



Universidad Nacional Autónoma de  
México

---

---

Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia

**RENDIMIENTO DE BIOMASA Y CONTENIDO  
QUÍMICO DE GERMINADOS DE AVENA, MAÍZ Y  
TRIGO CON DIFERENTES SUSTRATOS.**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**MEDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA**

**P R E S E N T A:**

**CARLOS MANUEL MONTALVO MOTOLINIA**



**ASESORES: MVZ. MPAT. AGUSTÍN ROBERTO BOBADILLA HERNÁNDEZ  
MVZ. JOSÉ EUGENIO MÁRQUEZ BUCIO**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## CONTENIDO.

	<b>Página.</b>
<b>RESUMEN.</b>	1
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	2
1.1 Antecedentes	2
1.2 Historia.	3
1.3 Definición del término hidroponía.	5
1.4 Instalaciones.	11
1.5 Solución nutritiva.	15
1.6 Sustratos y sus propiedades.	16
1.7 Características de la semilla para hidroponía.	19
1.8 Germinación.	22
1.9 Justificación	23
<b>2. HIPÓTESIS.</b>	24
<b>3 OBJETIVO.</b>	24
<b>4. MATERIAL Y METODO.</b>	25
4.1 Localización del sitio experimental.	25
4.2 Invernadero rustico (Germinadores)	25
4.3 Construcción de adobe.	26
4.4 Semillas utilizadas	26
4.5 Sustratos.	27
4.6 Desinfección del sustrato	28
4.7 Prueba de pre-germinación.	29
4.8 Manejo de la semilla para la hidroponía.	29
4.9 La siembra.	31
4.10 Riego.	31
4.11 Cosecha y toma de muestras.	32
4.12 Análisis estadísticos.	33
<b>5. RESULTADOS.</b>	34
<b>6. DISCUSION.</b>	40
6.1 Peso	40

6.2 Materia seca (MS)	40
6.3 Proteína cruda. (PC)	41
6.4 Extracto etéreo. (EE)	42
6.5 Ceniza (CEN)	42
6.6 Fibra cruda. (FC)	43
6.7 Elementos libres de nitrógeno (ELN)	44
6.8 Total de nutrientes digeribles. (TND)	44
6.9 Energía digerible. (ED)	45
6.10 Energía metabolizable. (EM)	46
6.11 Fibra neutra detergente. (FND)	46
6.12 Fibra ácido detergente. (FAD)	47
6.13 Lignina. (LIG)	48
6.14 Celulosa. (CEL)	48
6.15 Hemicelulosa. (HEM)	49
<b>7. CONCLUSIONES.</b>	51
<b>8. CONSIDERACIONES</b>	52
<b>9. GRAFICAS.</b>	53
<b>10. FOTOGRAFÍAS</b>	59
<b>11. LITERATURA CITADA.</b>	73

## Resumen.

**MONTALVO MOTOLINIA, CARLOS MANUEL. Rendimiento de biomasa y contenido químico de germinados de avena, maíz y trigo con diferentes sustratos. (Bajo la dirección de: MVZ MPAT Agustín Roberto Bobadilla Hernández y MVZ José Eugenio Márquez Bucio.**

Se utilizó rastrojo de Maíz (RM), paja de avena (PA) y viruta de madera (VM), como sustratos para evaluar su efecto sobre la composición química de Forraje Verde Hidropónico (FVH) de Avena, Maíz y Trigo, en un diseño factorial 3\*3, con dos repeticiones por tratamiento. Las semillas se lavaron y desinfectaron con hipoclorito de sodio, al 0.1% y, posterior a permanecer en remojo 24 h; se colocaron en charolas, cubriéndose con bolsas negras por 48 hrs. Después la semilla se distribuyó sobre el sustrato correspondiente con una densidad de 1kg/0.5m<sup>2</sup>. Se aplicó riego por 10 días, 2 veces al día. Al día 11, se regó por la mañana para evitar la acumulación de agua, ya que al día 12 se tomaron las muestras de tratamiento. Los análisis fueron químico proximal y fracciones de la fibra. Los datos se analizaron en el PROC GLM del paquete SAS y con la prueba de Tukey para las diferencias entre medias. El análisis mostró diferencia estadística por semilla y sustrato, pero sin interacción. Así para proteína cruda (PC), Avena fue menor (7.21%) que el Trigo (9.03%); para Extracto etéreo (EE) el Trigo (5.25%) fue menor que Avena y Maíz (6.85 y 6.60%, respectivamente). Mientras en Hemicelulosa (HEM), Avena y Maíz (18.03 y 18.81%, respectivamente) fueron menores que Trigo (21.17%). Los resultados por sustratos, evidenciaron que RM fue el de menor concentración de materia seca (MS), fibra cruda (FC), elementos libres de nitrógeno (ELN), total de nutrientes digestibles (TND), energía digestible (ED) y energía metabolizable (EM) y VM la de mayor concentración (P<0.05). Mientras que, para PC y EE, VM fue menor que RM. En cenizas, la VM fue menor (P<0.05) que PA. En cuanto a contenido celular (CC) y celulosa (CEL), PA fue menor (P<0.05) que VM. Lignina de RM fue menor que VM; en HEM, VM fue menor que RM. Con base en lo anterior, se concluye que el mejor sustrato fue PA y la mejor semilla fue el Trigo al favorecer una mayor concentración de PC y HEM, nutrimentos de buen aprovechamiento para los animales que puedan consumirlos.

# 1.- INTRODUCCIÓN.

La hidroponía es una buena opción en el sector agropecuario<sup>1</sup>, al disminuir la dependencia al suelo y a las condiciones climatológicas<sup>1,2</sup>; permitiendo que productores pecuarios cuenten con forraje verde de alta calidad<sup>3</sup> y de bajo costo durante todo el año<sup>4</sup>.

## 1.1.- Antecedentes

En la actualidad la población pasa por una crisis ecológica a causa de los diversos sistemas económicos y sociales desarrollados en los últimos 200 años, ya que se buscan producir gran cantidad de insumos con un mayor margen de ganancias, sin considerar el deterioro y agotamiento de los recursos naturales<sup>5</sup>. Lo anterior ha generado que en los últimos 50 años la actividad extractiva de recursos naturales haya degradado el 60 % de los ecosistemas del planeta por la sobre explotación, con tal de satisfacer la demanda de recursos que tiene la humanidad<sup>6</sup>.

Los modelos agropecuarios se ubican como uno de los principales responsables de dicha presión sobre los recursos naturales, ya que ha provocado el establecimiento y mantenimiento de sólo pocas especies vegetales, que aumenten la producción animal<sup>6</sup>. Afectando la biodiversidad, provocando que algunas especies se extingan<sup>7</sup>.

La intensificación de mono-cultivos ha provocado:

- 1- Disminución de los nutrientes por el aumento de la tasa extractiva.<sup>6,7</sup>
- 2- Disminución de la materia orgánica, por realizar técnicas de cultivo (temporal y riego) con labranza intensiva y prolongada de los suelos agrícolas.<sup>7</sup>
- 3- Incremento de la salinidad por exceso de fertilizantes.<sup>5</sup>
- 4- Agotamiento de las reservas freáticas en varias regiones del mundo y de nuestro país, por su utilización en la agricultura y para el consumo humano.<sup>8</sup>
- 5- Favorecer la persistencia de especies vegetales no deseadas, al presentar la habilidad de resistir la acción de herbicidas.<sup>9,10</sup>

- 6- Contaminación química por aumento del efecto residual (acidificación, alcalinización o salinización) tanto en el suelo como en el agua.<sup>5,8</sup>
- 7- Aumento de la patogenicidad de enfermedades y plagas por pérdida de sus controladores naturales<sup>7,11</sup>.

Ante esta situación se buscan opciones que recuperen la productividad y la sustentabilidad en el sector agropecuario.<sup>12</sup> Una opción con antecedentes históricos es la hidroponía.<sup>1</sup>

Dicha técnica permite, producir fácil y económicamente vegetales de excelente calidad, además de ayudar a conservar el medio ambiente.<sup>13,14</sup>

## **1.2 Historia**

El origen de la hidroponía tiene sus bases con la aparición de los pueblos agrícolas. Así en Cachemira en el lago Dal, al norte de la India, a partir de la cultura Indo hasta los pobladores actuales se practican dos sistemas de producción de hortalizas que se fundamentan, primero en cultivos cuyo sustrato se compone de capas alternadas de fango y hojas sobre canoas especiales que se desplazan fácilmente. Mientras que el segundo (conocido como “demb”) utiliza las raíces de los árboles como anclas de fijación del sustrato a base de humus, para formar franjas de tierra.<sup>15,16,17</sup> En Asia central desde el siglo IV los pobladores han germinado semillas y las han utilizado como alimento.<sup>18</sup> En América los Xochimilcas utilizaron la chinámitlpa (chinampa) en el lago de Chalco – Xochimilco.<sup>15,16,19</sup> Esta técnica alcanzo su máximo desarrollo durante el dominio Azteca, para la producción del maíz y de algunas hortalizas<sup>20,21,22</sup>

Se sugiere que existieron 3 tipos de construcción de chinampas:

- La primera consistía en rellenar espacios a la orilla del lago, depositando capas alternadas de fango y plantas acuáticas, con lo que se lograba gradualmente ganar terreno.<sup>15, 16</sup>
- La segunda técnica consistía en utilizar los islotes de tule que crecían en las orillas o en el interior del lago, se cortaba todo el forraje hasta dejar una zona plana, quedando al final del proceso una plancha de 60 cm por encima del nivel del agua.<sup>15, 16</sup>
- Y la última técnica, era utilizar las zonas menos profundas del lago donde se enterraban palos de árboles llamados Ahuejotes que formarían el armazón de la isleta, sirviendo posteriormente para captar el fango y plantas acuáticas del lago.<sup>15, 16</sup>

En Europa, al término de la edad media, el inglés John Woodward (1699), realizó investigaciones que ayudaron a inspirar al químico francés Jean Boussingault a encontrar los nutrientes para las plantas sin la necesidad de suelo.<sup>13, 23, 24</sup> Posteriormente Seachs y Knop proponen la Nutricultura (siglo XIX), y a principios del siglo XX el Dr. W.F. Gericke de la Universidad de California, acuñó el concepto de “hidroponía” durante la producción de jitomates suspendidos en agua con solución nutritiva.<sup>13, 24, 25</sup>

El apogeo de la hidroponía moderna inicio durante la segunda guerra mundial, al producir varias toneladas de verduras y cereales en invernaderos para los soldados.<sup>2, 23</sup> Terminada la guerra el uso de la hidroponía se extendió a todo el mundo teniendo los mejores resultados en países como Israel, Japón y la India.<sup>25</sup> Pero tras el incremento de los costos materiales por la crisis del petróleo de los años 60, se provocó que este sistema de cultivo fuera casi olvidado. Sin embargo actualmente ha retomado fuerza en diversos sectores sociales.<sup>23, 25</sup>



### 1.3 Definición del término hidroponía.

La palabra proviene de dos raíces griegas: hidros= agua y ponos= trabajo, “trabajo en agua” Es una planta que vive suspendida en agua y no requiere suelo<sup>2, 13, 26</sup>.

La hidroponía es una técnica de cultivo que provee a las plantas los nutrientes necesarios por medio de una solución acuosa que embebe a las raíces.<sup>2, 13, 25, 26</sup> Sustituyen el suelo por un sustrato de igual tipo y que va desde: líquidos, minerales y sintéticos.<sup>27, 28, 29</sup>

Este método se aplica en cualquier condición climática, produciendo diversos tipos de plantas durante todo el año y donde el suelo es un recurso limitado.<sup>2, 14, 24</sup>

Son muchas las ventajas que se tienen, pero las más representativas son:

- **Ahorro de agua:** no existe pérdida de agua de riego, por que se usa solamente la necesaria en los cultivos. Además el excedente en algunos tipos de riego pueden ser recuperados y reutilizados.<sup>13, 30</sup>
- **Mayor calidad del producto:** La planta al estar protegida de los diversos factores medio ambientales sufre menor desgaste de sus reservas nutritivas, por lo que orienta su metabolismo hacia el crecimiento.<sup>13, 14, 30</sup>
- **Ciclos cortos de producción:** como ejemplo: el forraje para la alimentación de los animales se puede obtener de 10 a 12 días post siembra.<sup>13, 30</sup>
- **Producción en cualquier temporada:** Al estar utilizando invernaderos nos permite la siembra de diversas especies de plantas en diferentes épocas del año.<sup>13, 14</sup>
- **Flexibilidad de los cultivos sólo con sustratos de tipos minerales o sintéticos:** Al no tener las limitaciones del suelo el sustrato puede ser rotado en diferentes cultivos utilizando los mismos sustratos en diversas ocasiones.<sup>13, 14, 30</sup>
- **Mayor control de los organismos patógenos:** Esta se obtendrá dependiendo del manejo que se le de a los materiales utilizados en la producción. No existe impacto ambiental: como es en el caso de la agricultura tradicional.<sup>13, 30</sup>
- **Rápida recuperación de la inversión:** al reducirse los costos de producción, por lo que se obtienen mayores beneficios económicos al corto plazo.<sup>13</sup>

- **Producción cercana a los centros de consumo:** esto permite que los productos no pierdan su calidad, al ser utilizados y consumidos más rápidamente.<sup>13</sup>

Dentro de los métodos modificados para realizar la hidroponía, destaca entre ellos, el que produce forrajes para el consumo animal. De nombre: “Forraje verde hidropónico”.<sup>13, 14, 30</sup>

### **1.3.1 Forraje verde hidropónico.**

El forraje verde hidropónico (FVH) es una tecnología de producción de biomasa vegetal de alta calidad nutricional, obtenida del crecimiento inicial de las plantas en los estados de germinación y crecimiento temprano a partir de semillas viables.<sup>1, 31</sup>

También se le llama tapete mágico por su presentación misma, y son semillas germinadas de 9 a 15 días de edad y de 15 a 20 cm de altura. Obtenidas en sitios con condiciones adecuadas de humedad, temperatura y ventilación.<sup>1, 31, 32</sup>

La producción de FVH es complementaria y no competitiva de los cultivos convencionales, representando una alternativa para alimentar animales como bovinos, caprinos, ovinos, equinos, lagomorfos y especies no tradicionales, etc.<sup>14, 26, 32</sup>

### **1.3.2 FVH en la alimentación animal.**

El FVH es un alimento de alta palatabilidad y de excelente valor nutritivo para los animales.<sup>1, 32</sup> Teniendo buenos resultados en trabajos realizadas por universidades, la iniciativa privada y campesinos interesados en desarrollar dicha tecnología.<sup>33</sup>

Se ha demostrado que es posible sustituir parcialmente la materia seca que aporta el forraje obtenido mediante métodos tradicionales, así como también aquel proveniente de granos secos o alimentos concentrados.<sup>33</sup>

### 1.3.3 Ventajas forraje verde hidropónico.

1. Producción programada de acuerdo a sus necesidades, disponiendo del alimento necesario para las épocas críticas.<sup>34</sup>
2. Reemplazo de los suplementos alimenticios (concentrados, heno, silo, etc.)<sup>34</sup>
3. Permite la semi-estabulación y la estabulación del ganado.<sup>34</sup>
4. Producción intensiva en espacios reducidos.<sup>34</sup>
5. Mínima mano de obra para su manejo.<sup>29, 34, 35</sup>
6. Efecto de estimulación para la secreción de la saliva por parte del animal, lo cual le permite digerir con mayor facilidad el resto del alimento.<sup>34</sup>
7. De los resultados reportados por la FAO destacan, el aumento significativo del peso vivo en corderos precozmente destetados al suministrarles dosis crecientes de FVH hasta un máximo de 300 gramos de materia seca al día. Comprobando que la ganancia diaria de peso en los animales esta relacionado con el mayor consumo de proteína y energía proporcionada por la ingesta de FVH.<sup>32</sup>
8. Aumento de la producción de leche y carne. Al sustituir parte de la ración por FVH (relación 50-50 %) obtiene una ganancia diaria de pesos de 623 gramos en promedio, hay un aumento en el volumen de leche entre el 12 y el 20 %, las mastitis se reducen un 40 %, el índice de fertilización aumenta un 16 %, y se observa una sustitución de las grasas amarillas por grasas blancas dándole una mejor presentación a la canal.<sup>44</sup>
9. La cría de aves domésticas (pollos, gallinas, patos, gansos, etc.) alimentadas con FVH de trigo con 6 días de germinación, presento una digestibilidad de la dieta mas uniforme con respecto al grano, el peso del huevo se incremento en un 20 % y la calidad de la carne de los animales alimentados con forrajes presentaron ventajas en cuanto a su conservación por la mayor acumulación de sustancias antioxidantes (tales como: ácido ascórbico, tocoferoles, tocotrienoles, carotenoides y polifenoles), valor dietético aumento notoriamente ya que esta carne es más magra y presenta un mayor contenido en ácidos grasos poli-insaturados del tipo omega 3.<sup>32, 36</sup>

10. En granjas de cerdos con alimentación exclusivamente con FVH de cebada, tardaron 3 días más en llegar al peso de mercado (99 Kg), con respecto a los alimentados con concentrado. Pero los costos por alimentación con FVH se reducen hasta en un 12 %.<sup>32</sup>
11. Los caballos de carreras, de tiro y caballos charros, se ha observado que al agregar FVH en su dieta aumenta la digestibilidad de los nutrientes al presentar concentraciones bajas de celulosa y lignina, además de ser un buen hidratante después de realizar un esfuerzo físico.<sup>32</sup>
12. La eficiencia del FVH es muy alta, ya que a partir de 22 kg de semillas de trigo (como ejemplo) es posible obtener en un área de 11,6 m<sup>2</sup> (1.89 kg semilla/m<sup>2</sup>.) con una producción de 112 kg de Forraje por día (9.65 kg FVH/m<sup>2</sup>/día en promedio).<sup>32</sup>

