



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLÁN



MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

Forraje hidropónico (FH) en la alimentación de ovinos
“Revisión bibliográfica”

TESIS QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

PRESENTA.

Edwin Araiza Gómez

Asesora: Dra. Ma de los Angeles Ortiz Rubio
Co-asesora: Dra. María Magdalena Guerrero Cruz

Cuautitlán Izcalli, Estado de México, 2021.



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

I. RESUMEN.....	1
II. INTRODUCCIÓN.....	2
III. MARCO TEÓRICO	4
3.1. GENERALIDADES	4
3.1.1. Antecedentes históricos de la hidroponía	4
3.1.2. Antecedentes históricos del forraje hidropónico.....	7
3.1.3. Ventajas y desventajas del forraje hidropónico.....	9
3.2. PROCESOS DE PRODUCCIÓN	12
3.2.1. Selección de las semillas.....	12
3.2.2. Prelavado de las semillas	14
3.2.3. Desinfección de las semillas.....	14
3.2.4. Remojo o pre-germinación de las semillas	15
3.2.5. Especies para la producción de forraje hidropónico	16
3.3. INSTALACIONES Y EQUIPO	18
3.3.1. Ubicación de la unidad de producción.....	18
3.3.2. Instalaciones y áreas de producción de forraje hidropónico.....	19
3.3.3. Tipo de instalaciones	20
3.4. CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS	22
3.4.1. Iluminación.....	23
3.4.2. Temperatura.....	24
3.4.3. Humedad	25
3.5. SIEMBRA.....	26
3.5.1. Módulos de germinación y producción.....	26
3.5.2. Tipos de siembra.....	27
3.5.3. Dosis de la siembra por especie forrajera.....	27
3.6. RIEGO	29
3.6.1. Tipos de riego	32
3.6.2. El agua de riego.....	33
3.6.2.1. Calidad	34

3.7. SOLUCIONES NUTRITIVAS	35
3.7.1. Composición de la solución nutritiva por especie forrajera	40
3.7.2. Otro tipo de soluciones nutritivas	41
3.8. LA COSECHA	43
3.8.1. Método de cosecha	44
3.8.2. Almacenamiento	44
3.8.3 Análisis nutricional del forraje hidropónico general y por especie	45
3.8.4. Rendimiento productivo del forraje hidropónico	58
3.9 FITOSANIDAD EN EL CULTIVO	60
3.10. EMPLEO DEL FORRAJE HIDROPÓNICO EN LA ALIMENTACIÓN OVINA	62
3.10.1. La industria ovina en México	63
3.10.2. Características de la alimentación de los ovinos en México	64
3.10.3. Comportamiento productivo ovino al consumir forraje hidropónico	66
3.10.3.1. Consumo	66
3.10.3.2. Palatabilidad	69
3.10.3.3. Ganancia de peso	69
3.10.3.4. Conversión alimenticia	72
3.10.3.5. Digestibilidad	73
3.10.3.6. Rendimiento y composición de leche	74
3.10.3.7. Estado de salud	75
IV. CONCLUSIONES	77
V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	78

I. RESUMEN

La producción agrícola y ganadera es muy susceptible al empobrecimiento de los suelos, así como a los fenómenos climatológicos adversos, condiciones presentes en México, afectando negativamente la producción convencional de forraje utilizado en la alimentación de los ovinos. Por lo anterior, en la presente revisión documental se encontró que el forraje hidropónico (FH), un tipo de cultivo realizado en ausencia de tierra el cual ha experimentado avances a nivel mundial y que representa un potencial económico, puede ser una alternativa de producción alimenticia para el ganado ovino, la técnica consiste en germinar semillas de cereales en charolas y riego especial bajo condiciones ambientales controladas, con el propósito de obtener forraje en un periodo corto en comparación con la siembra directa. El forraje se entrega a los animales en forma de tapete para consumo directo tanto las hojas como las raíces y restos de semillas, obteniendo de esta fuente proteína, energía, vitaminas y minerales. Gran parte de las producciones ovinocultoras tiene un sistema de alimentación basado en pastos naturales que se caracterizan por bajo contenido de proteína y alto contenido de fibra, solo algunos productores suministran raciones complementarias y esporádicamente se les proporcionan vitaminas y sales minerales, por lo que el comportamiento productivo animal suele ser bajo. Apuntando así la utilidad del FH, especialmente en períodos de sequía cuando el forraje es escaso o en zonas con climas desfavorables como desiertos, montañas y regiones árticas, sin embargo, el uso del FH no ha sido amplio por lo que se necesita mayor investigación al respecto para poder considerarlo como una alternativa complementaria en la alimentación ovina y mejorar los parámetros productivos.

II. INTRODUCCIÓN

La agricultura es una de las actividades de producción de alimentos más importantes a nivel mundial, millones de hectáreas son tierras de cultivo. Sin embargo, un bajo porcentaje de ellas son manejadas con métodos de irrigación que permiten tener control en la cantidad de agua que requieren las plantas y mantener algún control sobre la producción, igualmente para la ganadería, se destinan millones de hectáreas en la explotación de pastizales naturales y, por otro lado, la siembra para la producción de forrajes, maíz, avena y sorgo (Ramírez, 2014; Morales-Velasco *et al.*, 2016).

Existen diferentes elementos que influyen para un buen desarrollo del sector agropecuario como son el relieve del suelo, acceso a fuentes de agua, un clima adecuado en cuanto a humedad y temperatura, así como la vegetación y forrajes los cuales se utilizan para alimentación del ganado, todo esto con fines de producción para el consumo humano (Sosa-Rodríguez, 2015).

Como se menciona en el párrafo anterior, el clima es clave para el sector agropecuario, a lo que Sosa-Rodríguez (2015) indica que el cambio climático (CC) tendrá graves repercusiones en temperatura y precipitaciones, esto favorecerá la ocurrencia de eventos hidrometeorológicos extremos (inundaciones, sequías y olas de calor) que tendrán severos impactos en la salud, sistemas de distribución de agua, drenaje y agricultura. Los países en desarrollo, probablemente, serán los más expuestos a los efectos del CC, pues con regularidad son los menos capaces para enfrentar los impactos de este fenómeno, ya que presentan restricciones financieras y tecnológicas que limitan sus capacidades para crear tecnología o construir grandes obras de infraestructura. Sumado a proyecciones donde se indica que, en los próximos 20 años, debido al crecimiento poblacional, (se sumarán mil millones de personas a la población actual) se necesitará incrementar al doble la producción de alimentos (Ballesteros-Barrera *et al.* 2011).

Al igual que para la mayoría de los países, para México, la ganadería es de las actividades económicas más importantes, de acuerdo con el Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria (CEDRSSA), las actividades del sector primario donde se encuentra la ganadería representan el 3.7% del Producto Interno Bruto (PIB) total de México en el año 2020; dicha ganadería puede ser extensiva, intensiva o de autoconsumo y requiere de la utilización eficiente de cada uno de los factores de la producción, uno de los más importantes es la alimentación animal, por ser la clave del éxito o fracaso de las Unidades de Producción Pecuaria (UPP), y representa un verdadero reto el determinar el mejor método de alimentación dependiendo de la especie animal y el tipo de UPP utilizada (Gómez, 2012).

Por lo anterior, el productor se ve obligado a buscar nuevas alternativas para reducir los costos de producción, pudiendo ser el forraje hidropónico una alternativa importante de alimento para los actuales sistemas de la producción pecuaria al utilizar el poder germinativo de los granos (cebada, maíz, trigo, etc.), aprovechando los nutrientes básicos necesarios, para un crecimiento y desarrollo eficientes en las diferentes especies zootécnicas (Mejía *et al.* 2011; Gómez, 2012).

