INTA .Argentina.
- Maynard., L. A., Loosli, B.S. 1975. Nutrición animal. Tercera Edición. España pp.374
- Mendoza, H. J. M. 1983. Boletín meteorológico para la zona de influencia de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. UNA. Buenavista Saltillo, Coahuila México.
- Morales, O. A. F. 1987. Forraje Hidropónico y su Utilización en la Alimentación de Corderos Precocemente Destetados. Facultad de Ciencias

Agropecuarias y Forestales de la Universidad de Concepción, Sede Chillán. Chile.

Morales, N.F. 2010. Digestibilidad In situ de la Materia Seca del Forraje de Triticale (X Triticosecale Wittmack). Tesis, Licenciatura. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Pp.67.

Navarrete, A.A. 2005. Tasa de degradación y digestibilidad In Vitro de la Fibra en Detergente Neutro de Tres Híbridos de maíz Forrajero (Zea mays). Tesis, Licenciatura. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Pp. 37.

Núñez, G.H., C.R. Faz., C.F, González., R.A. 2003. Madurez de híbridos de maíz a la cosecha para mejorar la producción y calidad del forraje. Revista Técnica Pecuaria, Campo experimental la Laguna-INIFAP, EN Matamoros, Coahuila, México. Pp. 67-70.

Núñez, H. G. y B.J.E. Cantú. 2000. Producción, Composición Química y Digestibilidad del Forraje de Sorgo x Sudán de Nervadura Café en la Región Norte de México. Técnica Pecuaria México; 38(3):177-187.

Oria, M.P, B.R Hamaker., J.M. Schull. 2000. La Digestibilidad proteica in vitro de desarrollo y madurez del sorgo de grano en relación a la reticulación desulfuro de  $\alpha$ - $\beta$ - $\gamma$ -kafirina. J. Cereal Sci. 22: 85 -93

Orskov, E.R., Protein nutrition in 1982.ruminants Academic Press London. Pp.160.

Pérez, S. A. C., 1987. Cómo producir Forraje Verde Hidropónico. Editorial Diana, S. A. de C. V. México, D. F. PP. 35-76.

Peña, R. A; G. Núñez., F. González. 2002. Potencial forrajero de poblaciones de maíz y relación entre atributos agronómicos con la calidad. Pabellón Aguascalientes.<http://www.tecnicapecuaria.org/trabajos/200212173143.pdf>.

- Plourd, R. F. 1999. Adhere to forage NDF minimums. Dairy Heard Management. 36:44-45.
- Rodríguez R., H., E. C. Rodríguez M., A. Flores, I. Sánchez., A. Grado. 2003. Utilización del forraje verde hidropónico como suplemento para vacas lactantes durante la sequía. Hidroponía, Pp.147-149.
- Romerom, P.N.A.2009.Evaluación de dos niveles de reemplazo de ingredientes en dietas tradicionales por Forraje Hidropónico de Maíz (Zea mays L) para cerdos confinados en la fase de crecimiento y acabado. Tesis. Licenciatura Guayaquil – Ecuador .pp.48-49.
- Ramos, C. 1999. El uso de aguas residuales en riegos localizados y en cultivos hidropónicos. Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias. Valencia, España.pp.34.
- Ríos, C. N., Moreno, O. F., Torres, S. C. 2004. Manual Agropecuario. Biblioteca del Campo. Albalpe. Bogotá, Colombia. Pp. 45, 68 y 69.
- Samperio, R.G. 1997. Hidroponía Básica. Editorial Diana. México. D.F. pp.1-13.
- Sánchez, C.A. 1996. Informes Técnicos de Estadía. Informes Internos de la Dirección Nacional de Empleo (DINAE –Ministerio de Trabajo y Seguridad Social) Montevideo, Uruguay.
- Sánchez, C.A. 2001. Manual técnico “Producción de Forraje Verde Hidropónico”, Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Santiago, Chile. pp. 149
- Sánchez, C.F. y R.E.R. Escalante. 1988. Hidroponía. Universidad Autónoma de Chapingo. Tercera Edición. México, pp.11-27.
- Sepúlveda, R. 1994. Notas Sobre Producción de Forraje Hidropónico. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales de la Universidad de Concepción, Sede Chillán. Santiago, Chile.pp.14

- Shimada, M.A. 2010. Nutrición Animal. Editorial Trillas. 2ª, Edición. México.pp.32-33,185.
- Susmel, P.; B. Stefano, C.R. Mills. M. Spanghero. 1990. Rumen degradability of organic matter, nitrogen and fiber fractions in forages. Anim. Prod., 51: 515-536.
- Tarrillo, O. H. s/t.“Utilización del Forraje Verde Hidropónico de Cebada, Alfalfa en Pellets y en heno, como forrajes en la alimentación de terneros Hastíen en Lactación”. Tesis, Lic. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.Pp.45.
- Valdivia B. E. 1996. Producción de forraje verde hidropónico (FVH). Curso taller internacional de Hidroponía. Lima Perú, PP.25-29.
- Valdivia, B. E. 1997. Producción de Forraje Verde Hidropónico. Conferencia internacional en hidroponía comercial. Universidad Nacional Autónoma La Molina, de Agosto Lima, Perú.pp. 6-8.
- Vallati. S/f. Sorgo. Sitio argentino de Producción Animal. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Estación Experimental. Agropecuaria Bordenave. Buenos aires, Argentina. PP. 1-7
- Van Soest, P. J. 1994. Nutritional Ecology of the ruminant 2da. Edition, Cornell University Press United States. pp. 75,145.
- Wattiaux, M. 1991. D. Mertens, L, Sattter. Effect of source and amount of fiber on kinetics of digestion and specific gravity 74: 3872-3883.
- Wilkins, R. J. 1969. The potential digestibility of cellulose in forage and feces. Journal of Agricultural Science (Cambridge) 73: 57.
- Wilson, J. R. and C. W. Ford. 1973. Temperature influences on the in vitro digestibility and soluble carbohydrate accumulation of tropical temperate grasses. Australian Journal of Agricultural Research. 24:187-198.