El único inconveniente en el FVH lo representa el exceso de humedad contenida en la planta, disminuyendo el porcentaje de materia seca consumida y favoreciendo desordenes digestivos. En este sentido, se busca que la combinación de esquilmos agrícolas como sustratos (pajas, rastrojos, bagazo de caña, etc) para el FVH, ayude a incrementar la velocidad de degradación ruminal para el esquilmo y disminuyéndola para el FVH.<sup>26, 34, 37</sup>

### **1.3.4 Características nutricionales del FVH.**

La calidad nutritiva de los forrajes puede cambiar dependiendo de diversos factores como son época de cosecha, edad, variedad, clima y manejo de la semilla.<sup>32</sup> Uno de los valores más significativos para comparar la calidad y el costo de un alimento, nos los proporciona el contenido de proteína en una ración.<sup>32, 38</sup> Y en el caso de un forraje verde hidropónico esta constituido por una proteína de bajo costo y de mayor disponibilidad para los animales.<sup>35</sup>

Esto se observa en los datos de varios análisis químicos proximales reportados, donde el FVH de trigo, avena, maíz y cebada contienen de 8.8 a 13.4 % de materia seca, de 11.54 a 26.3 % de proteína cruda,<sup>37</sup> aproximadamente 80 % de nutrientes digeribles totales<sup>37</sup> y un alto contenido de Beta-carotenos.<sup>26</sup>

Estos trabajos obtuvieron resultados muy similares, como el estudio realizado por Monroy,<sup>24</sup> quien evaluó los efectos de diferentes niveles de fósforo sobre la composición bromatológica y tasa de fermentación de forrajes hidropónicos de avena. Medina,<sup>39</sup> estudió el valor nutricional del forraje hidropónico de cebada con y sin micro-elementos a cuatro densidades de siembra en laboratorio. Fabregat,<sup>2</sup> observó el efecto que tenían los diferentes niveles de nitrógeno sobre la composición bromatológica y tasa de fermentación de forraje hidropónico de avena. Morga,<sup>26</sup> realizó la evaluación nutricional de cultivo hidropónico de avena y cebada, con rastrojo de maíz como sustrato, con y sin tratamiento de hidróxido de sodio. Ortega,<sup>37</sup> evaluó la calidad nutricional de forraje hidropónico de cebada y avena, con bagazo de caña como sustrato.

**Cuadro 1. Análisis Proximal de 3 FVH, citados en la literatura.**

<b>Análisis proximal</b>			
	<b>Maíz sin sustrato</b>	<b>Trigo sin sustratos</b>	<b>Avena sin sustrato</b>
Proteína	12.26 %	18.49 %	10.37 %
Humedad	77.65 %	85.95 %	85.71 %
Cenizas	1.84 %	3.25 %	5.35 %
Fibra	8.87 %	17.86 %	20.11 %
Extracto Etéreo	4.25 %	2.60 %	3.85 %
Materia Seca	22.35 %	14.05 %	14.29 %
E.L.N	72.78 %	57.80 %	60.32 %

(25)

### **1.3.5 Costos de producción del FVH**

Es importante conocer los costos de producción de los cultivos, ya que esto determina si el FVH como alimento garantiza obtener beneficios nutricionales en los animales.<sup>32</sup>

Para conocer estos costos, en la literatura mencionan que hay que tomar en cuenta los siguientes elementos.<sup>32</sup>

### 1.3.5.1 Infraestructura y costos de producción.

- 1) Instalaciones: El tamaño y los materiales dependen de la capacidad económica del productor. <sup>32</sup>
- 2) Servicios básicos: Agua, luz, drenaje, vías de comunicación, etc. <sup>32</sup>
- 3) Semillas: su precio dependerá de la época del año y su disponibilidad en la zona.
- 4) Sistemas de riego: si son tecnificados o manuales. <sup>32</sup>
- 5) La mano de obra: se tomará en cuenta si se proporciona un sueldo. Mano de obra de origen familiar (parientes) o ayuda voluntaria, no son considerados. <sup>32</sup>
- 6) Estanterías: se considera sus dimensiones, el tipo y la calidad del material (nuevo o de rehusó) <sup>32</sup>
- 7) Plásticos y mallas de sombra: el costo varia dependiendo de la calidad del material. <sup>32</sup>
- 8) Equipos complementarios: Son elementos que pueden no ser indispensables para nuestros cultivos, depende su adquisición del presupuesto inicial y del tipo de instalaciones. (termómetro, Mochila con riego mecánico, tanques de plástico, estufa calefactor, cosechadoras, micro-picadora, etc.) <sup>32</sup>
- 9) Soluciones nutritivas: de alto valor económico. Se requieren de conocimientos técnicos especializados. <sup>32</sup>
- 10) Sustratos: al igual que la semilla su costo dependerá de su disponibilidad en la zona. <sup>32</sup>
- 11) El cálculo económico será realizado en base a los recursos mínimos necesarios. <sup>32</sup>

(Los materiales y productos obtenidos por donación no deberán ser considerados en los costos de producción) <sup>32</sup>

De acuerdo a los datos anteriores se puede estimar el costo total de FVH por m<sup>2</sup>. Recordando que 1 m<sup>2</sup> rinde un promedio de 20 Kg de biomasa vegetal fresca, calculando un periodo de cosecha no mayor a los 14 días. <sup>32</sup>

La FAO planteo un modelo teórico, donde el FVH fue obtenido en un invernadero totalmente tecnificado con todos los servicios, obteniendo un costo total por m<sup>2</sup> de \$ 14.7 pesos (2.2 a 2.9 centavos en BS). El precio por cada kilo de FVH seria de \$ 0.735 centavos (0.11 a 0.147 centavos en BS).<sup>32</sup>

Otros trabajos de investigación realizados en Chile y México, señalan que sus costos de producción en invernaderos tecnificados oscilaron entre \$12.18 pesos por m<sup>2</sup> (1.83 a 2.44 centavos en BS). El costo por kilogramo de FVH fue de \$0.609 centavos (0.0913 a 0.1218 centavos en BS).<sup>32</sup>

#### **1.4 Instalaciones.**

Las instalaciones para una producción de forraje verde hidropónico deben de reunir ciertas características que no presentan grandes requisitos técnicos ni económicos.<sup>4</sup>

Existiendo una amplia variedad de construcciones que van desde las que son de tipo rudimentario con madera y plástico, hasta los sofisticados modelos digitales.<sup>32, 38</sup> Pero en ambos casos deben lograr aportar a los cultivos la humedad relativa, temperatura, luminosidad y nutrientes necesarios para la planta.<sup>29</sup>

Tales como:

- a) **Ubicación:** Lo más cercano a los animales para ahorrar tiempo, mano de obra y disminución de desperdicios, con una orientación de norte a sur si el terreno lo permite.<sup>4</sup>
- b) **Dimensiones:** Estas dependen de la población animal que se pretenda alimentar.<sup>29</sup>
- c) **Disponibilidad:** El agua para cultivos hidropónicos puede ser de pozo, lluvia, potable, ríos, arroyos, aljibes o cisternas.

Si existen dudas del origen del agua lo adecuado es colocar tanques de sedimentación y lámparas de luz ultravioleta (UV). Otro método es agregar 1 ml de cloro (cloruro de sodio) por cada litro de agua y a las 3 horas se aplica oxígeno para desinfectar. Aunque, también se puede espolvorear cal, la cual agrupará sólidos disueltos y los precipitará.<sup>4</sup>

- d) **Ventilación:** Es deseable tener una ventilación de al menos 40 % en el ambiente para evitar la proliferación de colonias de hongos.<sup>4</sup>
- e) **Materiales para su construcción:** Pueden ser carrizos, bambúes, morillos, costeras, polines, polietileno, dependiendo de la zona a implementarse, donde el tamaño y la forma estará basada en las necesidades.<sup>4</sup>

### 1.4.1 Estanterías y contenedores.

Son los recipientes con una regular capacidad donde se depositará el sustrato (agregado),<sup>32</sup> la solución nutritiva y las semillas a cultivar.<sup>29</sup> Existen muchos materiales que pueden ser utilizados, como: madera, plástico y metal.<sup>38,40</sup>

Estos son necesarios para facilitar la germinación y manejo de las semillas, y se pueden utilizar materiales económicos y fáciles de obtener<sup>32</sup>, siendo los más usados:

- **Cajas de madera (cajas de frutas y verduras):** Estas deben de ser de rehusó para disminuir costos, siendo lo ideal de .40 m de ancho x .60 m de largo x .20 m de alto. En las condiciones en las que se encuentran no sirven como contenedores, por lo que se realizaran ciertas modificaciones, como colocar un forro de plástico negro en su interior con una o varias perforaciones para el drenaje, aplicarle un recubrimiento epóxico de polietileno o a base de emulsiones acrílicas, para que la caja de madera pueda durar hasta 3 años.<sup>4</sup>
- **Contenedores o tapas de materiales plásticos, metálicos, inoxidable, poli-estireno, etc:** Son caros estos materiales si son nuevos, pero mas económicos que las cajas de madera si se consiguen como materiales de desecho. Son muy duraderos y no requieren de impermeabilizante, pero estos deben de ser de colores opacos para evitar la entrada de la luz directamente en la raíz de la planta<sup>44</sup>. No hay restricción en cuanto a la forma y tamaño, pero de preferencia se busca tener una largo de .30 a .60 m x .15 a .20 m de profundidad en el caso de cultivos de hortalizas<sup>44</sup>. En el forraje verde hidropónico el largo y el ancho es muy parecido a las medidas anteriores pero la profundidad puede ser de .05 a .06 m.<sup>29</sup>



- **Contenedores de piso:** se pueden utilizar en pequeñas y grandes producciones, ya que es una técnica económica al no utilizar contenedores de madera o de material plástico.<sup>32, 40</sup> Esta consiste en colocar una o varias zanjas sobre el piso recubiertas de cemento o plástico, con un desnivel de .03 a .05 m para el fácil flujo de los líquidos al drenaje.<sup>40</sup> De preferencia el ancho debe de ser de .80 a 1 m dependiendo de la clase de cultivo. Se pueden colocar dentro de invernaderos o a campo abierto (depende de las condiciones climáticas).<sup>32, 40</sup>
- **Costales de azúcar o harina:** Se considera el material más económico y fácil de realizar. Consiste en construir una estructura metálica hecha de ángulo y alambre, donde se fijan una serie de costales (de los que contienen azúcar, frijol, sal, etc) cocidos unos con otros en tramos rectangulares y colocados en forma de hamaca. No necesita de las perforaciones para el drenaje, ya que su tejido o enmallado plástico es semiabierto, permitiendo el libre flujo del agua al suelo o algún contenedor, siendo ideales para riegos de tipo aspersión o inundación, evitando encharcamientos dentro de los contenedores.<sup>4</sup>

Las estanterías se pueden hacer de acero, fibra de vidrio, latón, etc, siendo su única función la de brindar una mayor área de cultivo, aprovechando así al máximo los espacios donde se mantendrá la producción.<sup>32, 38</sup> Los costos de construcción de estos se reducen al utilizar materiales en desuso o de desecho.<sup>4</sup>

### 1.4.2 Tipos de riego

En dicha producción de FVH, el riego es uno de los factores con mayor relevancia al cubrir la demanda diaria de agua por parte de la planta, manteniendo su sobre-vivencia y desarrollo hasta la cosecha.<sup>29</sup> Utilizando sistemas que van desde los manuales como las regaderas, hasta los mas sofisticados con control automático de dosificación de nutrientes y agua.<sup>4</sup>

Son 4 tipos de riegos los más utilizados.

1. **Aspersión:** es un sistema donde el agua llega a las plantas en forma localizada.<sup>5</sup> Se pueden encontrar de aspersión con motor o manual. La cantidad de agua requerida es menor en comparación a la del riego por surcos o por inundación, de fácil maniobrabilidad y se puede dosificar el agua con una buena presión.<sup>29</sup> El costo dependerá del tipo de cultivo, la cantidad a producir y la capacidad económica.<sup>4, 29</sup>
2. **Goteo:** El costo de este sistema se equilibra entre la inversión y el ahorro de la mano de obra.<sup>4</sup> Este tipo el riego también es localizado, aplicando el agua en una zona definida cerca de la raíz de la planta.<sup>41</sup> Teniendo como ventaja el reducir la pérdida de agua por la evaporación y tener mejor control en la dosificación de nutrientes.<sup>42</sup> El líquido será distribuido en cada planta por una red de tubos y válvulas de goteo.<sup>41</sup>
3. **Gravedad:** Método en el cual el agua va de un sector a otro utilizando las pendientes naturales o artificiales del terreno.<sup>29</sup> En el caso de la hidroponía, se puede preparar una serie de estantes de manera escalonadas.<sup>4</sup> Cada contenedor tendrá un drenaje, y en el primero se le agregará una cantidad suficiente de agua que por gravedad bajará y regará cada charola o estante.<sup>4</sup> La ventaja de este sistema es que una gran cantidad de agua puede ser recuperada y tener una recirculación continua, pero no es recomendable en zonas áridas ya que se pierde mucha humedad por la evaporación.<sup>4</sup>
4. **Nebulización:** Sistema en forma de roció, mediante el cual el líquido a utilizar sale a presión por medio de unas boquillas especiales. Solo se observa en instalaciones tecnificadas siendo estas de alto costo, pero no deja de ser uno de los más eficientes en cuanto al ahorro de agua.<sup>4</sup>

### **1.4.3 Eficiencia de uso de agua.**

La cantidad de agua requerida para producir un kilogramo de forraje fresco en 12 días es de 4 a 5 litros en instalaciones rústicas. Mientras en cultivos hidropónicos tecnificados la cantidad del vital líquido disminuye hasta solo utilizar de 2 a 3 litros.<sup>32</sup>

### **1.5 Solución nutritiva.**

Estas pueden ser preparadas por los mismos agricultores con cierta experiencia en el manejo de estos productos, como para justificar la alta inversión en materias primas para su preparación.<sup>13</sup>

Para una mejor conversión de semilla a forraje, la planta desde que inicia la fotosíntesis necesitará de la ayuda de ciertos minerales para completar sus procesos metabólicos.<sup>13</sup>

No hay una solución nutritiva ideal, por lo que la selección de ésta dependerá de diversos factores como: la solubilidad de los minerales, disponibilidad en el mercado, tipo de sustrato, especie y variedad del cultivo, estado y desarrollo de la planta, época del año (foto período), clima, etc.<sup>13</sup>

**Cuadro 2. Se muestra una formula sugerida en la literatura de sales minerales para la producción de forraje verde hidropónico, en solución de 500 litros de agua. <sup>4</sup>**

Minerales	Formula	Gramos
Nitrato de potasio	KNO <sub>3</sub>	83
Fosfato de amonio	NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	18
Cloruro de calcio	CaCl	72
Sulfato de magnesio	MgSO <sub>4</sub> H <sub>2</sub> O	30
Sulfato ferroso	FeSO <sub>4</sub> 7H <sub>2</sub> O	6.5
Nitrato de sodio	NaNO <sub>3</sub>	40
Sulfato de manganeso	MnSO <sub>4</sub>	0.01
Sulfato de zinc	ZnSO <sub>4</sub>	0.02
Sulfato de cobre	CuSO <sub>4</sub>	0.02
Ácido bórico	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	0.02
Total		250.05

## 1.6 Sustrato y sus propiedades

El término sustrato (o agregado) se emplea en el sistema hidropónico para definir todo los materiales sólidos distintos al suelo, que sirven de sostén a la planta. <sup>29, 38</sup>

Sus ventajas sobre los cultivos tradicionales son:

- **Retención humedad:** Evita la evaporación rápida del agua. <sup>13</sup>
- **Protección:** cubre la semilla de la luz directa durante los primeros 3 días de la germinación. <sup>13</sup>
- **Medio de anclaje:** las partículas ofrecen la estabilidad necesaria para que se fijen las raíces en estos materiales. <sup>13</sup>
- **Ventilación:** Favorece el libre intercambio de gases (como el CO<sup>2</sup> y O<sup>2</sup>) de la planta con el ambiente. <sup>13, 38</sup>
- **Confort:** Proporciona a la semilla un microclima adecuado para su desarrollo. <sup>13</sup>

- **Permite una mayor sanidad y limpieza en los cultivos;** ya que los sustratos tratados deben de disminuir el desarrollo de algunos microorganismos patógenos.