La hidroponía es utilizada en la producción de vegetales y hortalizas, así como en la producción de forraje, a su vez ofrece una alternativa para la producción rápida y simple de forraje verde de gran valor en época seca o zonas áridas (Ramírez, 2014).

El sistema hidropónico fue objeto de estudio en el presente trabajo, por su característica de no tener dependencia directa con el clima, produciéndose todo el año lo que puede representar un factor elemental para el sustento de las zonas que presentan climas adversos al tiempo que cumpliría con las demandas de producción y aseguraría el buen estado de los sistemas ecológicos (Díaz-Padilla *et al.*, 2011).

III. MARCO TEÓRICO

3.1. GENERALIDADES

3.1.1. Antecedentes históricos de la hidroponía

La hidroponía ha estado presente en la tierra desde antes de la presencia del hombre, en los océanos primigenios particularmente en el período Cámbrico de la era paleozoica, con la proliferación de organismos fotosintéticos el oxígeno comenzó a acumularse en la atmósfera, la cual se fue transformando de una atmósfera reductora a una oxidante (con abundante oxígeno), estos cambios generaron en ese entonces el primer sistema hidropónico natural (Beltrano y Giménez, 2015).

Diversos autores como Gómez (2012); López y Mcfield (2013); Naik *et al.* (2015); Orjuela (2015); López-Anchondo *et al.* (2016); Abarca *et al.* (2016) coinciden que la hidroponía, agricultura hidropónica o “*soiless culture*”, es el cultivo de plantas en ausencia de tierra, la palabra hidroponía proviene del lenguaje griego “*hidro*” que significa “agua” y “*ponos*” cuyo significado es “labor o trabajo”. En esta técnica de cultivo, los nutrientes que la planta requiere para crecer y que normalmente encuentra en la tierra son suministrados en el agua (Ramírez, 2016).

Los inicios del uso de la hidroponía podrían remontarse a la época de dos culturas: los aztecas y la babilónica, la primera en Mesoamérica (1111 d.C.-1521 d.C.) usaban las chinampas (jardines flotantes o camellones), que se trataban de porciones de tierra construidas por los mismos habitantes dentro de los lagos o canales de riego usadas como uno de los principales medios de cultivo en la ciudad azteca, aunque llamados jardines flotantes éstos en realidad no flotaban, sino que eran islas artificiales. La segunda cultura, en Mesopotamia (1894 a.C.-539 a.C.), los llamados jardines colgantes de babilonia eran meramente decorativos, lejos de ser jardines colgantes, suspendidos en el aire, eran terrazas puestas en forma

escalonada (Herrera y Echavarría, 2010). Si bien en estas dos técnicas de cultivo se utilizaba tierra a diferencia de la hidroponía actual, se planteaba una idea muy clara, cultivar plantas en ambientes aislados del entorno (Fernández y Guailas 2012; López-Anchondo *et al.* 2016).

Posteriormente, se apunta al químico Jan Baptista Van Helmont (1577-1644), quien realizó un experimento, en el cual sembró un árbol en una cantidad de tierra desecada en un horno y posteriormente pesada, después de 5 años de riego con agua de lluvia así como agua destilada, encontró que la cantidad de tierra era prácticamente la misma, mientras que el árbol había aumentado en 74 kg, Baptista atribuyó esta diferencia de peso a que el árbol había crecido solamente por el agua de riego (Herrera y Echavarría, 2010; Morales *et al.* 2012; López-Anchondo *et al.* 2016).

Tiempo después, John Woodward en 1699, publicó su trabajo “Algunos pensamientos y experimentos sobre la vegetación”, dio a conocer su idea de que las plantas se nutrían del agua y no del suelo (hoy es sabido que esto no es en su totalidad cierto), el documento presentaba que las plantas en ausencia de tierra, crecían mejor en agua menos pura que en agua destilada, sus experimentos se basaron en hacer crecer plantas en diversos recipientes en medio líquido al que había añadido diferentes cantidades de suelo (Urrestarazu, 2015).

Se ha documentado que en los años 1860-1861, los botánicos alemanes Julius Von Sachs y Wilhelm Knop, fueron los primeros en realizar mejoras notables en las soluciones con nutrientes minerales para el cultivo sin suelo, lograron aislar la planta del suelo y mediante varios experimentos lograron crecer plantas en soluciones acuosas de nutrientes minerales, técnica conocida entonces como nutricultura (Guzmán, 2010).

Zambrano (2012) por su parte, apunta que en 1937 el doctor William Frederick Gericke, de California, Estados Unidos acuñó el término de hidroponía después de

que lograra crecer tomates con un tamaño mayor del promedio, usando solamente soluciones acuosas de minerales, fue tal el éxito que obtuvo, que de inmediato la experiencia se difundió.

En el año 1950, Dennis R. Hoagland, quien desarrolló soluciones acuosas minerales que sirvieron de sustrato para el crecimiento de las plantas mediante hidroponía, implementó lo que hoy se conoce como la solución Hoagland, ésta provee a la planta de todos los nutrientes para que obtenga un rápido crecimiento (Zambrano, 2012).

Durante la Segunda Guerra Mundial, las tropas instaladas en las islas remotas del Pacífico no podían abastecerse de vegetales frescos ni había lugar para sembrar. En 1945, la fuerza aérea de los Estados Unidos construyó una de las fincas hidropónicas más grandes en la isla Ascensión en el Atlántico Sur, seguido por proyectos adicionales en Iwo Jima, Okinawa y Hawaii en el Pacífico, usando roca volcánica como medio de cultivo y grava. Estas fincas llenaron la necesidad de vegetales que tenían los soldados ubicados en esas áreas. La idea se expandió a través del mundo, especialmente en Holanda, Francia, España, Inglaterra, Alemania, Suiza e Israel, ya que resultaba ideal para áreas con poca precipitación, con suelos pobres o ausentes y acceso difícil, lo que motivó a continuar con la búsqueda de materiales y diseños en este campo (Bosques, 2010).

Desde entonces, los cultivos sin suelo han experimentado un gran avance en todo el mundo y por lo tanto un indudable potencial económico y hoy en día la hidroponía se vislumbra como una solución a la creciente disminución de las zonas agrícolas, producto de la contaminación, la desertización, el cambio climático y el crecimiento desproporcionado de las ciudades (Urrestarazu, 2015).

3.1.2. Antecedentes históricos del forraje hidropónico

Autores como Juárez-López *et al.* (2010); Corona, (2011); León, (2012); Meneses, (2012); García-Carrillo *et al.* (2013); Ramírez, (2014); Orjuela, (2015); Ramírez, (2016); Castellanos, (2016); Boccanera, (2017), indican que la producción agrícola es muy susceptible al empobrecimiento de los suelos por la erosión y explotación intensiva, así como a los fenómenos climatológicos adversos, tales como las sequías prolongadas, nevadas, inundaciones, lluvias de cenizas volcánicas, la falta y contaminación de las aguas vienen incrementando su frecuencia en estos últimos años, afectando negativamente la producción o limitando el acceso al forraje producido en forma convencional para alimentación de los animales.

En la presente revisión bibliográfica se apunta a México un país con gran vulnerabilidad a los efectos del cambio climático, hacia el noroeste con zonas afectadas por sequías cada vez más acentuadas, hacia el sureste con inundaciones más constantes; además de los fenómenos meteorológicos extremos y una endeble estructura socioeconómica. El cambio climático eventualmente hará que más de la mitad del territorio cambie sus condiciones de temperatura y precipitación, lo que afectará en principio a las regiones de latitudes bajas y zonas costeras (Morales *et al.* 2012; López y Mcfield, 2013; Arias *et al.* 2019; Urresta, 2020).

De la mano al tema del cambio en el clima, este tiene una importante implicación sobre el tejido vegetal, el cual presenta una menor digestibilidad, lo que se puede traducir en un menor aporte nutricional a los animales que lo consuman (Ramírez, 2016).

Lo anterior constituye un problema en los hatos ganaderos por el bajo rendimiento, disponibilidad y calidad de los pastos para los animales, algunas opciones para adaptarse son, cambios tecnológicos para mantener o aumentar la productividad animal en un contexto de conservación y buen manejo de los recursos naturales. Ello redonda contar con alternativas de producción de forraje que permitan paliar o

prevenir pérdidas productivas especialmente a nivel de los pequeños y medianos productores ganaderos (Alayon-Gamboa *et al.* 2016; Capa y Loayza, 2017).

Como se mencionó anteriormente la técnica de hidroponía es un tipo de cultivo sin tierra, en el cual se hace crecer plantas con o sin sustratos inertes, la técnica se origina con la necesidad de producir alimentos por parte de pobladores que carecían de tierras fértiles para el cultivo, esto orientó e incentivó a productores ganaderos a utilizar dicha técnica en la producción de forraje (Madariaga, 2012).

El forraje hidropónico es una biomasa vegetal obtenida a partir de la germinación de granos de cereales y leguminosas como son el maíz forrajero, trigo, avena, cebada, entre otros. Estos granos se siembran en condiciones ambientales controladas y se cosechan en un periodo de 10 a 14 días. Para su producción no se utiliza ningún sustrato, solamente semilla forrajera, charola forrajera, algunos utilizan una solución nutritiva adecuada para la especie y agua (Sánchez del Castillo *et al.* 2013; Juárez-López *et al.* 2013; Méndez y Mahecha, 2015; Zagal-Tranquilino *et al.* 2016; Morales, 2017; Maza, 2017; Rodríguez y Díaz, 2017; Espinosa, 2019).

El sistema fue inicialmente desarrollado y aprobado en Australia, donde se convirtió en un salvavidas para los ganaderos que lucharon con una de las peores sequías por décadas, generando en muchos productores un gran interés (Ramírez, 2014).

Se trata de un alimento altamente nutritivo que puede ser incluido en la dieta de animales rumiantes y no rumiantes como ovejas, cerdos, cabras, vacas lecheras, caballos, conejos, aves de corral, cuyes, durante todos los días del año y en cualquier localidad geográfica. Constituyendo una tecnología complementaria para la producción de forraje destinado a la alimentación animal, basada en alta productividad en poco tiempo, con alto valor nutricional y con alta digestibilidad, siendo además, consumido en su totalidad, es decir raíces, semillas y hojas (Pérez *et al.* 2012; Ramos, 2014; González y Blandón, 2014; Jaume *et al.* 2014; Ramírez, 2016; Boccanera, 2017; Maza, 2017; Espinosa, 2019).

La tecnología de forraje hidropónico como se mencionó anteriormente es complementaria y no intenta competir con la producción convencional de forraje a partir de especies aptas para cultivo forrajero convencional (avena, mezclas de trébol y gramíneas, alfalfa, etc.) pero si complementarla especialmente durante periodos de déficit (Corona, 2011; Juárez-López *et al.* 2013; García-Carrillo *et al.* 2013; Ramírez, 2014; Castellanos, 2016; Boccanera, 2017; Arias *et al.* 2019).

3.1.3. Ventajas y desventajas del forraje hidropónico

VENTAJAS

Las ventajas del FH reportadas por Gómez (2012); Madariaga (2012), León, (2012) se enlistan de la siguiente manera:

- Es apto para ser suministrado a diferentes especies de animales.
- Excelente alternativa de complemento en la alimentación animal.
- El tiempo entre la siembra y la cosecha no supera los 15 días.
- Es cultivado exitosamente en medio de climas adversos.
- Aprovechamiento de suelos no aptos para la agricultura tradicional.
- Eficiencia en el uso de espacio.
- Eficiencia en uso de agua.
- Es limpio e inocuo.
- Tiene alta digestibilidad.
- Posee alto contenido en proteína, aporta vitaminas y minerales.
- No genera trastornos digestivos.
- Reduce la mortalidad en épocas de sequía y estiaje.
- Su aspecto (color y textura) atraen al animal y lo hace apetecible.

Múltiples autores como Meneses (2012); García-Carrillo *et al.* (2013); Jaume *et al.* (2014); Ramírez (2016); Maza (2017); Urresta (2020) coinciden en la eficiencia en el uso de espacio, ya que la mayoría de los sistemas de forraje hidropónico, la producción se realiza en módulos verticales lo que optimiza el espacio.

Rendimientos obtenidos con hidroponía superan a la producción de forraje en suelo, pero en superficies 100 veces menor. En el mismo sentido Al-Karaki (2011); Morales *et al.* (2012); Varela (2017) reportan que se han podido cosechar más de 75 kg de FH en 2.0 m² de superficie con un diseño de tres pisos de bandejas, funcionando como alternativa en producciones agropecuarias donde se cuenta con superficies reducidas.

Fuentes *et al.* (2011b); Trejo-Téllez y Gómez-Merino (2012); Maldonado *et al.* (2013); Orjuela (2015); Paillacho (2017) apuntan que el forraje hidropónico requiere solo alrededor del 2-3% del agua utilizada en condiciones de campo para producir la misma cantidad de forraje, que resultan alrededor de 1.5 - 2.0 L de agua para producir 1.0 kg de FH, con un porcentaje de materia seca que oscila, dependiendo de la especie forrajera, entre un 12% a 18%. En su trabajo Meneses (2012) reportó que para producir 1.0 kg de forraje hidropónico se requirieron 2.6 L de agua. En el mismo sentido Madariaga (2012); López y Mcfield (2013); Mysaa (2016) reportan un consumo total de 15 a 20 L de agua por kg de materia seca. En términos de pérdidas de agua, Gómez (2012); Morales (2017); y Yousof *et al.* (2018) en procesos como escurrimiento superficial y evapotranspiración mencionan que las pérdidas son mínimas en comparación con las condiciones de producción convencional. Finalmente, Ramos (2014); Bedolla-Torres *et al.* (2015), reportan que algunos sistemas de producción tecnificada el agua utilizada para riego es recirculada, permitiendo el uso y ahorro eficiente de la misma.

El sistema de producción del forraje hidropónico bajo condiciones controladas de luminosidad, temperatura, riego, entre otras, impide sea contaminado por fuentes externas, por ejemplo, no existen malezas que dañen a los animales, no hay excrementos de ningún tipo, no se presentan problemas parasitarios, no está pisoteado, por el contrario es limpio e inocuo (León 2012; Al-Karaki y Al-Hashimi 2012; Juárez-López *et al.* 2013; González y Blandón 2014; Abarca *et al.* 2016; Varela 2017; Tawfeeq *et al.* 2018; Alcaraz-Romero *et al.* 2019).

En función de lo planteado, diversos autores (Herrera y Echavarría 2010; Fuentes *et al.* 2011a; Juárez-López *et al.* 2013; Abarca *et al.* 2016; Moya 2018), coinciden que gracias a la elevada carga proteínica el forraje hidropónico mejora los parámetros productivos de los animales que lo consumen, a su vez, Herrera-Torres *et al.* (2010); Méndez y Mahecha (2015); Arias *et al.* (2019), indican que el FH aporta vitaminas del complejo B y vitamina E, a la par, es generador de vitaminas esenciales como la vitamina A y la vitamina C, por tener una alta cantidad de carotenos; en ese mismo sentido, Al-Karaki (2011); Maldonado *et al.* (2013); Boccanera (2017) destacan el aporte en porcentaje de minerales como el calcio (0.11) y fósforo (0.30), los cuales varían de acuerdo a la especie forrajera utilizada.