13

### 1.6.1 Tipos de sustratos.

Los sustratos se clasifican de acuerdo a su origen:

- a) **Orgánicos:** Son las cascarillas, la viruta, serrín, rastrojos y pajas. Es posible que se degraden en poco tiempo, presentando problemas al permitir el desarrollo de microorganismos patógenos.<sup>29</sup>
- b) **Inorgánicos o minerales:** son la arena, grava, tezontle, piedra pómez, carbón mineral, basalto, perlita, vermiculita, ladrillo triturado o lana de roca. Estos pueden reutilizarse, mezclarse con otros materiales y desinfectarse con mayor facilidad.<sup>29</sup>
- c) **Sintéticos:** El hule espuma, esponjas de polipropileno, poliuretano, polietileno, entre otros.<sup>29</sup>

En este sentido, el agua y el aire que circula entre las raíces se distribuyen en el sustrato dependiendo de la estructura y del tamaño de las partículas.<sup>29</sup> La estructura es el esqueleto del sustrato formado por los agregados de las partículas, mientras el tamaño en general se compone de cuerpos pequeños y grandes.<sup>41</sup>

Los espacios entre los sustratos pueden ser de dos tipos:

- **Poros capilares:** Cuando los espacios son pequeños, ideales para retener la humedad.<sup>29</sup>
- **Macroporos:** son espacios grandes entre las partículas, que permiten un rápido drenado de los líquidos, favorecen la ventilación y la oxigenación de las raíces.<sup>29</sup>

El tamaño del sustrato determina el comportamiento de la humedad, ya que si tenemos partículas muy pequeñas se podría llegar a un punto de saturación, donde el oxígeno no podría distribuirse libremente.<sup>41</sup> Caso contrario de las partículas de mayor tamaño, que por el peso y la rápida evaporación del agua evitarían que las plantas presenten un desarrollo adecuado.<sup>41</sup>

No existe un sustrato ideal y ni tamaño uniforme, cada uno presenta una serie de ventajas e inconvenientes. Y su elección dependerá de las características del cultivo y las variables ambientales de las instalaciones.<sup>29</sup>

En la literatura se recomienda que la partícula del sustrato tenga un tamaño no inferior a 0.5 mm y no superior a 7 mm<sup>29,40</sup>

### **1.6.2 Sustratos utilizados para el FVH.**

Los sustratos orgánicos son los más utilizados, como es el caso de:

**Viruta de madera:** Es madera desmenuzada en pequeñas tiras que pueden variar de tamaño.<sup>13</sup> Al utilizarse como sustrato su capacidad de retención de humedad puede variar.<sup>13</sup> Se recomienda no utilizar maderas de color rojo ya que estas pueden ser tóxicas para la raíz de las plantas y por ende afectarse el crecimiento y desarrollo del cultivo.<sup>43</sup> No utilizarlo para el consumo de algunos rumiantes, al contener altos índices de celulosa y lignina.<sup>44</sup>

**Esquilmos:** son insumos que se conforman por el tallo y una cantidad variable de hojas de las plantas que quedan después de haber retirado la semilla. Cuando se originan de trigo, cebada, centeno, arroz y avena, se le nombra paja.<sup>45</sup>

Las pajas son extremadamente fibrosas conteniendo muy poca energía digerible y metabolizable, por su concentración elevada de lignina, celulosa y hemicelulosa. Es deficiente en vitamina A, D, calcio, fósforo, proteínas y minerales.<sup>45, 46, 47, 48, 49</sup>

Por lo que se recomienda utilizar en dietas muy concentradas y como alimento base en el invierno.<sup>45, 46, 47, 48, 49</sup>

Esquilmo con nombre particular, es el que proviene del maíz y se le llama “rastroy”. El cual presenta una escasa calidad nutritiva debido al proceso de maduración, ya que se mantiene en el campo aunque ya se haya cosechado la mazorca o el grano.<sup>45, 46</sup>

### **1.7 Características de la Semilla a utilizar en hidroponía.**

La semilla es una estructura que se encuentra en reposo y por lo regular deshidratada, compuesta de un tejido de reserva y rodeada por una cubierta impermeable.<sup>50</sup> Los procesos metabólicos se encuentran detenidos o interrumpidos (latencia) debido principalmente a la carencia de agua y oxígeno.<sup>50</sup>

Por lo cual la semilla, funciona como un mecanismo inhibitor del crecimiento, dando el tiempo necesario para su dispersión como medio de transporte y protegiendo la información genética de la planta contenida en el embrión.<sup>50</sup> Hasta encontrar las condiciones favorables para poder iniciar una óptima germinación.<sup>50</sup>

Hay 3 estructuras importantes que componen a la semilla:

- **Tegumento (Pericarpio o cubierta seminal):** Es la capa exterior de la semilla que la envuelve y protege del medio ambiente, es permeable y sólo permite la entrada de los líquidos cuando la cubierta exterior se humedece.<sup>4</sup>
- **Endospermo (Almidones):** Es el almacén de los nutrientes de la semilla, donde se encuentran los azúcares y almidones, que facilitan el desarrollo del embrión.<sup>4</sup>
- **Embrión:** Aquí se concentra toda la información genética de la planta.<sup>4</sup>

### **1.7.1 Avena (*Avena sativa*):**

Su valor nutritivo se refleja en la relación cascarrilla/ grano. La calidad nutricional de la avena puede ser variable dependiendo de los factores que afecten a la semilla durante su desarrollo, la avena es deficiente en algunos aminoácidos esenciales como la metionina, histidina y el triptofano, puede carecer de calcio, riboflavina, niacina, el contenido de potasio es regular, carece de carotenos y de vitamina D. Pero el aminoácido que más abunda es el ácido glutámico.<sup>45, 49, 51</sup>

El contenido de PC dependiendo del tipo de semilla varia entre 11 - 13.3 %, la energía metabolizable (EM) es de 2640 - 2710 kcal/kgMS y la energía digestible (ED) de 2770 - 3010 kcal/kgMS.<sup>45, 53</sup>

Una de las ventajas que presenta el grano ó semilla de avena es su adaptabilidad para ser cultivada en diversos climas, desde temperaturas de 4° C hasta 37 ° C y las cosechas son realizadas en múltiples estadios de maduración.<sup>51</sup>

### **1.7.2 Maíz (*Zea mays*):**

El maíz es uno de los cereales de mayor producción en el mundo y con la mejor aceptación como alimento para los animales domésticos. Existen diversas variedades de maíz en el mercado, siendo las más comunes el amarillo, blanco y rojo.<sup>45</sup> Estos dos últimos contienen una mayor cantidad de carotenos, xantofilas y pigmentos (como la criptoxantina, que es precursora de la vitamina A).<sup>45, 49</sup>

Es deficiente de vitamina B y de varios oligoelementos como Ca, Fe, Mn, Zn, pero tiene una concentración aceptable de vitamina E y fósforo, este último se encuentra por lo regular como ácido fitico el cual no es disponible para los monogástricos (<40%).<sup>46, 52</sup>

Es una fuente excelente de energía digestible, pero presenta a su vez ciertas limitaciones como alimento para el ganado, al presentar bajas concentraciones de proteína.<sup>45</sup> La energía metabolizable (EM) es considerable, (3420 kcal/kgMS) ya que el grano presenta deficiencias en la fibra pero es rica en almidones.<sup>45, 53</sup> Una excelente fuente de energía



digestible (ED) de 3525 kcal/kgMS, el contenido en proteína es bajo (8-14 %) y de mala calidad, siendo la Zeína (que constituye la mitad de la proteína del grano, con altos niveles de aminoácidos esenciales, deficientes en lisina y triptofano) y la glutelina (siendo más rica en aminoácidos que la zeína) de las más importantes.<sup>45</sup>

### **1.7.3 Trigo (*Triticum aestivum*):**

De los cereales más cultivados en el mundo junto con el maíz, de origen asiático.<sup>54</sup> La planta es constituida de una sola espiga, que puede ser cultivada en ciertas condiciones ambientales: a una altitud de 2500 metros sobre el nivel del mar, en climas calidos, secos, templados y semi-fríos dependiendo de la variedad.<sup>49, 54</sup> Pero muy difícilmente se desarrolla en el trópico.<sup>54</sup>

Dependiendo de la variedad de la semilla el contenido proteico oscila entre 6 - 22 %, la energía metabolizable (EM) entre 3210 - 3305 kcal/kgMS y la energía digestible (ED) de 3365 - 3450 kcal/kgMS.<sup>45, 53</sup>

Esta compuesto de un 82 % de endospermo, 15 % de salvado y 3 % de germen.<sup>45</sup> El contenido de proteína varía del 6 a 22 %, dependiendo la calidad de la semilla, el tipo de suelo y clima.<sup>45</sup> Estos factores le proporcionaran las características adecuadas para la producción de harina, además de ser una proteína de alta digestibilidad y porcentajes elevados de almidón.<sup>45</sup>

Las proteínas más importantes del trigo se encuentran almacenadas en el endospermo, siendo éstas: la prolamina (gliadina) y la glutelina (glutenina).<sup>45</sup> A este conjunto de proteínas se le denomina gluten y en él se encuentran los aminoácidos, siendo el ácido glutámico (33%) y la prolina (12%) las de mejor distribución en este cereal.<sup>45</sup>

## 1.8 Germinación.

La germinación es la reanudación del crecimiento embrionario produciendo una serie de transformaciones cualitativas y cuantitativas en la planta.<sup>4</sup> Con el objetivo de que se logre la aparición de la radícula, formación de las partes aéreas del vegetal como son las hojas, inicio de la fotosíntesis y la síntesis de minerales en la raíz.<sup>4</sup>

Durante la germinación se describen 3 fases importantes:

**1.- Imbibición (Absorción de humedad):** Reactivación del metabolismo embrionario que se encuentra latente al entrar en contacto con el agua (humedad).<sup>4, 54</sup> Se inicia la respiración e intercambio gaseoso de la semilla.<sup>4</sup>

**2.- Movilización de nutrientes:** Cuando la semilla tiene cierto volumen (hinchazón) a causa de la humedad absorbida, se da inicio a la actividad enzimática donde los almidones son transformados en azúcares, lípidos y proteínas, siendo estos últimos nutrientes conformados por los aminoácidos.<sup>4</sup> El intercambio gaseoso es constante y la energía es disponible para el embrión.<sup>4</sup>

**3.- Crecimiento (Diferenciación de tejidos):** La actividad enzimática y la disponibilidad de energía inician un acelerado crecimiento celular, dando origen a las primeras estructuras diferenciadas. Estas son radícula (raíz) y la plúmula (tallo).<sup>4, 55</sup>

Para lograr una buena germinación de la semilla se requeriría que cubriese ciertas condiciones tales como:

- **Madurez:** Para obtener adecuados resultados, es pertinente conocer el origen de la planta, fechas de siembra, edad de la cosecha y el tiempo de secado de la espiga con la semilla. Estos datos son importantes para conocer la calidad y el tipo de germinación que se espera.<sup>4</sup>

- **Integridad:** semillas dañadas, fragmentos del endospermo y tegumento no son los mas adecuados en una producción de forraje hidropónico, ya que se convertirían en excelentes medios de cultivo para hongos y bacterias. <sup>4</sup>

- **Ausencia de plagas:** un orificio causado por insectos, que ocupe más de la mitad de la cubierta de una semilla, tendrá poca o nula capacidad de germinación. <sup>56</sup>

- **Libres de pesticidas, fungicidas y plaguicidas:** estos elementos son tóxicos al ser ingeridos por el ganado, ya que su tiempo de disolución en agua es mayor a 40 días. Y un forraje hidropónico es cosechado en tan solo 12 días. <sup>4, 14</sup>

### **1.9 Justificación**

Al producir forraje verde hidropónico utilizando esquilmos forrajeros como sustrato, se lograra obtener forraje con una composición química aceptable y una calidad nutricional idónea. Con la alternativa de que es una técnica al alcance de pequeños productores, garantizando la producción continúa todo el año para alimentar animales de forma constante.

## **2. HIPÓTESIS.**

El rendimiento de biomasa y contenido químico de germinados de avena, maíz y trigo es afectado por el tipo de sustrato utilizado.

## **3. OBJETIVO.**

Determinar el rendimiento de biomasa y contenido químico de germinados de avena, maíz y trigo con diferentes sustratos.

## 4.- MATERIAL Y MÉTODOS

### 4.1 Localización del sitio experimental.

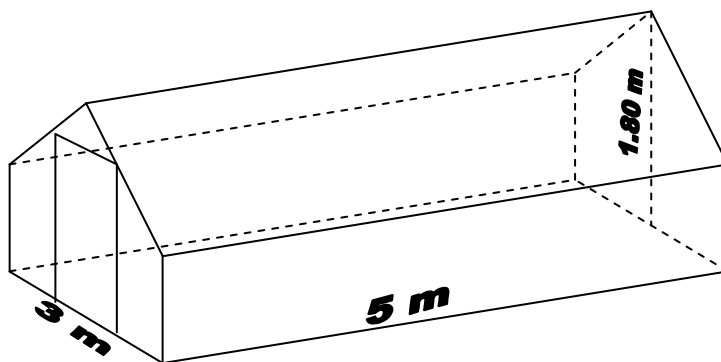
El trabajo de investigación se desarrolló en dos etapas:

La primera, se realizó en el C.E.I.E.P.A.A. Rancho San Francisco, de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la U.N.A.M. que se localiza en la carretera Chalco-Mixquic Km. 2.5, en el Municipio de Chalco de Covarrubias en el Estado de México, a  $19^{\circ} 15' 53''$  latitud norte,  $98^{\circ} 54' 14''$  oeste del meridiano de Greenwich, a una altura sobre el nivel del mar de 2260 m. Presentando un clima templado sub-húmedo (Con una precipitación pluvial anual de 600 a 700 mm. La temperatura anual oscila entre  $12$  y  $18^{\circ}$  C).<sup>23</sup>

La segunda etapa, se llevó a cabo en el laboratorio de Bromatología del Departamento de Nutrición Animal y Bioquímica de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la U.N.A.M.<sup>23</sup>

### 4.2 Invernadero rústico (Germinadores).

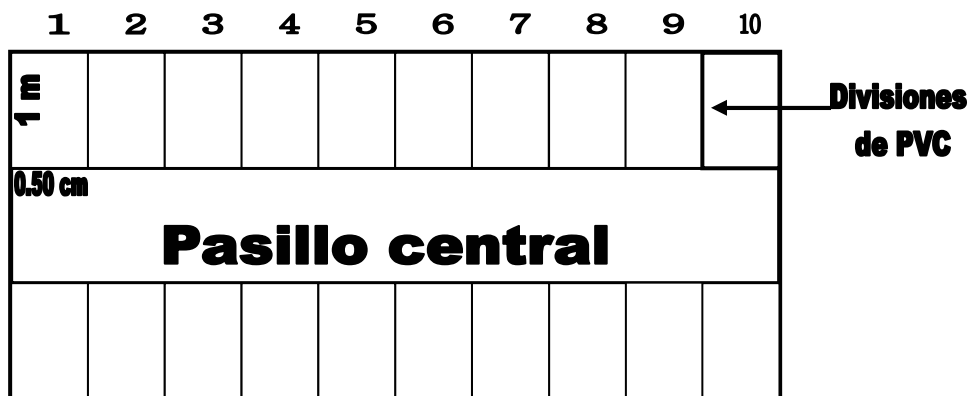
El armazón es de madera y cubierta de plástico blanco, dejando ventilas y una puerta frontal. Con las siguientes dimensiones de; 5 m de largo x 3 m de ancho x 1.8 m de altura. (Fig. 1)<sup>4, 29, 32</sup>



**Fig 1. Invernadero rústico.**

En dicha construcción, a nivel de piso se montaron 2 contenedores para la siembra. Estos median 4.5 m x 1 m, para su construcción se utilizó plástico negro y madera. (Fig 2) <sup>29, 32,</sup>

33



Las divisiones fueron de tubo de PVC, cada 50 cm, para obtener 40 compartimientos. <sup>29,</sup>

32

### 4.3 Construcción de adobe.

La construcción de adobe presenta las siguientes medidas: 11.60 m largo x 4.40 m de ancho x 2.50 m de alto. Se dispusieron de anaqueles metálicos de 5 m de largo x 0.55 m de ancho x 0.70 m de alto y un declive de 1 %. En la cual se colocaron charolas de plástico de 0.61 m de largo x 0.41 m de ancho x 0.04 m de profundidad, con perforaciones para el drenaje. <sup>4</sup>

### 4.4 Semillas utilizadas.

Se utilizaron semillas de avena (*Avena sativa*) <sup>57</sup>, maíz (*Zea mays*) <sup>57</sup> y trigo (*Triticum aestivum*). <sup>14, 57</sup>

En la zona de Chalco-Mixquic, estas semillas son fáciles de obtener, ya que su cultivo se encuentra muy difundido, su costo por kilogramo no fue elevado, son resistentes al clima del lugar y son las que presentan una facultad germinativa mayor que otras semillas. <sup>18, 26</sup>

## 4.5 Sustratos.

Se utilizaron sustratos disponibles en la zona Chalco-Mixquic. Siendo: rastrojo de maíz,<sup>23, 26</sup> paja de avena<sup>45</sup> y viruta de madera.<sup>29, 40</sup>

Para poder conocer la cantidad adecuada de sustrato en las diferentes semillas utilizadas se realizaron los siguientes pasos:

### 4.5.1 Charolas

- a) Pesaje de la charola vacía.
- b) Colocación de la primera capa de sustrato cubriendo el área del fondo de la charola.
- c) Pesaje de la charola con el sustrato
  - a) Obtención del peso total de la primera capa de sustrato,(se resto el peso inicial del peso final de la charola para obtener el peso total).
  - e) Colocación de una lámina de polietileno “con la finalidad de separar las dos capas de sustrato a utilizar”, y nuevo pesaje de la charola.
  - F) Aplicación de la segunda capa de sustrato sobre la lámina de polietileno, cubriendo perfectamente toda la superficie de la charola.
  - g) Registro del pesaje final de la charola completa (restando los pesos obtenidos de la primera capa de sustrato, menos el peso de la lámina de polietileno y el peso de la charola, obteniéndose el peso real del sustrato a utilizar).

Estas actividades se repitieron en los 3 diferentes sustratos.