Debido a las cualidades alimenticias antes mencionadas que presenta el forraje hidropónico sumadas a lo que autores como Ramírez (2014); Paillacho (2017); Thadchanamoorthy *et al.* (2012), reportan que la presencia de lignina y celulosa es escasa en el forraje hidropónico le confiere una alta digestibilidad, por su parte, El-Rahman *et al.* (2017); Morales (2017); Urresta (2020) manifiestan que la adición de FH a la dieta en rumiantes mejora la degradabilidad ruminal de reservas forrajeras de baja calidad y por ende el consumo total de materia seca, convirtiéndose así en una opción válida para la alimentación animal.

En el presente trabajo autores como Candia (2014); López-Anchondo *et al.* (2016), señalan características benéficas del sistema de producción de forraje hidropónico tales como: oxigenación y condiciones ambientales óptimas para el crecimiento del forraje, además puede contribuir a la conversión de sistemas convencionales de producción de ganado al sistema orgánico al ser libre de productos químicos como insecticidas, herbicidas, fungicidas; repercutiendo finalmente de acuerdo con Al-Karaki y Al-Hashimi (2012); Cúneo (2017), al mejorar la calidad en los productos de los animales que consumen el forraje hidropónico.

DESVENTAJAS

La literatura consultada indica las siguientes desventajas:

- Falta de información respecto de las exigencias generales del sistema.
- El FH tiene bajo contenido de fibra y de materia seca.

Autores como, Madariaga (2012); López y Mcfield (2013); Ramírez (2014); Maza (2017); Moya (2018) coinciden que el sistema de producción de forraje hidropónico requiere cuidado constante y un compromiso por parte del productor, por parte del personal es necesario recibir capacitación del manejo general ya que, factores como: la especie forrajera a utilizar, requerimientos nutricionales y de agua, condiciones de luz, temperatura, humedad del ambiente son claves para el éxito o fracaso de la producción. Al respecto, Corona (2011); Meneses (2012); Juárez-López *et al.* (2013); Cúneo (2017) indican que un exceso de humedad produce hongos en las plantas y daña la producción.

Jaume *et al.* (2014); Morales (2017); Fernández y Guailas (2012) reportan que el forraje hidropónico presenta bajo contenido de fibra, por este motivo se recomienda como suplemento alimenticio y no como dieta completa para alimentar los animales, agregando diversos rastrojos o alimentos concentrados para complementar la ración en la alimentación del ganado.

3.2. PROCESOS DE PRODUCCIÓN

3.2.1. Selección de las semillas

Para la semilla, autores (León 2012; Fernández y Guailas 2012; Jaume *et al.* 2014; Orjuela 2015; Zagal-Tranquilino *et al.* 2016) coinciden que, en términos ideales se debe conocer el origen de la semilla, su calidad, libre de malezas, plagas, enfermedades y semillas de otros cultivos, para un óptimo rendimiento en la producción, no se deben utilizar semillas que hayan sido tratadas con fungicidas o algún pesticida. A su vez, Meneses (2012); Ramos (2014); Gomez (2018) recomiendan eliminar manualmente semillas en mal estado, quebradas, así como las impurezas que puedan presentar como: piedras, paja, tierra, etc. Dentro de este

orden de ideas, Juárez-López *et al.* (2013) apuntan que la consecuencia en el empleo de pesticidas a las semillas que, si bien favorece la germinación, tiene un inconveniente, dado que los residuos de fungicidas e insecticidas pueden generar problemas en la alimentación del ganado.

Respecto a la calidad de las semillas destinadas para forraje hidropónico se manifiestan tres parámetros básicos:

1) Calidad física:

Daños: semillas partidas o arrugadas, que podrían no germinar y sería más probable que sean atacadas por microorganismos (Saidi y Abo, 2015). Por su parte, el tamaño de las semillas: las que estén maduras y grandes tendrán generalmente mayor germinación y vigor que las semillas pequeñas e inmaduras (Castellanos, 2016).

2) Calidad genética:

Saidi y Abo (2015) y Gomez (2018) refieren aspectos fisiológicos al desempeño de la semilla como el porcentaje de germinación, el cual no debe ser inferior al 75% para evitar pérdidas en los rendimientos de forraje hidropónico y el vigor que se define como la capacidad de emerger del suelo y sobrevivir bajo condiciones estresantes y crecer rápido bajo condiciones favorables. Por su parte, Juárez-López *et al.* (2013) indican que la semilla debe presentar como mínimo un porcentaje de germinación de 90% para evitar pérdidas en rendimiento.

3) Sanidad de las semillas

En la literatura, autores como Ramírez (2016) y Gomez (2018) reportan la sanidad de la semilla, a la presencia o ausencia de microorganismos que causan enfermedades, tales como hongos, bacterias y virus, así como nematodos e insectos; los granos decolorados o manchados son signos de semillas que pueden tener microorganismos que ya las han atacado o las atacarán cuando comiencen a crecer pudiendo difundir la enfermedad a otras plantas (Saidi y Abo, 2015).

Ramírez (2016), recomienda que antes de utilizar la semilla para forraje hidropónico se deben realizar los análisis de laboratorio pertinentes, enfocados principalmente al contenido de micotoxinas, para evitar daños o riesgos a la salud humana, por el consumo de leche o carne de animales alimentados a base de materiales con alto contenido de micotoxinas, a la par de prever posibles problemas y pérdidas en la producción de FH.

3.2.2. Prelavado de las semillas

Algunos autores como Ramos (2014); Ramírez (2016); Mejía y Orellana (2019), concuerdan el sumergir en baldes con agua corriente las semillas y eliminar todas aquellas que flotan, ya que son semillas vacías que no germinaran, y solo afectaran la producción.

3.2.3. Desinfección de las semillas

Con respecto a este tema, en la literatura se reportan varias técnicas, la mayoría de los autores (León 2012; Juárez-López *et al.* 2013; López y Mcfield 2013; González y Blandón 2014; Ramírez 2014; Orjuela 2015; Abarca *et al.* 2016; Castellanos 2016; Capa y Loayza 2017; Morales 2017; Gómez 2018), coinciden en el uso del hipoclorito de sodio al 1.0% (10 mililitros de cloro por cada litro de agua limpia) como el elemento económico y de fácil uso, para llevar a cabo este paso, las semillas son sumergidas en la solución por un tiempo entre treinta segundos y no mayor a los tres minutos, porque un tiempo mayor podría dañar la viabilidad de la semilla. En los trabajos realizados por Fuentes *et al.* (2011b); Mejía y Orellana (2019) existe controversia con respecto al tiempo de desinfección, ya que utilizaron como agente desinfectante hipoclorito de sodio al 1.0%, solo que ellos recomiendan sumergirlas por un tiempo de 10 minutos. Después del proceso de desinfección se deben enjuagar las semillas con agua limpia para eliminar los restos de cloro (Castellón y Tórrez 2018; Espinosa, 2019).

A su vez, autores como Sánchez del Castillo *et al.* (2013); Ramírez, (2016) reportan otra opción viable como agente desinfectante, al utilizar Hidróxido de Calcio (cal apagada) en proporción de 2 gramos por cada litro de agua.