### **4.5.2 Contenedores de piso.**

En el caso del sustrato para los contenedores de piso se aplicó la misma técnica, pero con algunas diferencias:

- a) Pesaje de un costal plástico vacío (alimento comercial )
- b) Poner al costal dentro de una división de los contenedores del invernadero.
- c) Colocación de la primera capa de sustrato cubriendo el área del fondo del costal.
- d) Pesaje del costal con el sustrato
- e) Obtención del peso total de la primera capa de sustrato. (se resto el peso inicial del peso final del costal para obtener el peso total).
- f) Colocación de una lámina de polietileno (con la finalidad de separar las dos capas de sustrato a utilizar) y nuevo pesaje del costal.
- g) Aplicación de la segunda capa de sustrato sobre la lámina de polietileno, cubriendo perfectamente toda la superficie.
- h) Peso final del conjunto (restando los pesos obtenidos de la primera capa de sustrato, menos el peso de la lámina de polietileno y el peso del costal, obteniéndose el peso real del sustrato a utilizar).

### **4.6 Desinfección del sustrato**

Previo a la siembra, se implementó la técnica de desinfección de la semilla en el sustrato<sup>1</sup>, siendo sumergido en agua por 24 horas, agregándole 1 mililitro de hipoclorito de sodio al 6% por litro de agua.<sup>26</sup> Esto serviría para homogeneizar la humedad en los sustratos y eliminar algunos contaminantes solubles.<sup>13, 40</sup> Pasadas las 24 hrs. el agua es retirada del sustrato y se mantenían en el recipiente hasta el momento de la siembra<sup>1</sup>



## 4.7 Prueba de Pre-germinación.

Esta se utilizó para comprobar el porcentaje de germinación por cada tratamiento; se elaboró la inhibición y desinfección de las semillas al mismo tiempo.<sup>4, 14, 58</sup>

Para efectuar la técnica de la germinación se utilizaron 3 charolas de plástico de 28 cm. de largo x 20 cm. de ancho x 4.50 cm. de profundidad, 9 hojas de papel filtro, 3 hojas cuadrículadas, un atomizador de agua, 3 bolsas de plástico negro, un bolígrafo y un block de anotaciones.<sup>14, 58</sup>

En cada charola se colocaron 100 semillas por cada especie, retirando las impurezas. Las cuales habían sido previamente tratadas con una solución de hipoclorito de sodio (al 6%), disueltas en agua por 24 hrs. Y al término de este lapso el líquido fue retirado. Se aplicó diariamente agua con la técnica de aspersión, dos veces al día.<sup>14, 58</sup>

Al sexto día se observó el desarrollo de la radícula en las semillas, y se procedió a realizar el conteo para conocer de esta manera el porcentaje de germinación. (Cuadro 8)  
<sup>14, 58</sup>

**Formula = No. plantas germinadas / No. Semillas totales x 100**

## 4.8 Manejo de la semilla para la hidroponía.

### 4.8.1 Densidad de siembra.

Con base en los resultados de germinación, se ajustó la cantidad de semilla por especie a sembrar, siendo esta de 1 Kg. /0.5 m<sup>2</sup>. En el invernadero, se sembraron 9 superficies de avena, 9 de Maíz y 9 de trigo.<sup>32</sup> Por consiguiente en el cuarto de adobe se utilizaron 18 charolas de trigo, con los tres sustratos.<sup>32</sup> (2 charolas es igual a 0.5 m<sup>2</sup>)

## **4.8.2 Limpieza de la semilla**

Cada grupo de semilla se colocó en un recipiente con agua, para retirarle las impurezas. <sup>1,</sup>

<sup>4, 32</sup>

## **4.8.3 Germinación**

### **4.8.3.1 Desinfección.**

Todas las semillas permanecieron 24 horas en una solución de 0.1 % de hipoclorito de sodio comercial (común al 6 %) <sup>1, 2, 4, 14, 29, 32</sup>

### **4.8.3.2 Imbibición.**

La imbibición se llevo a cabo simultáneamente con la desinfección por 24 horas. En este lapso toda la semilla y basura que flotó en la superficie, fue colectada inmediatamente. Posterior a las 24 horas el agua fue retiraba de los recipientes, dejando las muestras escurrirse a temperatura ambiente por 2 horas <sup>1, 4, 14, 32</sup>

Se realizaron dos actividades distintas al mismo tiempo, siendo la desinfección e imbibición de la semilla para disminuir el gasto de agua que se produce al realizar dichas actividades.

### **4.8.3.3 Pre-germinado.**

Posteriormente la semilla fue distribuida uniformemente en una charola de plástico sin sustrato creando una delgada lámina, la cual se introdujo en una bolsa de polietileno de color negro para favorecer la germinación y evitar la pérdida de humedad. <sup>4, 32</sup>

#### **4.9 Siembra.**

La técnica utilizada fue similar para las charolas como los contenedores de piso, de la siguiente manera:

- a) Colocación de la primera capa de sustrato o cama previamente tratada <sup>4, 23, 26, 37, 40</sup>
- b) Siembra de la semilla germinada. <sup>4, 23, 26</sup>
- c) Aplicación de la segunda capa de sustrato o capa protectora. <sup>23, 26, 37</sup>

#### **4.10 Riego.**

La cantidad de agua que se aplicó en cada tratamiento tanto en los contenedores de piso como en las charolas fue dividida en dos etapas:

1. La primera se realizó del día 1 al día 6; con 1 litro de agua en cada riego, efectuándose dos riegos diarios. <sup>1, 32</sup>
2. La segunda se llevó a cabo del día 7 al 11; ejecutándose dos riegos diarios en los diferentes contenedores, pero con cantidades diferentes de agua, en las charolas se agregaron 1.5 litros de agua y en los contenedores de piso fueron 3 litros. <sup>1, 32</sup>

#### 4.11 Cosecha y muestreo.

La cosecha se realizó en el 12° día, cuando ya estaba formada la alfombra de material vegetativo conjuntamente con un colchón radicular.<sup>1, 4, 32</sup>

Los pasos que se siguieron para obtener las muestras fueron los siguientes:

- a) Identificación y pesaje de las bolsas de papel para cada muestra.<sup>59, 60</sup>
- b) Selección y recolección de la porción de forraje representativo teniendo una medición estándar de 20 x 28 cm., calculando que siempre fuese el centro del contenedor, y abarcando hojas, raíz y sustrato.<sup>59, 60</sup>
- c) Se colocaron las muestras en bolsas de papel.<sup>59, 60</sup>
- d) Se efectuó un segundo pesaje de las muestras, registrando el contenido de humedad de las mismas.<sup>59, 60</sup>
- e) Las muestras fueron transportadas inmediatamente al laboratorio de Bromatología del Departamento de Nutrición Animal y Bioquímica de la Facultad de Medicina Veterinaria de la UNAM.<sup>59, 60</sup>
- f) Se obtuvieron porciones representativas por medio del método de cuarteo, y fueron deshidratadas en la estufa a 50 ° C, para el posterior análisis.<sup>59, 60</sup>

Todas las muestras fueron procesadas utilizando un molino tipo Wiley y almacenadas en bolsas de plástico para posteriormente realizar el análisis Químico Proximal y el análisis de fracciones de la fibra o de Van Soest.<sup>59, 60</sup>

## 4.12 Análisis estadísticos.

Los resultados se analizaron mediante un diseño completamente al azar, con un arreglo factorial 3 x 3 x 2, siendo 9 tratamientos con 2 repeticiones cada una; donde el factor es la especie vegetal: avena, maíz y trigo y el nivel serial del sustrato que se uso: rastrojo de maíz, paja de avena y viruta. El modelo para un diseño factorial fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + e_{ijk} \text{ siendo } i=1,2,\dots,a \quad j=1,2,\dots,b \quad k=1,2,\dots,r$$

Donde:

$Y_{ijk}$  = K-ésimo valor de la variable dependiente (comparación química proximal y paredes celulares de la materia seca)

$\mu$  = es la gran media  $\mu$ . (Media poblacional)

$\alpha_i$  = es el efecto del i-ésimo de especie. (Avena, maíz, trigo)

$\beta_j$  = es el efecto del j-ésimo de sustrato. (Rastrojo de maíz, paja de avena, viruta de madera)

$(\alpha\beta)_{ij}$  = es la interacción entre especie y sustrato.

El análisis de varianza de los datos se realizó en el PROC GLM del paquete SAS ver 8.0.

26, 61, 62

## 5. Resultados

De acuerdo al análisis de varianza de los datos obtenidos en los resultados del químico proximal y contenido de pared celular (%) de acuerdo a la técnica de Van Soest por tratamiento a los 12 días de crecimiento por especie sembrada. Se deben de considerar como alimentos con baja cantidad de MS y altos contenidos de elementos fibrosos, representados en los Cuadros 3, 4, 5 y 6:

**Cuadro 3. Composición nutricional en el efecto semilla de acuerdo al análisis de varianza a los 12 días de crecimiento de las especies sembradas.**

AQP	Avena	Maíz	Trigo	CME
Humedad	85.47 a	86.93 a	85.39 a	19.05179
MS	14.52 a	14.73 b	14.10 a	3.967567
PC	7.20 c	8.00 b	9.03 a	0.223506
EE	6.85 a	6.59 a	5.25 b	0.394106
CEN	5.95 a	4.83 a	5.79 a	1.665617
FC	38.32 a	33.86 a	37.53 a	13.27607
ELN	43.82 a	38.55 a	43.53 a	15.31267
TND	71.31 a	65.21 a	68.32 a	24.78476
ED kcal/kgMS	3144 a	2875 a	3034 a	46740.53
EM kcal/kgMS	2577 a	2357 a	2488 a	31421.5

AQP = Análisis químico proximal, MS = materia seca, PC = proteína cruda, EE = extracto etéreo, CEN = ceniza, FC = fibra cruda, ELN = elementos libres de nitrógeno, TND = total de nutrientes digeribles, ED = energía digestible, EM = energía metabolizable, CME = cuadrado medio del error. (a,b,c) literales diferentes en el mismo renglón indican diferencia estadística ( $P < 0.05$ ). (Gráficas: 1-9)

**Cuadro 4. Composición nutricional en el efecto sustrato de acuerdo al análisis de varianza a los 12 días de crecimiento de las especies sembradas.**

AQP	Paja de avena	Rastrojo de maíz	Viruta de madera	CME
Humedad	85.66 a	88.02 a	84.11 a	19.05179
MS	14.33 ab	11.97 b	17.05 a	3.967567
PC	8.78 a	9.35 a	6.10 b	0.223506
EE	6.01 b	7.18 a	5.50 b	0.394106
CEN	7.37 a	5.98 a	3.22 b	1.665617
FC	36.10 b	26.85 c	46.77 a	13.27607
ELN	43.95 a	37.39 b	44.56 a	15.31267
TND	69.77 ab	63.02 b	72.04 a	24.78476
ED kcal/kgMS	3076 ab	2778 b	3198 a	46740.53
EM kcal/kgMS	2522 ab	2278 b	2622 a	31421.5

AQP = Análisis químico proximal, MS = materia seca, PC = proteína cruda, EE = extracto etéreo, CEN = ceniza, FC = fibra cruda, ELN = elementos libres de nitrógeno, TND = total de nutrientes digeribles, ED = energía digestible, EM = energía metabolizable, CME = cuadrado medio del error. (a,b,c) literales diferentes en el mismo renglón indican diferencia estadística ( $P < 0.05$ ). (Graficas: 1-9)

**Cuadro 5. Composición química de la pared celular de acuerdo al análisis de varianza de las fracciones de la fibra (Van Soest) en semilla a los 12 días de crecimiento.**

AVS - Fracciones de fibra.	Avena	Maíz	Trigo	CME
FND	63.61 a	60.39 a	66.08 a	18.25128
CC	36.38 a	39.60 a	33.91 a	18.25128
FAD	45.58 a	41.58 a	44.91 a	14.57661
LIG	8.353 a	8.28 a	10.09 a	2.1827
CEL	37.12 a	33.16 a	34.68 a	11.34387
HEM	18.03 b	18.81 ab	21.17 a	2.75333

(a,b,c) literales diferentes en el mismo renglón indican diferencia estadística ( $P < 0.05$ ), AVS = análisis de Van Soest, FND = Fibra detergente neutra, CC = contenido celular, FAD = fibra ácida detergente, LIG = lignina, CEL = celulosa, HEM = hemicelulosa, CME = cuadrado medio del error. (Graficas: 10-13)

**Cuadro 6. Composición química de la pared celular de acuerdo al análisis de varianza de las fracciones de la fibra (Van Soest) en el sustrato a los 12 días de crecimiento.**

AVS - Fracciones de fibra.	Paja de avena	Rastrojo de maíz	Viruta de madera	CME
FND	59.44 a	65.88 a	64.76 a	18.25128
CC	40.56 a	34.11 a	35.23 a	18.25128
FAD	40.22 b	40.99 b	50.86 a	14.57661
LIG	8.19 b	7.838 b	10.70 a	2.1827
CEL	31.88 b	33.01 b	40.08 a	11.34387
HEM	19.21 b	24.89 a	13.90 c	2.754333

(a,b,c) literales diferentes en el mismo renglón indican diferencia estadística ( $P < 0.05$ ), AVS = análisis de Van Soest, FND = Fibra detergente neutra, CC = contenido celular, FAD = fibra ácida detergente, LIG = lignina, CEL = celulosa, HEM = hemicelulosa, CME = cuadrado medio del error. (Graficas: 10-13)



El Cuadro 7 se muestra el rendimiento Kg. FV/0.5 m<sup>2</sup> de los 3 tipos de FVH por superficie de siembra.

**Cuadro 7. Promedio en el rendimiento de las diferentes semillas y sustratos de acuerdo al análisis de varianza. (Peso promedio).**

<b>Peso.</b>	<b>Kg. /0.5 m<sup>2</sup></b>
Avena	11,833 a
Maíz	11,304 a
Trigo	10,052 a
<b>Sustrato</b>	<b>Kg. /0.5 m<sup>2</sup></b>
Paja de avena	12153 a
Rastrojo de maíz	10,944 a
Viruta de madera	10,092 a

(a,b,c) literales diferentes en el mismo renglón indican diferencia estadística (P<0.05).

En el Cuadro 8 se presentan los resultados obtenidos en las pruebas de Pre-germinación. La semilla con mayor germinación fue el trigo y la de menor fue la avena.

**Cuadro 8. Resultados de la prueba de pregerminación.**

<b>Semilla</b>	<b>CSC</b>	<b>CSG</b>	<b>PSG</b>
<b>Avena</b>	100	59	59 %
<b>Maíz</b>	100	72	72 %
<b>Trigo</b>	100	96	96 %

CSC = Cantidad de semilla colocada, CSG = Cantidad de semilla germinada, PSG = porcentaje de semilla germinada,

El costo con base en los insumos se muestran en el Cuadro 9

**Cuadro 9. Insumos para la producción de 3 tipos de FVH, con diferentes sustratos a los 12 días de crecimiento.**

Material	Costo	Datos
Semilla	\$63 pesos	1 kg de Avena \$3.50, 1 kg. de Maíz \$3.50, 1 kg. de Trigo \$3.50 18 kg. durante todo el periodo
Sustrato	\$ 31.64 pesos	7 kg de paja de avena \$1.66 pesos/kg, 7 kg de rastrojo de maíz \$1.66 pesos/kg y 7 kg de viruta de madera \$1.20 pesos/kg
Agua	\$0.05586	756 litros durante todo el periodo. Precio de 0 a 15 m <sup>3</sup> : 1.1069 pesos Litro de agua: 0.0000739
Hipoclorito de sodio	\$0.96	Solo se utilizo 90 ml en todo el periodo.
Total	\$95.655	Costo total del material utilizado.
Kg. totales de FVH		270 Kg. de FVH total en 12 días de siembra. 10 Kg. en promedio obtenido por muestra
Costo final.	\$ 0.354 por Kg	Kg. del FVH entre el costo total del material utilizado.

**Cuadro 10. Producción de MS para calcular el costo del nutriente y comparar el aporte de PC y E entre la semilla y el FVH.**

	Costo		MS	PC	ED kcal/kgMS	EM kcal/kgMS
	H	MS				
Avena						
Semilla	\$3.50	\$3.11	89	11.5	2770	2710
FVH	\$0.354	\$0.051	14.52	7.20	3144	2577
Maíz						
Semilla	\$3.50	\$3.11	89	8.3	3525	3420
FVH	\$0.354	\$0.052	14.73	8	2875	2357
Trigo						
Semilla	\$3.50	\$3.08	88	12.7	3404	3262
FVH	\$0.354	\$0.049	14.10	9.03	3034	2488

H = Humedad, MS = materia seca, PC = proteína cruda, E = energía, ED = energía digestible, EM = energía metabolizable.

## 6. Discusión.

### 6.1 Peso

No existió diferencia entre especies ( $P > 0.05$ ) en sustrato, semilla y sustrato + semilla con respecto al rendimiento ( $\text{Kg.} / 0.5 \text{ m}^2$ ), cualquiera se puede utilizar como se observa cuadro 7. Esta situación es probable debido a que la planta durante los primeros 10-15 días posteriores a la siembra, se compone principalmente de agua (80-90% del peso fresco). Siendo el motivo por el cual el peso de las muestras fueran constantes. Dichos resultados son muy parecidos a los resultados reportados por Carballo <sup>55</sup> (2000) y Rodríguez <sup>4</sup> (2003), que al utilizar un kilogramo de semilla obtuvieron producciones de 9 a 12 Kg. de forraje en un lapso de 8 a 17 días, sin utilizar fertilizantes.