3.2.4. Remojo o pre-germinación de las semillas

En términos generales, la literatura (Rivera *et al.* 2010; Herrera-Torres *et al.* 2010; Ramos 2014; Naik *et al.* 2015; Orjuela 2015; Abarca *et al.* 2016; Castellanos 2016; Urresta 2020) define a esta etapa como la activación del estado de latencia de las semillas, mediante la colocación de estas dentro de una bolsa de tela y a su vez sumergirlas en agua limpia por 24 horas independientemente de la semilla seleccionada. Dicho proceso, de acuerdo con León (2012); Fernández y Guailas (2012); Juárez-López *et al.* (2013); Ramírez (2014); Capa y Loayza (2017); Morales 2017; Varela 2017; Castellón y Tórrez 2018; Gomez 2018; Mejía y Orellana (2019) consiste en sumergir las semillas por un periodo de 24 horas, dividido en dos fases de 12 horas cada una, después de las primeras 12 horas se da un receso u oreado de 1 hora para generar oxigenación adecuada a la semilla, transcurrida la hora de receso, se debe cambiar el agua del recipiente para continuar con la segunda fase de 12 horas, finalizando con un segundo oreado de 1 hora, con esto inducimos la rápida germinación, estimulando al embrión de las semillas para tener crecimiento inicial vigoroso.

Respecto al proceso de pre-germinación, autores como Ramos (2014) y Abarca *et al.* (2016) recomiendan que el recipiente utilizado para el remojo de la semilla sea de material plástico, y no necesariamente translúcido, dado que materiales de metal pueden liberar residuos u óxidos que son tóxicos para las semillas en germinación. Es importante utilizar suficiente cantidad de agua para cubrir completamente las semillas y a razón aproximada de un mínimo de 0.8 a 1.0 L de agua por cada kg de semilla.

En el mismo sentido otros autores como León (2012) y González y Blandón (2014) coinciden en que las semillas poseen sustancias que inhiben la germinación, las

cuales durante el proceso de remojo quedan disueltas en el agua pudiendo ser extraídas, razón por la cual conviene cambiar el agua repetidas veces (cada vez que se torne turbia) a lo largo del proceso de pre-germinación.

Ya que en la literatura (Fuentes *et al.* 2011a) se reporta que el tiempo de remojo afecta el porcentaje de germinación de las semillas, para el caso específico de la avena en condiciones de producción de forraje hidropónico, es favorable para una buena germinación que el remojo oscile entre 12 y 24 horas. Para las semillas de trigo, centeno y cebada Abarca *et al.* (2016) manifiestan que, al remojar con 24 horas de duración, la germinación de las semillas alcanza un porcentaje superior al 90%, suficiente como para lograr un FH de buena calidad.

3.2.5. Especies para la producción de forraje hidropónico

Gomez (2018) señala a la semilla como el principal insumo para la producción de FH, reportándose hasta ahora pocas especies de semillas útiles como FH para la industria ganadera.

Fuentes *et al.* (2011a); Juárez-López *et al.* (2013); Abarca *et al.* (2016); Castellanos (2016); Ramírez (2016) y El-Rahman *et al.* (2017) concuerdan en que el maíz, cebada, avena, sorgo, trigo, son las principales semillas utilizadas en medio hidropónico y que podrían resultar provechosas en la alimentación animal, la elección de la semilla a utilizar de acuerdo con los autores mencionados depende principalmente de la disponibilidad local y/o del precio en que se logren adquirir.

Se reporta en la literatura consultada que las leguminosas, en especial la alfalfa, no es tan eficiente como son las semillas de gramíneas, debido a que su manejo es muy delicado y los volúmenes de producción obtenidos son similares a la producción convencional de forraje, con rendimientos totales que oscilan en promedio entre 25 a 40 ton/ha/año (Juárez-López *et al.* 2013).

A continuación, se mencionarán las cualidades que ofrecen las principales semillas destinadas a la producción de forraje hidropónico.

- Maíz (*Zea mays L.*)

En la literatura (Morales *et al.* 2012; Ramírez 2016) se reporta al maíz como una de las plantas más utilizadas con fines forrajeros, debido a su elevado valor nutritivo y altos rendimientos, es la semilla de mayor uso en la técnica de producción de forraje hidropónico con el potencial de generar elevados y constantes volúmenes de forraje, produciendo alimento a la mitad del costo convencional de forrajes cultivados a campo abierto, tiene buena producción de biomasa y hábito de rápido crecimiento, suministrada a diferentes especies representa una dieta completa que incluye carbohidratos, proteínas, vitaminas y minerales, su aspecto, sabor, color y textura le confieren gran palatabilidad (García-Carrillo *et al.* 2013; Naik *et al.* 2015; López-Anchondo *et al.* 2016; Zagal-Tranquilino *et al.* 2016).

De acuerdo con Morales *et al.* (2012) en áreas de producción con dimensiones de 100 m² puede producirse hasta 500 kg de forraje hidropónico diariamente. Jolad *et al.* (2018), tras evaluar diferentes cultivos, indican que el maíz es la especie idónea para la producción de este tipo forraje, al registrar el mejor rendimiento productivo por cada kilogramo de semilla sembrada (5.48 kg) y valor nutritivo, por encima de FH de avena (3.5 kg) y trigo (3.14 kg).

- Cebada (*Hordeum vulgare*).

Se reporta en la literatura (Gomez 2018) que esta gramínea tiene un cultivo muy versátil, se desarrolla muy bien en suelos agrícolas, también puede desarrollarse bajo condiciones de hidroponía, lo cual permite obtener una biomasa forrajera para la alimentación de los animales.

Al-Karaki y Al-Hashimi (2012) tras su experimentación, consideran a la cebada una de las mejores opciones para la producción de forraje hidropónico al tener buenos resultados de rendimiento (200 ton/ha) y bajo consumo de agua (5.3 L/bandeja).

En el trabajo realizado por Urresta, (2020) se destaca a la cebada como buena especie forrajera para la producción de forraje hidropónico, al tener buen contenido de materia seca (MS) con un valor igual a 1.28 kg/m² y otras características interesantes, como su contenido de proteína (18.20%) y su buena adaptación al sistema hidropónico.

- Trigo (*Triticum aestivum* o *T. vulgare*).

Pertenece a la familia de las gramíneas, como nos mencionan Abarca *et al.* (2016), el trigo es el cereal más cultivado en el mundo, algunas de sus cualidades nutricionales más importantes son: contenido de vitamina E, ácido linoleico y fosfolípidos necesarios para el funcionamiento del organismo. Para una buena producción de forraje hidropónico Orjuela (2015) recomienda contar con un porcentaje de germinación de la semilla sobre un 90%.

- Avena (*Avena sativa*).

La literatura consultada (Caraguay 2016) menciona a las avenas forrajeras un origen asiático, es uno de los cereales de invierno de mayor importancia en los climas fríos del hemisferio norte, una planta herbácea anual perteneciente a la familia de las gramíneas, su grano es un magnífico pienso para el ganado bovino y ovino, en especial es buena para animales de trabajo y reproductores por su alto contenido en vitamina E.

3.3. INSTALACIONES Y EQUIPO

3.3.1. Ubicación de la unidad de producción

En la literatura (León 2012; Orjuela 2015; Birgi *et al.* 2018) se mencionan las siguientes características geográficas favorables para la producción de forraje hidropónico, de preferencia, que en la ubicación se concentre gran porcentaje del stock ganadero regional con UPP que presenten elevados índices productivos y que suelen utilizar suplementos alimenticios, lo anterior, con el fin de facilitar el

suministro de forraje a los animales, su manejo, control y supervisión constante. Además, cercanía con los proveedores de materia prima (semillas) para la producción del FH (Jaume *et al.* 2014; Urresta, 2020).