### 6.2 Materia Seca (MS).

No hubo diferencia significativa en la concentración de MS por la influencia de la semilla ( $P > 0.05$ ) como se observan en los cuadros 3 y 4. Sin embargo cuando se evaluó por sustrato como se observa en el cuadro 4 y en la gráfica 1, la VM favoreció una mayor concentración de MS (17.057 % a). Mientras que el RM (11.977 % b) fue la de menor incremento ( $P < 0.05$ ). Los resultados encontrados deben de ubicar al FVH como un alimento con una mínima cantidad de MS. El incremento de la MS en la VM es probable que se deba a las características del sustrato, ya que este presenta una gran concentración de elementos estructurales como la celulosa, hemicelulosa y la lignina. En este sentido la planta durante los días 10-15, presenta procesos fotosintéticos muy limitados, por lo cual la planta no puede aumentar la cantidad de materia orgánica, y se observa que la rigidez estructural es consecuencia de la turgencia de las células. Asociado a lo anterior, Cubillas <sup>23</sup> (1990) señala en su investigación de germinado de trigo con rastrojo de maíz como sustrato de 8 días, presento un 21.69 % de M.S, pero el mismo forraje a los 12 días disminuye a 18.33 % de MS La causa de este cambio drástico de la concentración de la MS posiblemente se deba a que los elementos orgánicos que son medidos durante el AQP son parte de las reservas nutritivas de la semilla, por lo que al pasar los días estas irán diluyéndose en los tejidos; De tal manera, los datos encontrados en la presente investigación se asemejan a los reportados por Morga <sup>26</sup> (2001), indicó que la avena presentó 13.98 % de materia seca con un sustrato de rastrojo de maíz de 15 días post-

siembra; Y con Alemán <sup>37</sup> (2001) evaluando forraje hidropónico de avena con bagazo de caña como sustrato a los 15 días, obtuvo 13.14 % de MS .

### **6.3 Proteína cruda. (PC)**

Se encontró diferencia significativa ( $P < 0.05$ ) en la concentración de PC al analizar por sustrato y semilla sin mostrar interacción (Cuadros 3, 4 y la gráfica 2). En las semillas, el trigo (9.03 % a) presentó mayor porcentaje de PC, seguido por el maíz (8.005 % b) y por último la avena (7.205 % c). El sustrato de RM (9.3533 % a) y la PA (8.78 % a) son los de mayor concentración de PC, la VM el menor (6.1083 % b). En el caso de los FVH cultivados en sustratos a base de esquilmos forrajeros pobres en nitrógeno, con reservas restringidas en semilla, la casi nula fijación de  $N_2$  atmosférico, una fotosíntesis limitada y un efecto de dilución debido a los sustratos orgánicos, son las posibles causas de la baja concentración de la PC. Hay que recordar que no se utilizó solución nutritiva.<sup>63</sup> Ejemplo de este fenómeno lo tenemos en el trabajo de Ponce <sup>64</sup> (2000), al fijar el Nitrógeno en FVH de Trigo, destinado para la alimentación animal con diferentes tipos de bacterias especializadas, las concentraciones de PC en promedio a los 5 días fue de 12.92 %, a los 10 días de 16.47 % y a los 15 días de 22.04 %. Se observó que conforme la planta continuó su desarrollo y se incrementó la fotosíntesis, la proteína tenderá a incrementar su concentración; Los resultados presentados en esta investigación, coinciden con Alemán <sup>37</sup> quien obtuvo en el germinado de avena con bagazo de caña como sustrato un 10.13 % de PC; Mientras Morga <sup>26</sup> (2001) mostró diferencias en la avena con sustrato de RM, logro a alcanzar 12.34 %; Cubillas <sup>23</sup> (1990) al término de su análisis de germinado de trigo con RM, obtuvo a los 8 días 13.98 % de proteína cruda y a los 12 días de 15.27 %; Mientras que Ceballos <sup>54</sup> (1989) indicó que el germinado de avena obtenido en laboratorio sin sustrato presentó 14.56 % de PC y en trigo de 25.26 %.

#### 6.4 Extracto Etéreo. (EE)

Los resultados de EE que se observaron en los cuadros 3, 4 y la gráfica 3, muestran una diferencia significativa ( $P < 0.05$ ) al analizar por semilla. El germinado de avena (6.8517 % a) y maíz (6.5967 % a) presentaron una mayor concentración de EE y el de trigo de (5.25 % b). En cuanto al análisis por sustrato se encontró diferencia significativa ( $P < 0.05$ ), mostrando que el RM (7.18 % a) es el mayor porcentaje de EE, mientras que la PA (6.0117 % b) y la VM (5.5067 % b) fueron inferiores. El contenido EE en las muestras analizadas se debió a la calidad de las semillas.<sup>50, 65, 66</sup> Esto es por que a los 12 días de crecimiento, el EE que se encuentre en el FVH solo proviene de las semillas hasta el momento que se inicie la absorción de nutriente por la raíz y la fotosíntesis en las hojas.<sup>50, 65, 66</sup> Los resultados del presente trabajo se asemejan a lo reportado por Ortega<sup>30</sup> (1990), que al producir FVH de cebada sin micro-nutrientes obtuvo a los 10, 15, 20 y 25 días una concentración de 5.05, 15.33, 9.27 y 13.82 %, respectivamente de EE; En el caso de Alemán<sup>37</sup> (2001) los datos del forraje avena presentó 5.21 % de EE con bagazo de caña a los 15 días; Difieren los resultados reportados por Cubillas<sup>23</sup> (1990) en el germinado de trigo con RM como sustrato a los 8 días, presentando 3.17 % y de 4.54 % a los 12 días; Mientras que Morga<sup>26</sup> (2001) reportó la mayor concentración de EE (12.96 %) en el forraje de avena con RM.

#### 6.5 Cenizas (CEN)

Los resultados en el cuadro 4 y la gráfica 4, se observa una diferencia significativa ( $P < 0.05$ ) en el análisis de sustrato. La PA (7.37 % a) y el RM (5.9867 % a) son los sustratos de mayor concentración de cenizas, siendo la VM (3.2283 % b) la de menor porcentaje. Con base a los resultados anteriores, se muestra que PA contiene la mayor cantidad de elementos inorgánicos en las muestras. Esto se debe a la baja cantidad de MS y a los altos índices de FC en las muestras.<sup>50, 65, 66</sup> Aunado a lo anterior, los datos obtenidos en este trabajo en VM se asemejan a los resultados mostrados por Cubillas<sup>23</sup> (1990) en germinado de trigo con RM de 8 días, al presentar 3.17 % de CEN y de 4.54 % a los 12 días; Los resultados coinciden con los de Alemán<sup>37</sup> (2001) que reporto 5.21 % de CEN a los 15 días con FVH de avena y bagazo de caña; Los resultados obtenidos coinciden con los de Morga<sup>26</sup> de 6.66 % de CEN en la Avena con RM; Mientras que los

resultados concuerdan con los de Espinosa<sup>25</sup> (1991) al producir FVH de avena con y sin fertilizante a diferentes edades de 10, 15, 20 y 25 días (con 5.33%/sin 5.35%, con 6.63%/sin 6.30%, con 7.59%/sin 6.01%, con 8.89%/ sin 5.37%, respectivamente), sus resultados indicaron que al existir elementos nutritivos adicionales para las plantas, la cantidad de CEN aumentan en el transcurso de los días.

## **6.6 Fibra cruda. (FC)**

Existió diferencia entre especies ( $P < 0.05$ ) en sustrato y sustrato + semilla sobre FC representado en el cuadro 4 y la gráfica 5. La VM (46.772 % a) fue la de mayor concentración, seguido de la PA (36.102 % b) y del RM (26.85 % c). En la interacción la VM con germinado de trigo (53.42 %) fue la combinación que proporcionó la mayor concentración de FC, seguido por la PA con germinado de avena (38.755 %) y el RM con germinado de maíz (28.54 %). Es evidente la influencia de los sustratos en los resultados de la FC, al disminuir la concentración de CEN y la PC en las muestras, y aumentar a su vez la cantidad de elementos fibrosos presentes en los diferentes sustratos.<sup>50, 65, 66</sup> Los resultados del presente trabajo coinciden con el reportado por Alemán<sup>37</sup> (2001) en FVH de avena con bagazo de caña a los 15 días, que presentó 31.90 % de FC; Mientras que se asemejan los de Hernández<sup>33</sup> (1990) a los 12 días con 26.31 % de FC en FVH de trigo con RM como sustrato; Con lo cual, Cubillas<sup>23</sup> (1990) indicó que el FVH de trigo con RM como sustrato, presentó 26.65 % de FC, siendo similar el resultado a los reportados en los anteriores trabajos. Otros factores que influyeron en la concentración de la FC de las muestras pudieron ser el tiempo de maduración de la planta antes de la cosecha, el clima y la utilización de fertilizantes que afectan de igual manera a la concentración de FC. Con base a lo anterior Carballo<sup>55</sup> (2000) produjo FVH de maíz y trigo, con una concentración de 8.87 y de 17.86 % respectivamente, sin utilizar ningún tipo de sustrato.

## 6.7 Elementos Libres de Nitrógeno (ELN)

En el cuadro 4 y la grafica 6 referente al ELN (o contenido de carbohidratos solubles), se observó una diferencia significativa ( $P < 0.05$ ) en el análisis de sustrato. La VM (44.565 % a) y PA (43.953 % a) son los de mayor concentración, en comparación al RM (37.395 % b) con el menor porcentaje. La calidad del sustrato influye en la disponibilidad de la energía proporcionada por el ELN, siendo más evidente en las muestras con VM, donde la porción de carbohidratos estructurales es mayor que el de los carbohidratos solubles. Lo que esto ocasiona que el forraje al ser consumido, las enzimas bacterianas del tracto digestivo de los rumiantes y algunos animales con sistema digestivo modificado, no puedan degradar los elementos fibrosos. Caso contrario, las muestras de RM y PA presentaron concentraciones mayores de ELN en comparación a su FC. Aunado a lo anterior, los bajos índices de MS también pueden afectando la disponibilidad de energía en las muestras, como sucedió en RM.<sup>50, 65, 66, 67</sup> Con lo cual los resultados coinciden con Alemán<sup>37</sup> (2001) quien obtuvo 47.16 % de ELN en el FVH de Avena de 15 días de crecimiento con bagazo de caña como sustrato; Los resultados de Cubillas<sup>23</sup> (1991) se asemejan con los reportados en el presente trabajo, donde el FVH de Trigo con RM de 8 días, presento 20.33 % y de 12 días 34.17 %; Mientras que coinciden los resultados de Morga<sup>26</sup> (2001), al obtener en FVH de Avena con RM de 15 días 41.69 % de ELN; Y con Espinosa<sup>25</sup> (1991) reporto en el forraje de avena de 15 días con tratamiento de nitrógeno, fósforo y potasio donde obtuvieron 51.68 % de ELN y sin tratamiento de 51.23 %.

## 6.8 Total de nutrientes digeribles. (TND)

Para el TND reportado en Cuadro 4 y la gráfica 7, las muestra presentaron una diferencia ( $P < 0.05$ ) en el sustrato. Donde la VM (72.045 % a) mostró la mayor concentración, seguido por la PA (69.775 % ab) y la de menor porcentaje es el RM (63.028 % b). Los datos indicaron que la VM es el sustrato que nos proporcionó el mayor índice energético en el FVH. Sin embargo, la VM al tener altas concentraciones de carbohidratos estructurales muy lignificados, su digestibilidad por parte de las bacterias del rumen seria limitada o nula en algunos casos.<sup>45, 49, 66</sup> Así, los datos obtenidos en la presente investigación son semejantes a los reportados por Morga<sup>26</sup> (2001) en el TND de 74.68



%. Siendo cosechado a los 15 días, por lo que se observo un incremento de la energía; Mientras que difieren de Alemán<sup>37</sup> (2001), al presentar concentraciones menores de 56.05 % en el FVH de avena con bagazo de caña como sustrato a los 15 días; Con base en lo anterior, en el trabajo de Cubillas<sup>23</sup> (1990), obtuvo 41.50 % de TND en el FVH de trigo con RM, a los 8 días de crecimiento y a los 12 días de 59.10 %, comprobando que conforme pasan el tiempo aumenta la cantidad de energía de la que se puede disponer, pero a su vez también se inicia la lignificación de la planta después de los 15 días; Y con Espinosa<sup>25</sup> (1991) comenta que su producción de FVH de avena con nitrógeno, fósforo y potasio en 15 días, presentó 71.16 % y sin este de 69.72 % de TND. Referente a lo comentado en el trabajo anterior, hay que tomar en cuenta la influencia que puede tener la inclusión de elementos nutritivos adicionales en la planta, ya que estos serán benéficos durante las primeras etapas de la fotosíntesis.<sup>45, 49, 66</sup>

## **6.9 Energía digestible. (ED)**

En el cuadro 4 y la gráfica 8, se observa una diferencia ( $P < 0.05$ ) en la cantidad de energía del sustrato. Donde la VM (3198.5 kcal/kg a) presento la mayor concentración, seguido por la PA (3076.5 kcal/kg ab) y la de menor porcentaje fue el RM (2778.9 kcal/kg b). Hay que considerar que ED es una estimación a partir del TND y si el este es elevado, entonces ED será proporcional el incremento.<sup>50, 65, 66</sup> La VM se presento el sustrato con mayor cantidad de energía aparentemente aprovechable, pero hay que tomar en cuenta que este sustrato tiene gran cantidad de carbohidratos de origen estructural como la CEL, HEM y la LIG.<sup>45, 49, 66</sup> Por lo que al ingresar al tracto digestivo de los rumiantes, esta energía aprovechable no será disponible para la degradación bacteriana y por ende para los animales.<sup>45, 49, 66</sup> Asociado a lo anterior, los datos obtenidos en el presente trabajo difieren con Alemán<sup>37</sup> (2001) al presentar una concentración menor de energía en el FVH de Avena con bagazo de caña de 2471.06 kcal/kg; Con lo cual los resultados coinciden con Morga<sup>26</sup> (2001) al obtener aproximadamente 3292 kcal/kg en FVH de avena con RM a los 15 días de crecimiento; Y con Espinosa<sup>25</sup> (1991) comenta que a los 15 días de crecimiento sin sustrato en el FVH de avena, presento 3074 kcal/kg. Los resultados anteriores son comparables a los obtenidos en la VM y la PA, pero la VM puede presentar problemas en su degradación.

### **6.10 Energía metabolizable. (EM)**

Si hubo diferencia ( $P < 0.05$ ) para el sustrato representado en el cuadro 4 y la gráfica 9. Donde los valores obtenidos en la VM (2622.5 kcal/kg a) son las de mayor concentración, seguido por la PA (2522.5 kcal/kg ab) y la menor fue el RM (2278.4 kcal/kg b). Aunado a la ED, la EM es la energía que restante que será aprovechada por el metabolismo de los animales, después de pasar por el tracto digestivo. Esto quiere decir que la VM sería el sustrato con mejor asimilación por el organismo. Sin embargo este sustrato al estar constituido por gran cantidad de CEL, HEM y LIG, son parcialmente indigestibles para la flora ruminal de los rumiantes y de otros animales apacentadores.<sup>66</sup> De igual modo hay que considerar los factores de calidad de la semilla, medio ambientales y de manejo de los forrajes como factores que influyen directamente en la calidad de los FVH. Con base a lo anteriormente descrito, los resultados reportados en el presente trabajo se asemejan al obtenido por Morga<sup>26</sup> (2001) en el FVH de avena con RM, este fue de 2699.87 kcal/kg; De igual manera coinciden los resultados de Espinosa<sup>25</sup> (1991) ya que se observó en FVH de avena a los 15 días, una concentración de 2520 kcal/kg; Mientras que difieren un poco los datos de Alemán<sup>37</sup> (2001) al utilizar FVH de avena con bazo de caña como sustrato a los 15 días, el cual presentó 2026.06 kcal/kg.

### **6.11 Fibra neutra detergente. (FND)**

La FND no presentó diferencia, ni interacción ( $P > 0.05$ ) en sustrato, semilla y semilla + sustrato, representado en el cuadro 5, 6 y la gráfica 10. Esta técnica determina los componentes de la pared celular (celulosa, hemicelulosa, lignina y sílice) y se realiza para analizar la calidad de la fibra del forraje. El forraje al madurar, aumenta su contenido de FDN, lo que determina una lenta digestión de esta, con mayor tiempo de pasaje por el tracto digestivo. De tal manera, la FDN es inversamente proporcional a la capacidad de consumo que los animales tendrán sobre ese alimento (a mayor cantidad de FDN, menor será el consumo voluntario). El contenido de FND se expresa en porcentaje del total de la MS. En el caso del FVH la concentración de FND es mínima al presentar cultivos con periodos de producción de 10 a 14 días, por lo que la cantidad de elementos fibrosos presentes en las paredes celulares de las plantas es mínima a comparación de los cultivos tradicionales. Esto puede variar, en el caso de utilizar sustratos orgánicos de calidad

variable, que pueden aumentar la cantidad de FND en las muestras. Relacionado con lo anterior, en forrajeverde.com<sup>34</sup> (1998) al realizar un análisis bromatológico de FVH de maíz sin sustrato, obtuvieron resultados inferiores en la FND (58.8 %) a los reportados en el presente trabajo; Pero, los datos obtenidos con Cubillas<sup>23</sup> (1990), la FND a los 8 días fue de 50.06 % y los 12 días aumento a 62.08 % en FVH de Trigo con RM; Lo anterior coincidió con los datos obtenidos en el trabajo de Morga<sup>26</sup> (2001), de 62.15 % de FND en FVH de avena con RM a los 15 días sin tratamiento; Y en el caso de los resultados reportados por Alemán<sup>37</sup> (2001) obtuvo una concentración de FND mayor de 65.89 %, en FVH de avena con gabazo de caña y cosechada a los 15 días.

### **6. 12 Fibra ácido detergente. (FAD)**

Hay una diferencia ( $P < 0.05$ ) en el sustrato de la FAD, representado en el cuadro 6 y la gráfica 11. La VM (50.862 % a) fue la de mayor concentración, seguido por el RM (40.99 % b) y la PA (40.225 % b). Con base a lo anterior, la VM es el sustrato con mayor concentración de CEL y LIG en las muestras, pero debido a sus características estructurales, a mayor cantidad FAD en un alimento, menor será su digestibilidad y su contenido de MS.<sup>45, 49, 66</sup> Con base a los datos encontrados en la presente investigación se asemejan a los reportados por Morga<sup>26</sup> (2001), que al utilizar FVH de avena con RM tratado sin el tratamiento a los 15 días fue de 42.40 %; Mientras que difieren los resultados de Cubillas<sup>23</sup> (1990) en FVH de trigo con RM a los 8 días, ya que presentó un porcentaje menor de 28.03 % y a los 12 días este aumento a 33.04 %; Sin embargo coinciden los resultados de Alemán<sup>37</sup> (2001) al haber obtenido un FAD de 42.17 % en FVH de avena con bagazo de caña. Otros factores que intervienen en lo anteriormente comentado es el tiempo de madures de la planta, la semilla utilizada y las características del sustrato son los factores que influyen en gran medida en el contenido de CEL y LIG en las muestras.<sup>45, 49, 66</sup>

### 6.13 Lignina. (LIG)

En el cuadro 6 y la gráfica 12, se muestra la diferencia significativa ( $P < 0.05$ ) de la LIG en análisis por el sustrato. La PA (8.1917 % b) y el RM (7.8383 % b) son los que presentaron la menor concentración de LIG, en comparación a la mayor concentración de la VM (10.0967 % a). La LIG es un compuesto que confiere el soporte necesario a las paredes celulares y se liga fuertemente a la CEL y HEM de los sustratos.<sup>45, 49, 66, 68</sup> Esto se asocia a la LIG junto a una menor digestibilidad de los forrajes, debido a la difícil degradación.<sup>50, 65, 66, 68</sup> La VM como sustrato es la que le favorece una mayor cantidad de LIG en el FVH.<sup>50, 65, 66, 68</sup> Pero, estos valores son mínimos a comparación de los reportados por la FAO<sup>32</sup> (2002) de 28.2 % de LIG en FVH de avena; Otro caso similar se observa en el trabajo realizado por Herrera<sup>69</sup> (2007), que reporto una concentración de LIG de 43.42 % en FVH de maíz; Con base a los datos encontrados en la presente investigación se asemejan a los reportados por Alemán<sup>37</sup> (2001) al utilizar FVH avena con bagazo de caña como sustrato, por lo que obtuvo 8.47 % de LIG; Ahora bien, los resultados difieren con Cubillas<sup>23</sup> (1990) al presentar una concentración de LIG en el FVH de trigo con RM como sustrato a los 8 días, de 4.61 % y a los 12 días de 4.95 %; Y con Morga<sup>26</sup> (2001), se asemejan al haber presentado 9.04 % de LIG en FVH de avena con RM.

### 6.14 Celulosa. (CEL)

Se encontró diferencia significativa ( $P < 0.05$ ) en la CEL del sustrato, representados en los cuadros 6 y la gráfica 13. La de mayor concentración se encuentra en la VM (40.080 % a), seguido por RM (33.010 % b) y la PA (31.888 % b), que fueron las inferiores. La CEL es un polisacárido estructural que forma parte de la pared celular de las plantas y es el elemento más abundante en el reino vegetal (40 % de CEL en plantas jóvenes y en la madera hasta un 50%).<sup>50, 65, 66, 68</sup> A pesar de que está una fuente de energía formada por glucosas, los animales no pueden metabolizar, al carecer de las enzimas necesarias para romper los enlaces  $\beta$ -1,4-glucosídicos. Solo los rumiantes y algunos monogástricos especializados, pueden digerir la CEL con ayuda de bacterias especializadas que hidrolizan las moléculas carbohidratadas.<sup>50, 65, 66</sup> El sustrato utilizado, medio ambiente en la zona y el estadio de desarrollo de la planta en el FVH, influye en la cantidad de CEL

presente en las muestras analizadas.<sup>50, 65, 66</sup> Con base a lo anterior, la VM fue la que presento el mayor porcentaje de CEL, pero por sus características estructurales no es recomendable para el consumo animal.<sup>50, 65, 66</sup> Con lo cual, los datos encontrados en la presente investigación difieren a los reportados por Cubillas<sup>23</sup> (1990), al sembrar FVH de trigo con RM a los 8 días obtuvo 19.69 % de CEL y a los 12 días este porcentaje aumento a 24.71%; Mientras los resultados coinciden con Morga<sup>26</sup> (2001) en FVH de avena a los 15 días con RM, el cual presento 33.24 %; Por ultimo los datos coinciden con los obtenidos por Alemán<sup>37</sup> (2001) en CEL (33.23 %) de FVH de avena con bagazo de caña a los 15 días.

### **6.15 Hemicelulosa. (HEM)**

Si hay diferencia entre especies ( $P < 0.05$ ) en sustrato, semilla y sustrato + semilla, representados en los cuadros 5, 6 y la gráfica 14. En las semillas, el trigo (21.1733 % a) presento la mayor concentración, seguido por el maíz (18.8117 % ab) y el inferior fue la avena (18.0317 % a). Mientras, en el análisis por sustrato el RM (24.8967 % a) presento la mayor concentración, seguido por la PA (19.21 % b) y VM (13.905 % c). Mientras en la interacción el RM con germinado de trigo (31.42 %) fue la combinación que proporcionó la mayor concentración de HEM, seguido por la PA con germinado de maíz (20.23 %) y la VM con germinado de trigo (13.035 %) fue la inferior. La hemicelulosa es un elemento importante de la pared celular vegetal, recubriendo la superficie de las fibras de CEL y permitiendo los enlaces peptídicos.<sup>45, 49, 66</sup> En la madera de pino, la HEM forma parte de la matriz, junto a la LIG y la CEL, representando el 27-29% de la misma, mientras que en la corteza solo alcanzan un 15%.<sup>45, 49, 66</sup> Este compuesto varía dependiendo de la edad, la especie vegetal, el clima y el manejo que se le proporcione a las plantas.<sup>37, 50, 65, 66</sup> Es menos resistente a la degradación bacteriana que la CEL, siendo conocido como fibra soluble. La HEM es un elemento de alto valor energético para los animales, pero su disponibilidad depende de la madurez del forraje.<sup>45, 49, 66</sup> Con base a lo anterior, la HEM en las muestras de FVH de trigo son las que presentaron la mayor concentración de estos polisacáridos junto con el RM. Sin embargo, el RM presenta una concentración mayor de CEL, que disminuirá la disponibilidad de la HEM en las muestras.<sup>45, 49, 66</sup> Los datos de la presente investigación difieren a los reportados por

Alemán <sup>37</sup> (2001), que señala que obtuvo un 30.55 % de HEM en FVH de avena con bagazo de caña, y de CEL el 33.23 %; Con lo cual, los resultados coinciden con Morgia <sup>26</sup> (2001) que obtuvo en FVH de avena con RM, un 19.47 %, pero la CEL fue de 33.24 %; Mientras que se asemejan los resultados con Cubillas <sup>23</sup> (1990) en el FVH de trigo con RM a los 8 días de crecimiento, presento 21.93 % (CEL de 19.69 %, respectivamente) y a los 12 días de 29.93 % (CEL de 24.71%, respectivamente). En la investigación de Cubillas <sup>23</sup> (1990) se observo la influencia del estadio de maduración de la planta en las concentraciones de la HEM vs CEL, en las muestras de FVH.

## 7. CONCLUSIONES

Con base en el análisis de los resultados obtenidos bajo las condiciones de esta investigación, se concluye que en cuanto al sustrato, el mejor fue la PA al favorecer una mayor cantidad de energía. Mientras que el FVH de trigo permitió una mejor cantidad de PC y HEM en las muestras. Permitiendo al ganado una mejor digestión del forraje ya que se cosecha antes de los 15 días cuando da inicio a la lignificación.

El FVH es una alternativa práctica y económica para la alimentación de pequeños herbívoros en condiciones limitantes de agua, superficie de siembra o por factores medio ambientales.

No es recomendable como único alimento en las dietas de los animales. Siendo considerado como un complemento a la ración diaria, debido a los bajos porcentajes de MS.

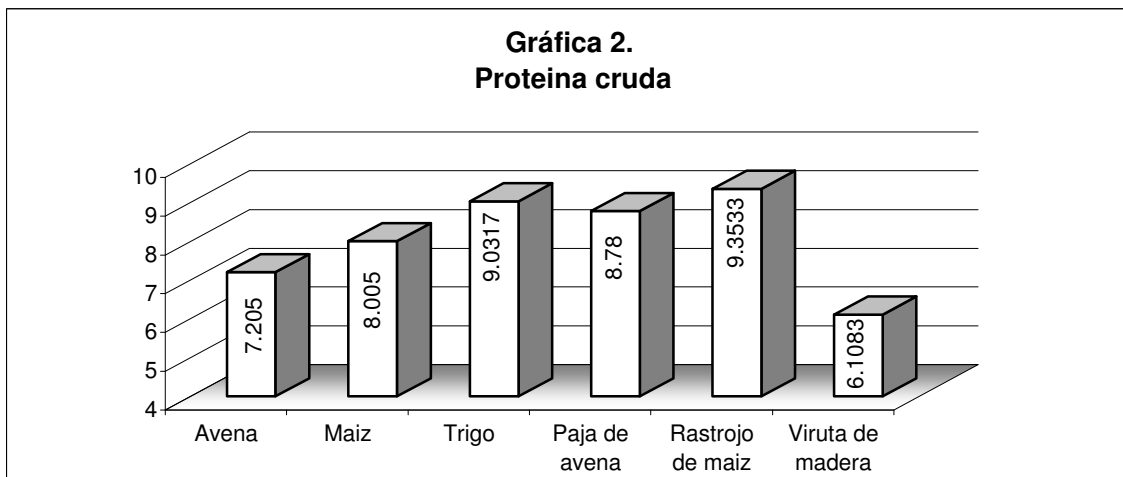
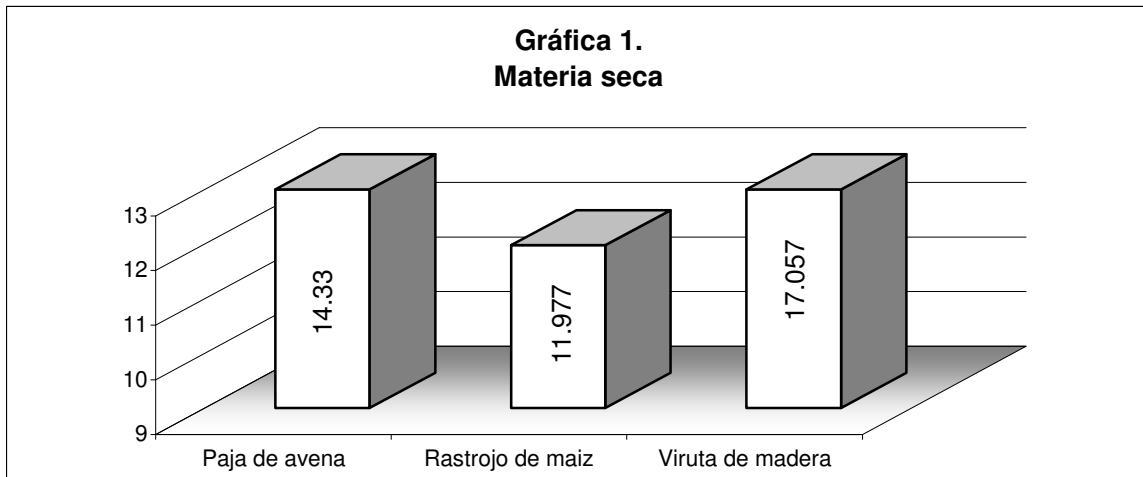
## 8. Consideraciones.

- El volumen proporcionado por los sustratos, permitirán que el alimento ingerido permanezca mas tiempo en el tracto digestivo de los animales, mejorando la degradación de los elementos nutritivos.
- El FVH puede ser utilizado como un alimento de emergencia en caso de sequía o escasez, cubriendo las necesidades básicas de manutención de los animales.
- La VM a pesar de mostrar las más altas concentraciones de energía, es un sustrato de difícil degradación en el tracto digestivo.
- Realizar antes de comprar la semilla las pruebas de pregerminación, a fin de asegurar una buena producción de forraje.
- Una limpieza adecuada antes, durante y al término de la producción de los FVH garantizara un germinado libre de microorganismos indeseables en los cultivos.
- Los costos de producción del Forraje Verde Hidropónico pueden ser abatidos, al comprar los sustratos y las semillas directamente con los productores.
- En cuanto a las interacciones, la PA fue el sustrato que proporcionó la cantidad suficiente de FC en las diferentes muestras. Sin afectar la concentración de CEN y PC, ni aumentar a su vez la cantidad de elementos fibrosos presentes en los diferentes sustratos. Mientras en el caso de la HEM, la mayor concentración fue proporcionada por los cultivos de FVH con RM como sustrato. Pero RM presentó una mayor cantidad de CEL con una concentración baja de MS, provocando una disminución de la energía disponible para los animales. Por lo que la PA con germinado de Trigo, presento los mejores índices de HEM disponible en las muestras.