Con respecto al ambiente en la ubicación de la unidad de producción, León (2012) recomienda especialmente para climas fríos y con el fin de regular la temperatura principalmente durante la noche, construir el invernadero lo más hermético posible y si fuese posible, con doble pared de plástico.

En la misma dirección, Castellanos (2016) sugiere lo siguiente, para iniciar la construcción se debe nivelar bien el suelo, idealmente buscar un sitio que esté protegido de los vientos fuertes, que cuente con disponibilidad de agua para riego preferentemente de buena calidad para abastecer las necesidades del cultivo y finalmente, con acceso a energía eléctrica.

3.3.2. Instalaciones y áreas de producción de forraje hidropónico

Se define al invernadero como una instalación construida para brindar protección en un área determinada, especialmente destinada a la producción agrícola, una de sus características principales, es él permitir el paso de la mayor cantidad de luz solar posible (Meneses, 2012).

Existen diferentes tipos de invernaderos reportados en la literatura (Naik *et al.* 2015), por su nivel de tecnificación El-Rahman *et al.* (2017) los clasifican en, unidades de alta tecnología en el cual se pueden implementar sistemas de iluminación, ventiladores, unidad de enfriamiento (aire acondicionado), unidades de riego automático con el fin de conservar las condiciones apropiadas de microclima, y los invernaderos de bajo costo (nivel de tecnificación bajo o nulo). Orjuela (2015) manifiesta que el nivel de tecnificación depende principalmente del estado financiero del productor y la disponibilidad de material de construcción.

Respecto al tamaño del invernadero, León (2012) y Urresta (2020) recomiendan tener las dimensiones de acuerdo a la cantidad de forraje hidropónico que se quiera producir diariamente, dejando su respectivo margen de seguridad, tomando en cuenta que 4.0 m² son suficientes para producir 15 kg de forraje diario, en el mismo sentido Alcaraz-Romero *et al.* (2019) proponen que el invernadero tenga una dimensión de 120 m², para una capacidad de producción de 288 charolas de FH por ciclo de producción, teniendo 14 días por cada ciclo. García-Carrillo *et al.* (2013) trabajaron en la producción de forraje hidropónico de maíz en un invernadero tipo túnel automatizado con cubierta de plástico con un área de 144 m² con el fin de evaluar la producción y calidad fisicoquímica de leche de cabras al ser suplementadas con esta tecnología.

Hablando de los materiales utilizados para la construcción, León (2012) recomienda que el piso sea de concreto, ya que por la frecuencia de riegos y alta humedad relativa es más funcional y manejable con el fin de evitar encharcamientos y proliferación de hongos.

Finalmente, y encaminados en la misma dirección, Urresta (2020) aconseja contar con ventanas para facilitar la aireación, estas mismas deben estar cubiertas con sarán al 70%, plástico traslúcido de protección a la radiación ultravioleta (UV) para la cobertura y adicionalmente, colocar una malla de sombra al 60%, la cual recubrirá la parte alta del invernadero.

3.3.3. Tipo de instalaciones

Se mencionan principalmente tres tipos de instalaciones en la literatura consultada (Castellanos 2016) basadas en los materiales empleados en la construcción del invernadero, las instalaciones populares son aquellas que consisten en una estructura de madera, revestida de plástico transparente, piso de tierra y estanterías para la siembra de forraje hidropónico construidas con cañas y restos de madera o desechos de aserraderos, su producción en la mayoría de los casos se destina a los animales existentes dentro del mismo predio.

En segundo lugar, están los recintos en desuso: donde el ahorro surge de la disponibilidad de paredes y techos lo que permite invertir en los otros insumos, como equipos de riego semiautomáticos, sumado a un tamaño y número uniforme de las bandejas lo que genera una producción más regular y planificada conociéndose con mejor precisión cuántos kg de forraje estarán disponibles para alimentar al ganado durante un período determinado (Castellanos, 2016). Finalmente tenemos instalaciones de alta tecnología que cuentan con una sala especial para la germinación (no tiene iluminación, ni tampoco requiere de mucha ventilación), así como una sala de producción que cuenta con riego automatizado, ventiladores, extractores de aire, iluminación de apoyo, controlado todo automáticamente, los resultados en este tipo de unidad reportan producciones de 10,000 kg de FH por día (Castellanos, 2016).

Otros autores como León (2012); Gómez (2012) y Orjuela (2015) mencionan las estanterías y las bandejas insumos fundamentales para una producción eficiente, en el caso de las estanterías, su función es de soporte sobre el que reposarán las bandejas, se elaboran generalmente de madera, hierro o policloruro de vinilo (PVC), su diseño normalmente es vertical y la altura depende de las dimensiones del invernadero, así como de la cantidad de forraje que se proyecte producir. Sánchez del Castillo *et al.* (2013) recomiendan estantes de cuatro a seis niveles, de altura a una distancia de 0.5 m entre cada nivel, igualmente los niveles deben tener una pendiente del 10% para drenar adecuadamente el agua de riego sobrante de las bandejas, la longitud de los estantes podría ser de 7.0 m y llevar una separación entre sí por pasillos de 1.0 m para facilitar las labores de siembra, cosecha, aseo y que no se genere mucha sombra entre ellos.

Respecto al tema de las bandejas de siembra, autores como García-Carrillo *et al.* (2013); Abarca *et al.* (2016); Mysaa (2016); El-Rahman *et al.* (2017) definen a estas como las unidades de crecimiento del forraje, el material más recomendado para las bandejas en la literatura consultada es el polietileno, ya que con este material

no se oxidan, son resistentes, fáciles de lavar, livianas, reutilizables, y apilables unas sobre otras, generalmente son de color negro. León (2012) y Gómez (2012) aportan alternativas en los materiales de las bandejas como el policarbonato, asbesto-cemento, lámina galvanizada y fibra de vidrio.

En este mismo sentido, sobre el tamaño de las bandejas múltiples autores (Salas-Pérez *et al.* 2010; Fernández y Guailas 2012; Morales *et al.* 2012; Sánchez del Castillo *et al.* 2013; Morales 2017; Varela 2017; Birgi *et al.* 2018; Castellón y Tórrez 2018; Espinosa 2019; Blanco-Capia *et al.* 2019; Mejía y Orellana 2019) coinciden en general con las siguientes dimensiones, 50-60 cm de largo por 30-40 cm de ancho y una profundidad de entre 3-5 cm, estas medidas brindan aproximadamente de 0.14-0.20 m² de área de siembra por charola depositándose un aproximado de 1.0-1.2 kg de semilla a cada charola. Morales (2017) y Jolad *et al.* (2018) recomiendan adaptar en el fondo de las bandejas entre tres y cinco perforaciones de aproximadamente 5 mm de diámetro en línea recta, distribuidas sobre el costado de la bandeja que corresponde con la pendiente. Jaume *et al.* (2014) apuntan que las bandejas con más centímetros de profundidad muestran mejor drenaje permitiendo mayor aireación en el cultivo.

Para el caso específico del forraje hidropónico de cebada Saidi y Abo (2015) recomiendan las siguientes dimensiones en las bandejas, 90 cm largo por 30 cm ancho y 4.0 cm de profundidad para el cultivo, se observa que el largo de la bandeja es 30 cm mayor a las medidas estándar.

3.4. CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS

Existen tres elementos claves que determinan el éxito o el fracaso en el desarrollo y producción de FH, los cuales son, iluminación, temperatura y humedad (Blanco-Capia *et al.* 2019).

3.4.1. Iluminación

Rivera *et al.* (2010); Orjuela (2015) y Gomez (2018) concuerdan lo siguiente, la luz es un elemento que se necesita para el crecimiento de las plantas, facilitando la síntesis de compuestos nutricionales como vitaminas, esenciales para la nutrición de los animales. En la producción de forraje hidropónico la intensidad de la luz se puede ver afectada por las variaciones en el clima que se puedan presentar; Juárez-López *et al.* (2013); Ramírez (2014); Naik *et al.* (2015) y Ramírez (2016) recomiendan que durante los primeros tres días posteriores a la siembra las bandejas permanezcan en un ambiente de poca luminosidad para favorecer el brote de las raíces, del día cuatro y hasta la cosecha es necesario un ambiente con una adecuada distribución de la luz sobre el cultivo la cual, se podría lograr con una orientación de las instalaciones de este a oeste. La luz estimula el desarrollo del forraje, fomenta la fotosíntesis, el enverdecimiento de los brotes y evita que se consuman las materias de reserva del grano, aumentando el valor nutritivo del mismo (Ramírez, 2014).

De un modo opuesto, de acuerdo con Gómez (2012); León (2012) y Gomez, (2018), cuando el forraje en crecimiento carece luz, las plantas se inclinan hacia la fuente que la produce, luego los tallos se debilitan, las hojas palidecen y se tornan quebradizas, deteniendo su crecimiento y con posibilidad de morir.

En el trabajo de Birgi *et al.* (2018) al analizar la cantidad de MS producida en forraje hidropónico de cebada, no se encontraron diferencias significativas (1700-1600 g MS/m²) entre los niveles de luz evaluados, asociados con la ubicación de las bandejas en los estantes, lo cual indicaría que en esta especie no se pierde productividad al sembrarla en distintos niveles de luz.

En los resultados obtenidos por León (2012) y Gómez (2012) indican que, para el forraje de maíz, no es favorable incrementar las horas luz con la intención de acelerar el crecimiento del forraje, ya que las plantas tienen suficiente con las 12 horas de luz diariamente y requieren de un período de descanso por las noches. En

el mismo sentido Jaume *et al.* (2014) recomiendan, independientemente de la especie forrajera, que las charolas deben ubicarse a manera que reciban aproximadamente 9.0 horas de luz por día; si bien la luz es benéfica para el desarrollo del forraje hidropónico, de acuerdo con Ramírez (2014) y Abarca *et al.* (2016) las charolas no deben recibir luz solar directa, ya que puede traer consecuencias negativas para el FH (aumento de la evapotranspiración, endurecimiento y quemaduras de las hojas).

Cerrillo *et al.* (2012) para forraje hidropónico de trigo, obtuvieron con un ciclo de 12 días y una densidad de siembra igual a 5.0 kg/m² (considerada alta), una altura de forraje igual a 21.96 cm, indicando que a medida que se incrementa la densidad de siembra, la altura también se incrementa, debido a un proceso de competencia por luz entre las plantas.

Ramírez (2014) recomienda, si la opción de producción es en recintos cerrados y sin luz natural, se tendrá entonces que adaptar una iluminación artificial en base a tubos fluorescentes bien distribuidos y encendidos aproximadamente entre 12 a 15 horas como máximo, se deberá tomar en cuenta que dicha adaptación incrementará los costos de producción.

3.4.2. Temperatura

Otro de los elementos claves en la producción de forraje hidropónico es la temperatura, al respecto, Cantuta (2015); Yousof *et al.* (2018) reportan que la temperatura dentro del invernadero determina el éxito y después de la siembra es una de las variables más importante con gran impacto en la germinación.

La temperatura óptima debido a la diversidad de especies forrajeras es difícil establecer de forma estándar, en general para la germinación de las semillas, así como para el crecimiento del forraje hidropónico debe mantenerse dentro de un rango que oscila entre 20-26 °C para una adecuada producción (Meneses, 2012; Maldonado *et al.* 2013; Jaume *et al.* 2014; Ramírez, 2014; Mysaa, 2016; Blanco-

Capia *et al.* 2019). Sin embargo, Castellanos (2016); Gomez (2018) y Ramírez (2016) recomiendan tener en cuenta la temperatura óptima a la que se desarrolla y crece cada especie.

En la misma dirección del párrafo anterior, autores como León (2012); Juárez-López *et al.* (2013) y Ramírez, (2014) indican que, para la producción óptima del forraje de maíz, la temperatura idónea se sitúa entre los 21-28 °C determinando este rango al evaluar la producción usando diferentes fotoperíodos en el cultivo. Para el caso de la avena y trigo, Zagal-Tranquilino *et al.* (2016) recomiendan un rango óptimo para el crecimiento de FH que oscila entre 18-21 °C evaluando sus cultivos en un invernadero localizado en el estado de Nayarit que cuenta con un clima predominantemente cálido. Finalmente, para la semilla de cebada, Rodríguez y Díaz (2017) al evaluar el comportamiento productivo de corderos de raza Poll Dorset alimentados con forraje hidropónico, recomiendan una temperatura dentro del invernadero de 18.5°C para buenos resultados en el crecimiento de este.

Autores como Saidi y Abo (2015) y Ramírez (2016) coinciden en que si la temperatura está por encima de los 30°C se pueden presentar problemas en la producción, como una disminución de la capacidad de absorción de agua por parte de las raíces y la utilización de importantes reservas de energía, disminuyendo así eficiencia en la producción del forraje hidropónico.

Por último, en relación con el clima, Ramírez (2014) recomienda el utilizar durante otoño e invierno especies forrajeras resistentes a las bajas temperaturas, por ejemplo, trigo, avena y cebada.

3.4.3. Humedad

Al ser el cultivo de forraje hidropónico tipo raíz desnuda, como tercer elemento clave en la producción es la humedad relativa dentro del invernadero, lo reportado en la literatura consultada y de acuerdo con autores como Meneses (2012); Morales *et al.* (2012); Juárez-López *et al.* (2013); Saidi y Abo (2015); Mysaa (2016) y Gomez

(2018), la humedad debe encontrarse en un rango de 60 a 85% para una buena producción, dicho valor de acuerdo con León (2012) puede conseguirse con la frecuencia de los riegos y la evapotranspiración de las plantas, en su experimentación, realizó este proceso con ayuda de una bomba de mochila, cada riego duró aproximadamente un minuto por bandeja, repitiéndose este cuatro veces al día.

En el mismo sentido Jaume *et al.* (2014); Ramírez (2014) y Orjuela (2015) reportan que, valores superiores al 90% sin buena ventilación pueden ocasionar problemas fitosanitarios, hongos principalmente, los cuales son difíciles de combatir y eliminar.

3.5. SIEMBRA

3.5.1. Módulos de germinación y producción

Como se menciona anteriormente por características de iluminación principalmente, Sánchez del Castillo *et al.* (2013) recomiendan lo siguiente, en la manera de lo posible se deberán contemplar dos áreas de producción, la primera dedicada a la siembra y germinación temprana, la segunda enfocada al crecimiento del forraje y cosecha.

En el área de germinación, distintos autores (Juárez-López *et al.* 2013; Ramos, 2014; Ramírez, 2016; Morales, 2017) coinciden que, en este proceso se deben colocar las semillas pregerminadas en las bandejas de siembra, ubicándolas en una cámara oscura y distribuir las en una delgada capa, la cual no deberá sobrepasar los 1.5 cm de espesor, formando un estrato lo más uniforme posible. De acuerdo con Gómez (2012); León (2012); Abarca *et al.* (2016); Varela (2017); Gomez (2018); Soto-Bravo y Ramírez-Viquez (2018); Mejía y Orellana (2019), se deben lograr condiciones de humedad y una óptima temperatura para favorecer la completa germinación y crecimiento inicial, esto se consigue colocando por encima de las semillas una capa de papel o plástico preferentemente color negro.