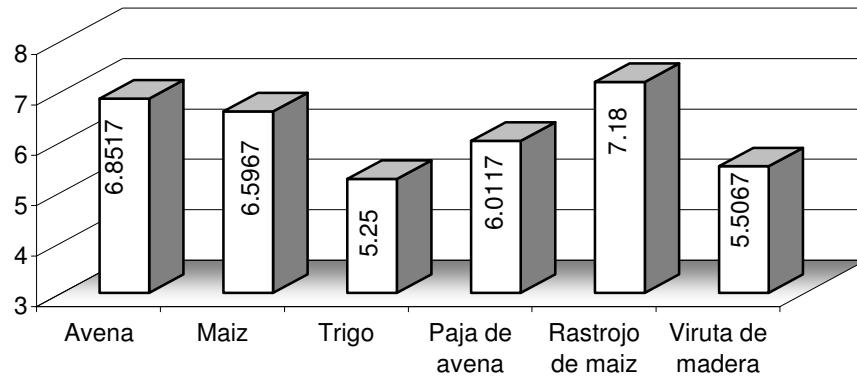


## 9. Gráficas.

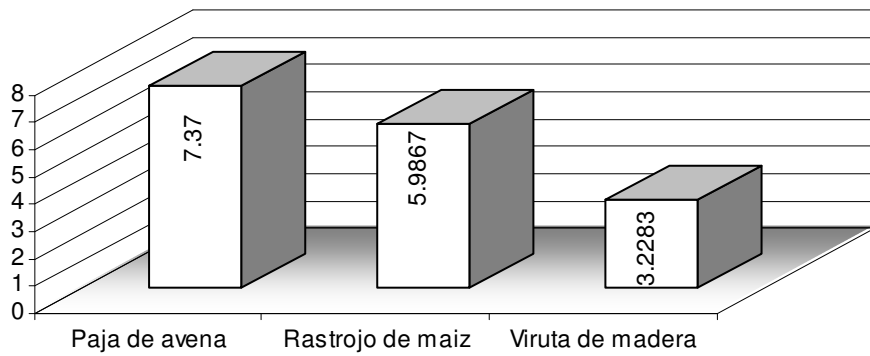
### Composición Química Proximal



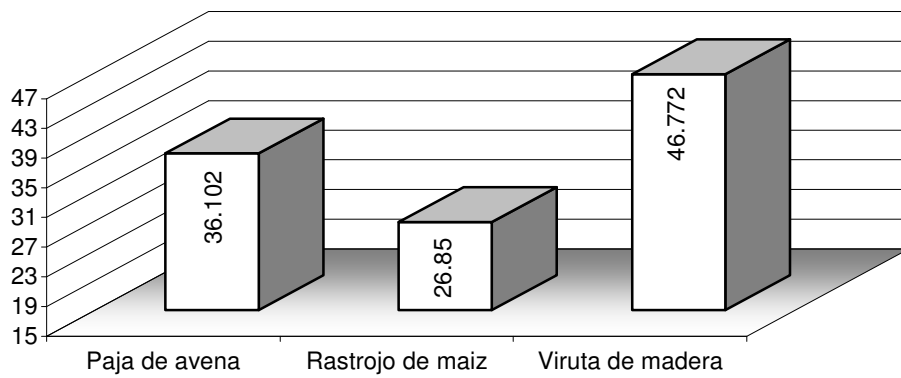
**Gráfica 3.  
Extracto Etereo**



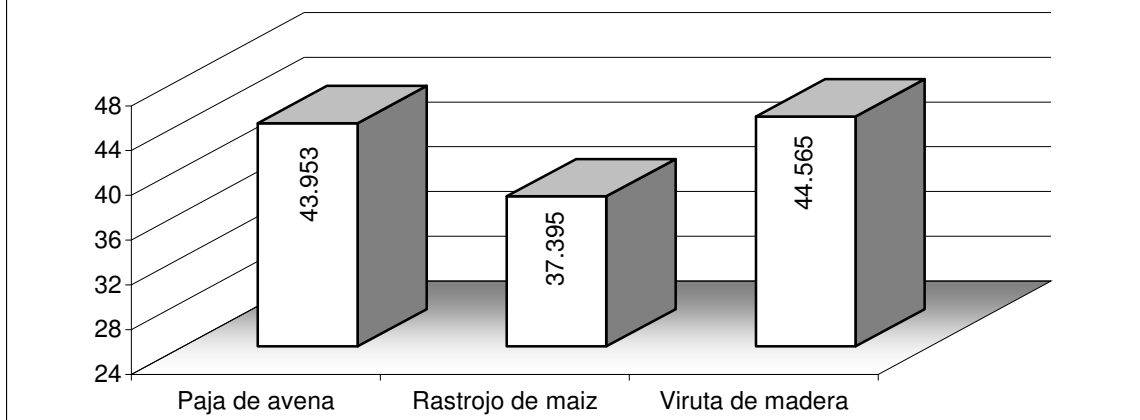
**Gráfica 4.  
Ceniza**



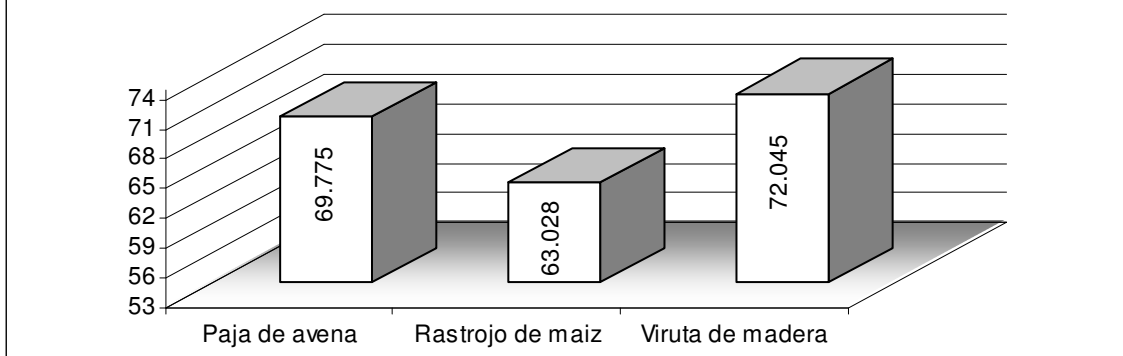
**Gráfica 5.  
Fibra cruda**



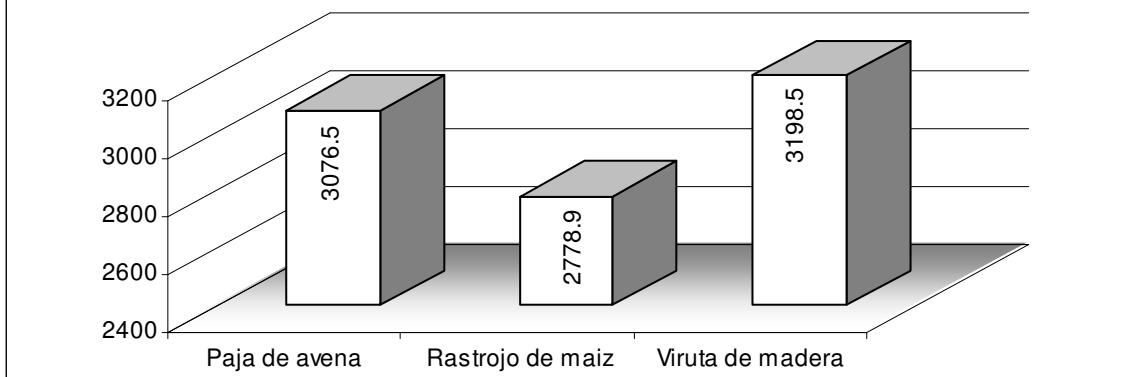
**Gráfica 6.**  
**Elemento libre de nitrógeno**

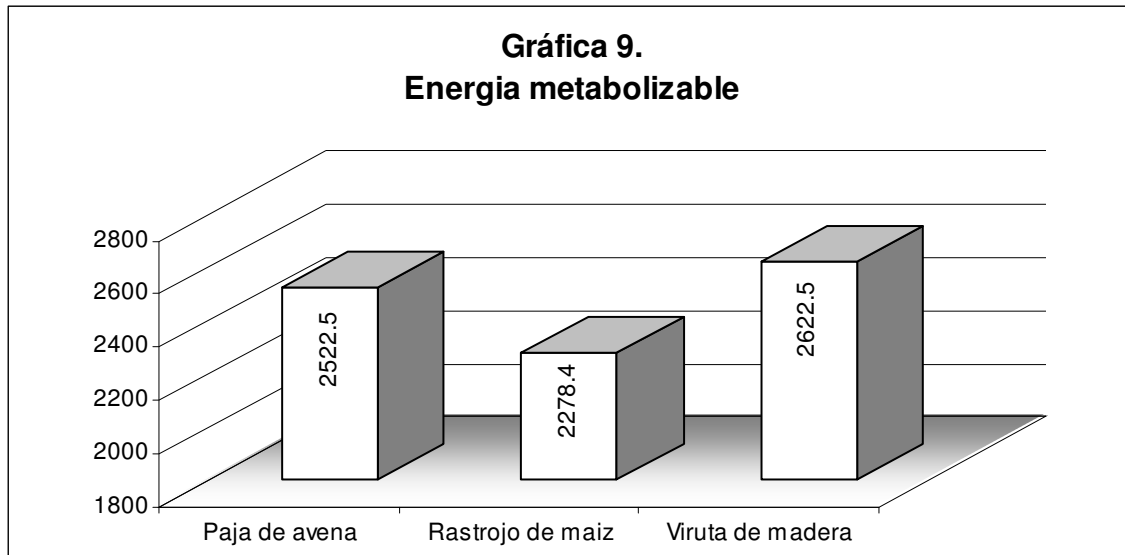


**Gráfica 7.**  
**Total de nutrientes digeribles**

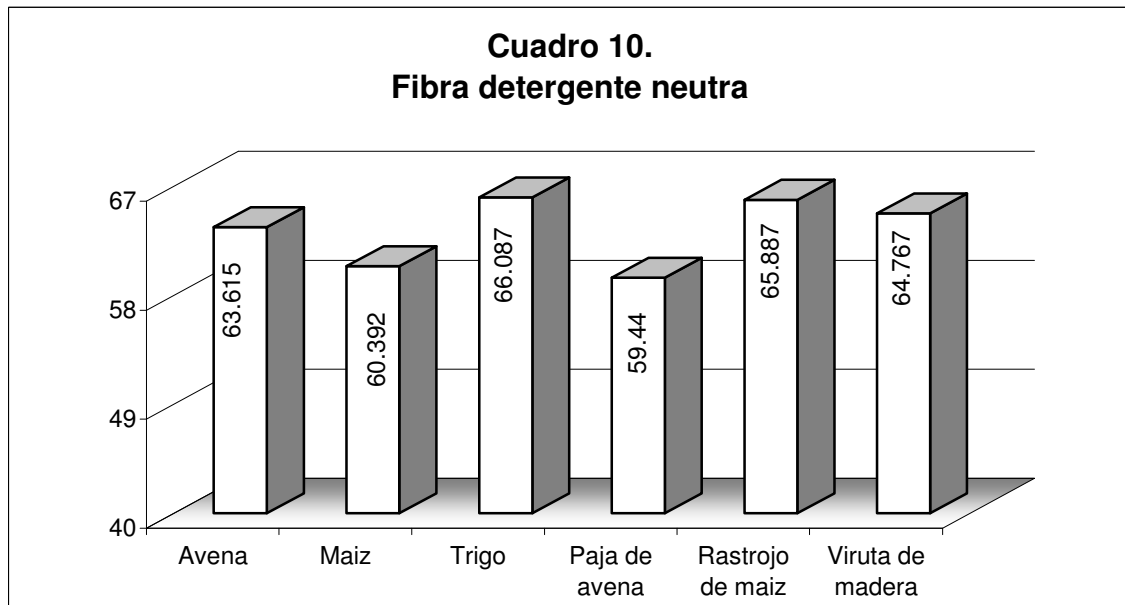


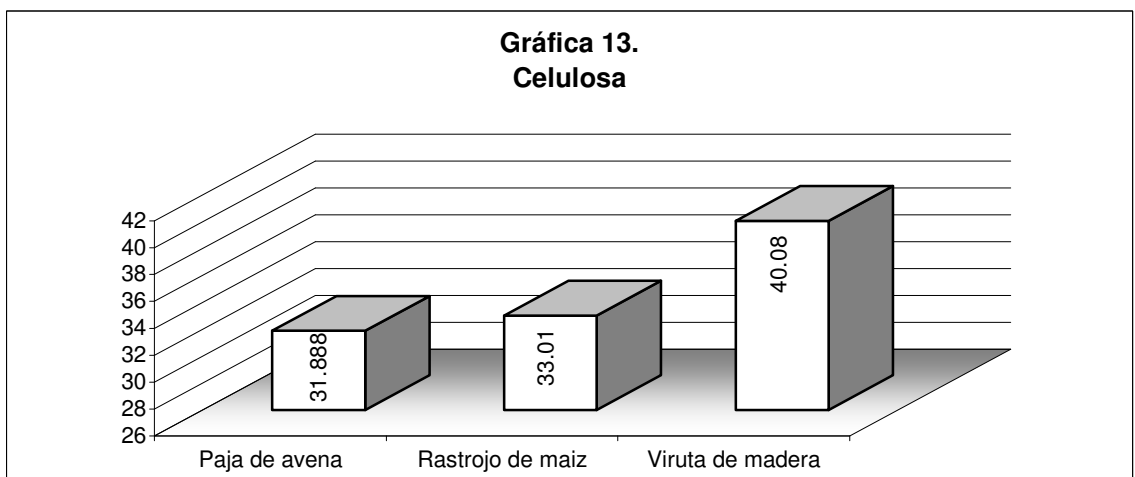
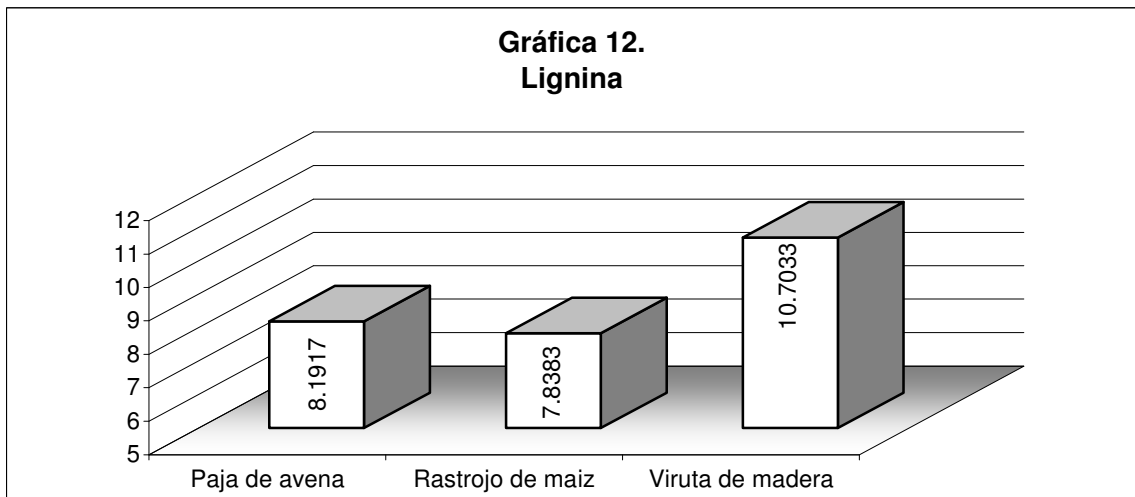
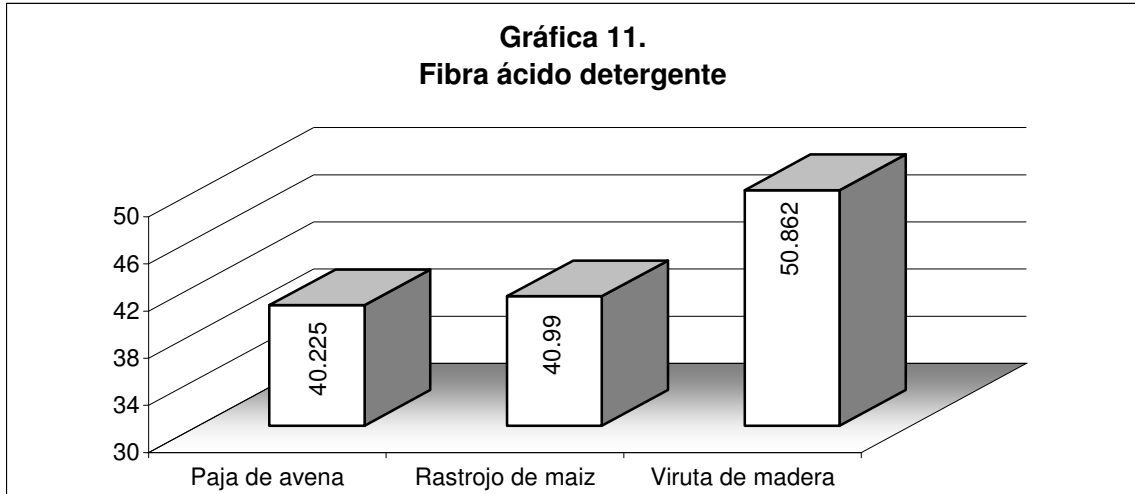
**Gráfica 8.**  
**Energía digerible**



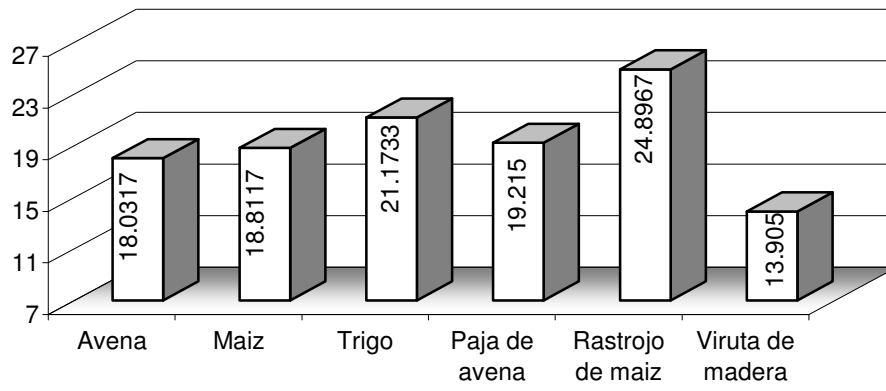


## Paredes Celulares





**Gráfica 14.  
Hemicelulosa**



## 10.- FOTOGRAFÍAS



Foto 1. Semilla germinada en contenedores de piso. Día 0



Foto 2. Semilla germinada en charolas. Día 0



Foto 3. Crecimiento de radícula en semillas de avena, en contenedor de piso. Día 1.



Foto 4. Crecimiento de radícula en trigo, en charola. Día 1.





Foto 5. Crecimiento de radícula y tallo en trigo, en charola. Día 2.



Foto 6. Crecimiento de radícula y tallo en avena, en contenedor de piso. Día 2.



Foto 7. Crecimiento de tallo en avena, en contenedor de piso. Día 3.



Foto 8. Crecimiento de tallo en trigo, en charola. Día 3.



Foto 9. Crecimiento de tallo en trigo, en charola. Día 4.



Foto 10. Crecimiento de tallo en maíz, en contenedor de piso. Día 4.



Foto 11. Forraje verde hidropónico de avena en contenedores de piso. Día 5



Foto 12. Forraje verde hidropónico de trigo en charola. Día 5



Foto 13. Forraje verde hidropónico de avena en contenedor de piso. Día 6



Foto 14. Forraje verde hidropónico de trigo en charola. Día 6



Foto 15. Forraje verde hidropónico de trigo en charolas. Día 7



Foto 16. Forraje verde hidropónico de maíz y avena en contenedores de piso.  
Día 7



Foto 17. Forraje verde hidropónico de trigo sembrada en charolas. Día 8



Foto 18. Forraje verde hidropónico de avena en contenedores de piso. Día 8





Foto 19. Forraje verde hidropónico de trigo en charolas. Día 9



Foto 20. Forraje verde hidropónico de avena y maíz en contenedores de piso. Día 9



Foto 21. Forraje verde hidropónico de trigo en charolas. Día 10



Foto 22. Forraje verde hidropónico de avena y maíz en contenedores de piso. Día 10



Foto 23. Forraje verde hidropónico de trigo en charolas. Día 11



Foto 24. Forraje verde hidropónico de avena y maíz sembrada en contenedores de piso.  
Día 11



Foto 25. Forraje verde hidropónico de trigo cosechado en charola. Día 12



Foto 26. Forraje verde hidropónico de maíz cosechado en contenedor de piso. Día 12

## 11. LITERATURA CITADA.

1. Santibañez A, Alejandro Alberto. Productividad del cultivo hidropónico de Avena sativa y Vicia benghalensis cv. atropurpurea y su utilización como forraje complementario en la alimentación de *Oryctolagus cuniculus*, en etapa de engorda. (Tesis de licenciatura); Universidad Católica de Valparaíso. Fac. de Agronomía. (Valparaíso, Chile), 2005
2. Fabregat Vazquez, Susana Tzitzlali. Efecto de diferentes niveles de nitrógeno sobre la composición bromatológica y tasas de fermentación de forraje hidropónico de avena (*Avena sativa*). (Tesis de licenciatura); UNAM. México (DF), 1990.
3. Bórquez L, Fernando; Figueroa R, Marcos; Parilo V, Jose; Tima P, Marcelo; Hidalgo M, Roberto. Producción de forraje en condiciones de hidroponía. I. Tiempo de hidratación, dosis de semilla y fertilización en avena y triticale. *Agro-Ciencia. Chile* 1992 Ene-Jun; 8(1); p. 11-20
4. Rodríguez S. A. C. Forraje Verde Hidropónico. 1ª ed. Diana, México (DF), 2003.
5. Evangelista, Ignacio Morell; Jiménez Salas, José Ramón; Bandenay Egoávil, Liliana; Renau Llorens, Alejandra; Renau Pruñonosa, Arianna. Recursos Hídricos; Lección 21: Contaminación de origen agrícola. Curso de docencia. Grupo de Investigación de Recursos Hídricos del Instituto Universitario de Plaguicidas y Aguas (IUPA). Universidad Jaume I de Castellón. Castelló de la Plana, España. 2003. Disponible en: <http://www.agua.uji.es/pdf/leccionRH21.pdf>
6. Comité de Agricultura (COAG). El medio ambiente y la agricultura. Tema 6 (20º período de sesiones); FAO, Roma, Abril de 2007. Disponible en: [http://www.fao.org/unfao/bodies/coag/coag20/index\\_es.htm](http://www.fao.org/unfao/bodies/coag/coag20/index_es.htm)
7. Comité de Agricultura (COAG). Cómo enfrentarse a la interacción entre la ganadería y el medio ambiente. Tema 4. (20º período de sesiones); FAO, Roma, Abril de 2007. Disponible en: [http://www.fao.org/unfao/bodies/coag/coag20/index\\_es.htm](http://www.fao.org/unfao/bodies/coag/coag20/index_es.htm)
8. Carabias, Julia. Agua, medio ambiente y sociedad: hacia la gestión integral de los recursos hídricos en México. Edit. UNAM. México, 2005
9. Nelson Espinoza Neira, Ingeniero agrónomo M.Sc INIA Carillanca. Resistencia de malezas a los herbicidas. (Revista on line Tattersall), edit. Impresión Quebecor

- Word S.A. Chile, noviembre - diciembre 2000. vol. 166, Disponible en: <http://www.tattersall.cl/revista/REV166/gerac.htm>
10. Alejandro Pérez J., Marcelo Kogan A. Resistencia de Malezas a Herbicidas. Revista Agronomía y Forestal UC (Extensión y Desarrollo de la Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal de la Pontificia Universidad Católica de Chile), edit. Alvimpress, Chile., Octubre de 20, Número 13. Disponible en: [http://www.puc.cl/agronomia/c\\_extension/Revista/Ediciones/13/Sumario13.htm](http://www.puc.cl/agronomia/c_extension/Revista/Ediciones/13/Sumario13.htm)
  11. Departamento de agricultura y protección al consumidor. La agricultura y el medio ambiente: es hora de intervención mundial. (Revista Enfoques) FAO, abril del 2007. Disponible en: <http://www.fao.org/AG/esp/revista/0704sp1.htm>
  12. [Departamento de Desarrollo Sostenible](#). Análisis del Carácter Multifuncional de la Agricultura y la Tierra; FAO, Maastricht, Países Bajos, septiembre de 1999 Disponible en: [http://www.fao.org/mfcal/pdf/st\\_s.pdf](http://www.fao.org/mfcal/pdf/st_s.pdf)
  13. Ramírez Alcázar L. O. Hidroponía, perspectivas actuales de desarrollo en México. (Tesis para licenciatura); Universidad Autónoma Chapingo (Edo. de México). 2000.
  14. Canul Caamal V.V. Evaluación de métodos de desinfección de semillas y de duración del ciclo de cultivo de forraje verde hidropónico. (Tesis de licenciatura); Universidad Autónoma Chapingo. (Edo. de México), 1997
  15. Lopez Rios, Georgina Florencia. Sistema agrícola de Chinampas: Perspectivas agroecologica; Edit Universidad Autónoma Chapingo, dirección de difusión cultural, México, 1988
  16. Albores Zarate, Beatriz. Origen pre-mexica de las chinampas de la zona lacustre del alto Lerma Mexiquense; Edit. por el Colegio Mexiquense A.C., México, 1998. Disponible en: <http://www.agua.org.mx/content/view/149/101/>
  17. Román López, Teresa. Las grandes ciudades del Indo. (Espacio, Tiempo y Forma. Revista de Historia Antigua). Edit. Universidad Nacional de Educación a Distancia, UNED: Facultad de Geografía e Historia. España, 1997 (10), Pág: 23-33. Disponible en: <http://62.204.194.45:8080/fedora/get/bibliuned:ETFSerie2-8DE942C4-6320-39C3-F1A5-497458A19A8D/PDF>
  18. Velasco Velasco, Saúl. Desinfección de semilla de trigo (*Triticum aestivum* L.), Lenteja (*Lens sculenta* L.), Alfalfa (*Medicago sativa* L.) y Ajonjolí (*Sesamun*

- indicum L.) para germinado. (Tesis para licenciatura); Universidad Autónoma Chapingo (Edo. de México). 2000.
19. Gonzalez Compilador, Carlos Javier. Chinampas prehispánicas; 1 Ed, Edit. INAH, México 1992
  20. Stephan-Otto, Edwin. Xochimilco hoy; una realidad insustentable; 1 ed, Edit. UNAM(Facultad de ciencias políticas), México DF, 2005
  21. Stephan-Otto, Edwin. La chinampa: evaluación y sustentabilidad; Edit Universidad Autónoma Chapingo (Patronato del parque ecológico de Xochimilco, México DF, 2001.
  22. Lopez Rios, Georgina Florencia. Sistema agrícola de Chinampas: Perspectivas agroecologica; Edit Universidad Autónoma Chapingo, dirección de difusión cultural, México, 1988
  23. Cubillas Domínguez, Maria de Roció. Comparación de la composición proximal, digestibilidad y balance de nitrógeno en ovinos del germinado de trigo a 8 y 12 días con sustrato de rastrojo de maíz. (Tesis de licenciatura); UNAM. México (DF), 1990.
  24. Monroy López, Jorge Francisco. Efecto de diferenciación de fósforo sobre la composición bromatológica y tasas de fermentación de forraje hidropónico de avena. (Tesis de licenciatura); UNAM. México (DF), 1990.
  25. Espinosa Schoelly, Norma. Evaluación nutricional in-vitro de forraje hidropónico de avena con y sin sustrato y cosechado a cuatro diferentes edades. (Tesis de licenciatura); UNAM. México (DF), 1991.
  26. Morga Cid, Lidia. Evaluación nutricional de cultivo hidropónico de avena y cebada, con rastrojo de maíz como sustrato, con y sin tratamiento de hidróxido de sodio. (Tesis de licenciatura); UNAM. México (DF), 2001
  27. Narváez García, Ana Maria. Contenido de Ca, Mg, P, Zn, Cu, Fe y ácido fítico en germinados de trigo, cebada y sorgo. (Tesis de licenciatura); UNAM. México (DF), 1995
  28. Wells M, Guillermo; Tima P, Marcelo; Figueroa R, Marcos; Rodríguez R, Hernan; Muñoz, Claudio. Uso de grano de triticales germinado bajo condiciones

- hidropónicas, en la alimentación de pavos. Agro-Ciencia. Chile 1992 Ene-Jun; 18(1); p. 15-21.
29. Samperio Ruiz G. Hidroponía Básica. 1ª ed. Diana, México (DF), 1977.
  30. Ortega Obregón F. de J. Evaluación nutricional en laboratorio de forraje hidropónico de cebada. (Tesis de licenciatura); UNAM. México (DF), 1990
  31. Herrera Angulo, Ana María, Depablos Alviarez, Luis Alberto, Lopez Maduro, Rafael et al. 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. [online]. ago 2007, 17(4) [citado 23 Abril 2008], p.372-379. Disponible en: [http://www.serbi.luz.edu.ve/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0798-22592007008000009&lng=es&nrm=iso](http://www.serbi.luz.edu.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-22592007008000009&lng=es&nrm=iso)
  32. Fernández, Juan Izquierdo. Manual técnico: Forraje verde hidropónico. Primera Parte. 68 pp. Oficina Regional para América Latina y el Caribe, FAO, Chile (Santiago), 2001. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/field/009/ah472s/ah472s00.htm>
  33. Hernández Hernández, Ana Isabel. Sustitución parcial del alimento concentrado por hidroponía de trigo durante las etapas de crecimiento, desarrollo y finalización en cerdos. (Tesis de licenciatura); UNAM. México (DF), 1990.
  34. forrajeverde.com. FVH: Forraje verde hidropónico, suplemento completo y de bajo costo para animales herbívoros. 1998 [citado 23 Abril 2008]. Disponible en: <http://www.forrajeverde.com/fvh.htm>
  35. Carballido Carilin, Claudia D. Forraje verde hidropónico. Artículos silvoagropecuarios. 2005 agosto [citado 14 marzo 2008]. Disponible en: <http://www.cadenacuy.pe/Hidroponico-B01.shtml>
  36. Casasús Isabel. Alternativas de cebo de terneros en praderas de alfalfa. Informaciones Técnicas. [online]. 2007, no. 186 [citado 10 septiembre 2008]. Disponible en: [http://portal.aragon.es/portal/page/portal/AGR/PUBLICACIONES/INFOTEC/INFOTEC\\_171\\_180/186-07.pdf](http://portal.aragon.es/portal/page/portal/AGR/PUBLICACIONES/INFOTEC/INFOTEC_171_180/186-07.pdf)



37. Alemán Ortega M.L. Evaluación nutricional de forraje hidropónico de cebada y avena, con bagazo de caña como sustrato. (Tesis para licenciatura); UAEM. Amecameca. (Edo. de México), 2001
38. Rodríguez de la Rocha, Sonia G. Hidroponía: agricultura y bienestar. Ed. Universidad Autónoma de Chihuahua. Chihuahua (Chihuahua), 2002
39. Gómez Medina, Luis Antonio. Evaluación nutricional de forraje hidropónico de cebada con y sin microelementos a cuatro densidades de siembra, en laboratorio. (Tesis de licenciatura); UNAM. México (DF), 1995.
40. Marulanda Tabares, César Hernán; Fernández, Juan Izquierdo. La Huerta Hidropónica Popular. Curso Audiovisual. Ed. Oficina Regional para América Latina y el Caribe, FAO, Chile (Santiago), 2003. Disponible en: <http://www.rlc.fao.org/es/agricultura/aup/pdf/10046.pdf>
41. Berlijn J. D. Riego y Drenaje. 2ª ed. Trillas, México (DF), 1990
42. Zamora Salgado, Sergio. Eficiencia en el uso del agua en maíz (*Zea Mays* L.) con riego por goteo, en el valle de la paz, Baja California Sur, México. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias. [online]. ago 2007, 16(3) [citado 01 octubre 2008], p.33-36. Disponible en: <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/932/93216308.pdf>
43. Howard M.R.: Cultivos Hidropónicos. 5ª ed. Mundi-Presa; México, 2001
44. Mateo Sánchez, José M; Cobos Peralta, Mario A; Trinidad Santos, Antonio; Cetina Alcalá, Víctor y Vargas Hernández, Jesús. Aislamiento de bacterias ruminales degradadoras del aserrín. Agrociencia. Colegio de posgraduados. Sept-Oct 2002, 36(05) [citado 03 oct 2008]
45. Angeles, Campos, Sergio C; Gochi, Luis Corona; Escamilla Gallegos, J. Ismael; Melgarejo Velásquez, Lucas G; Spross Suárez, A. Kart. Alimentación Animal. UNAM, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, División Sistema Universidad Abierta y Educación a Distancia, México (DF), 2001
46. Pond, Wilson G. Fundamentos de nutrición y alimentación de animales. 2ª ed. Limusa, México (DF), 2003
47. Morrison, Frank. B. Compendio de alimentación del ganado. Reimpresión, Limusa, Mexico, 1977

48. Flores Menéndez, Jorge Alberto. Bromatología animal. 3ª ed. Limusa, México, 1988
49. McDonald, Peter. Nutrición animal. 5ª ed. Acribia S.A. España. 1995
50. Bidwell, Roger Grafton Shelford. Fisiología vegetal. 1ª ed. AGT S. A. México, 1979
51. Vazquez, Marco Aguilar. Evaluación de la composición química de la avena (*Avena sativa* var. Chihuahua), sometida a henificación y ensilaje en el centro ovino del programa de extensión agro-pecuaria (C.O.P.E.A.). (Tesis de licenciatura); UNAM. México (DF), 1984.
52. Belmar Casso, Roberto; Nava Montero, Rutilio. Factores anti-nutricionales en la alimentación de animales monogástricos. 1994 (Trabajo de investigación) [citado 04 octubre 2008] Disponible en: [http://www.sian.info.ve/porcinos/publicaciones/encuentros/viii\\_encuentro/roberto.htm](http://www.sian.info.ve/porcinos/publicaciones/encuentros/viii_encuentro/roberto.htm)
53. National Research Council (NRC). Nutrient Requirement of Swine. 10th revised edition. National Academic Press. Washington D.C USA. 1998. Disponible en: [http://www.nap.edu/openbook.php?record\\_id=6016&page=148](http://www.nap.edu/openbook.php?record_id=6016&page=148)
54. Ceballos Ortega, Alejandra. Evaluación nutricional de forraje hidropónico de avena, cebada, trigo y triticale en laboratorio. (Tesis de licenciatura); UNAM. México (DF), 1989.
55. Carballo Mondaca, Carlos Ramón. Manual de procedimientos para germinar granos para alimentación animal. *ZOE Tecno-Campo*. 2000 marz 2, Sinaloa (Culiacán). Disponible en: <http://www.zoetecnocampo.com/Documentos/germinados.htm>
56. Moreno Martínez, Ernesto. Análisis físico y biológico de semillas agrícolas. 1ª ed. Dirección general de publicaciones. México, 1984.
57. Cheeke P. R.: Alimentación y Nutrición del Conejo. Acribia, Zaragoza (España), 1995.
58. Moreno Martínez, Ernesto. Análisis físico y biológico de semillas agrícolas. 1ª ed. Instituto de Biología, UNAM. México, 1984.

59. Morfin Loyden, Lilian. Manual del laboratorio de bromatología. UNAM, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Departamento de Medicina Veterinaria y Zootecnia, División de Ciencias Pecuarias. México, 1997
60. Tejada de Hernández, Irma. Control de calidad y análisis de alimentos para animales. 1ª ed. Secretaria de producción pública. México, 1992
61. Wayne W. D. Bioestadística, Base para el Análisis de las Ciencias de la Salud; 4ª ed, Limusa WILEY; México, 2002.
62. Kuehl R. O. Diseño de Experimentos. Principios Estadísticos de Diseño y Análisis de Investigación; 2ª ed, Thomson editores, México, 2001
63. Vázquez Yanes, Carlos. ¿Cómo viven las plantas?. Sección de biología. Biblioteca digital. [online] [citado 29 Abril 2008]. Disponible en: <http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/48/html/viven.html>
64. Ponce Salazar, Juan. Estudio de la fijación del nitrógeno en el forraje hidropónico de trigo (*Triticum sativum* L.) destinado para la alimentación animal. (Tesis de licenciatura); UNAM. México (DF), 2000.
65. Miller, Erston V. Fisiología vegetal. 1ª ed. Uteha. México (DF), 1981.
66. Maynard, Leonard Amby. Nutrición animal; 7ª ed, McGRAW-HILL, México, 1981
67. CLEMENTE J, Ever, ARBAIZA F, Teresa, CARCELEN C, Fernando *et al.* Evaluación del valor nutricional de la Puya llatensis en la alimentación del cuy (*Cavia porcellus*. *Rev. investig. vet. Perú.* [online]. ene./jun. 2003, vol.14, no.1 [citado 07 Mayo 2008], p.01-06. Disponible en la World Wide Web: [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1609-91172003000100001&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1609-91172003000100001&lng=es&nrm=iso)
68. Aguirre, César, Chavez, Tztzqui, Garcia, Pedro *et al.* El Silicio en los organismos vivos. *INCI.* [online]. ago. 2007, vol.32, no.8 [citado 03 Mayo 2008], p.504-509. Disponible: [http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0378-18442007000800004&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442007000800004&lng=es&nrm=iso)

69. Herrera Angulo, Ana María, Depablos Alviarez, Luis Alberto, López Maduro, Rafael *Et Al.* Degradabilidad y digestibilidad de la materia seca del forraje hidropónico de maíz (*Zea Mays*): Respuesta animal en términos de consumo y ganancia de peso. *RC.* [online]. ago. 2007, vol.17, no.4 [citado 03 Mayo 2008], p.372-379. Disponible en:  
[http://www.serbi.luz.edu.ve/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0798-22592007008000009&lng=es&nrm=iso](http://www.serbi.luz.edu.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-22592007008000009&lng=es&nrm=iso)