En el mismo sentido, una vez detectada la brotación completa de las semillas, se retira la capa de papel o plástico y cuando el brote alcance un crecimiento de 2.0 cm aproximadamente, será el momento indicado para trasladar las bandejas al área de producción para su crecimiento y posterior cosecha (Juárez-López *et al.* 2013; Ramos, 2014; Abarca *et al.* 2016; Ramírez, 2016; Castellón y Tórrez, 2018; Mejía y Orellana, 2019).

3.5.2. Tipos de siembra

Existen diferentes métodos de cultivo reportados en la literatura (Juárez-López *et al.* 2013; Ramos, 2014) entre los cuales podemos mencionar, el método de siembra típico, en el cual, se colocan las semillas pregerminadas en las bandejas, se distribuyen formando una delgada capa y se coloca sobre las semillas una capa de papel (Ramírez, 2016; Morales, 2017); el método de cultivo con papel consta, de acuerdo con los autores Rivera *et al.* (2010) en lo siguiente, las bandejas se preparan antes de la siembra con dos capas de papel por debajo de las semillas pregerminadas, más la capa de papel que cubre a las semillas, dando un total de tres capas; por último, el método de cultivo con malla, de acuerdo con Rivera *et al.* (2010) consiste en cubrir las semillas solamente con malla de saco (saco limonero) y sujetas con cinta adhesiva a la bandeja.

3.5.3. Dosis de la siembra por especie forrajera

En la literatura (Gómez, 2012; Juárez-López *et al.* 2013) se encontró en términos generales, una proporción óptima de siembra por metro cuadrado en bandeja de cultivo que fluctúa entre 2.2-3.4 kg/m², considerando que la disposición de las semillas no debe superar los 1.5 cm de espesor en la bandeja (Ramírez, 2014; Castellanos, 2016; Paillacho, 2017; Gomez, 2018).

Para la semilla de maíz, algunos autores coinciden en una densidad de siembra que oscila entre 3.0-7.0 kg/m² de semilla seca, rango establecido de acuerdo con el promedio reportado en la literatura, a estas dosis se presentan los mejores rendimientos productivos de forraje como, kilogramo de forraje cosechado por

kilogramo de semilla cultivada (6-8 kg), contenido de MS (12-20%), contenido de proteína (18-20%) (Salas-Pérez *et al.* 2010; Pérez *et al.* 2012; García-Carrillo *et al.* 2013; Ramírez, 2016; Paillacho, 2017; Varela, 2017; Soto-Bravo y Ramírez-Viquez, 2018).

Se menciona que, si la densidad de siembra sobrepasa el límite máximo recomendado hay más posibilidades de contaminación microbiana en la capa de la raíz que finalmente afectará el crecimiento de los brotes (Naik *et al.* 2015).

Para el caso de la cebada, algunos autores (Sánchez del Castillo *et al.* 2013; Ramos, 2014; Callisaya, 2018) concuerdan que la mejor densidad de siembra fluctúa entre 2.0-3.5 kg/m² expresando a nivel de producción una relación de conversión de peso de semilla a peso de forraje hidropónico óptimo (1.0 kg se semilla: 7.0 kg de forraje).

Por otro lado, Sánchez del Castillo *et al.* (2013) mencionan que, al incrementar la densidad de siembra, el contenido de MS disminuye ya que a mayor densidad de población hay mayor competencia entre plantas por luz, lo que se refleja en menos fotosíntesis y, en consecuencia, menor porcentaje de MS.

En la producción de forraje hidropónico, Sánchez del Castillo *et al.* (2013) y Paillacho (2017) coinciden con base en sus cosechas que la mejor densidad para el trigo es 4.7 kg/m², obteniendo buenos resultados productivos en peso fresco (6.0-8.0 kg) y altura del forraje (20-25 cm), indicando a su vez que, al incrementar la densidad recomendada, el contenido de materia seca y la relación de conversión semilla/forraje disminuyen.

Finalmente, para el manejo de la avena bajo condiciones hidropónicas, la dosis de siembra recomendada es de 6.0-6.5 kg/m² para un cultivo de avena como FH (Fuentes *et al.* 2011a; Paillacho, 2017; Gomez, 2018).

3.6. RIEGO

Posterior a la siembra, de acuerdo con Abarca, *et al.* (2016), el forraje hidropónico logrará una altura promedio de 20-25 cm en un período aproximado de dos semanas, gracias entre otras cosas al suministro de agua proporcionada a través de distintos métodos; la dosis exacta de agua de riego para cada especie forrajera resulta difícil de determinar, dado que dependerá del tipo de infraestructura de producción disponible (Juárez-López *et al.* 2013; Ramos, 2014).

Ramos, (2014) recomienda que durante los primeros cuatro días después de la siembra (DDS) no deben aplicarse más de 0.5 L de agua por cada m² al día; un indicador práctico que se debe tener en cuenta es no aplicar riego cuando las hojas del cultivo se encuentran levemente húmedas al igual que su respectiva masa radicular (Morales, 2017).

Respecto al tema de que la cantidad de agua para riego dependerá del tipo de infraestructura en el invernadero Birgi *et al.* (2018), en su trabajo realizado con el fin de evaluar la productividad y la calidad del forraje proveniente de dos variedades de cebada, utilizaron microaspersores de neblina húmeda para un riego automático, el cual dividieron en cuatro turnos de riego por día con intervalos de seis horas, con una duración en cada turno de un minuto.

En el mismo contexto Ramos (2014) y Orjuela (2015) recomiendan dividir en varias aplicaciones por día la cantidad de agua de riego, con una frecuencia de seis a nueve veces en el transcurso del día, teniendo éste una duración no mayor a dos minutos. Abarca *et al.* (2016), recomiendan realizar de tres a cinco riegos por día, con un espacio de seis horas entre ellos.

En su trabajo para evaluar la producción y calidad fisicoquímica de leche de cabras al ser suplementadas con dietas que contenían forraje hidropónico de maíz, García-Carrillo *et al.* (2013) proporcionaron un riego mediante aspersion con agua corriente

sin aplicación de ningún tipo de fertilizantes, con una dosis de 9.87 L/m²/día durante el desarrollo del cultivo desde el día 0 hasta el día 14 de cosecha.

Por su parte, Salas-Pérez *et al.* (2010) al producir forraje hidropónico con dos genotipos diferentes de maíz en un invernadero ubicado en el estado de Coahuila de Zaragoza y utilizando un riego de tipo aspersion, sugieren una dosis de riego igual a 1.05 L en cada bandeja desde el día de siembra hasta el día de cosecha.

Zagal-Tranquilino *et al.* (2016), tras su experimentación basada en producir forraje hidropónico utilizando semillas F2 de maíz amarillo, afirman que se necesitan 1.55 L de agua para producir 1.0 kg de materia fresca de FH de maíz.

En los resultados de diferentes autores (Juárez-López *et al.* 2013; Naik *et al.* 2015) existe controversia sobre el proceso de riego, manifiestan que, el uso de una solución nutritiva (SN) para el crecimiento del FH no es esencial y simplemente se puede usar el agua del grifo, sin embargo, el máximo rendimiento de este forraje se obtiene cuando se aplican riegos con SN; la cual a través de macro y micronutrientes acelera el crecimiento y proporciona los nutrimentos necesarios para el óptimo crecimiento del forraje (Abarca *et al.* 2016).

Para autores como Marzec *et al.* (2015); Soto-Bravo y Ramírez-Viquez (2018) no es necesaria la aplicación de la solución nutritiva, para obtener rendimientos aceptables (6.0-8.0 kg) y una buena calidad bromatológica del forraje, debido al incipiente sistema radical, poco diferenciado y carente de vellosidades absorbentes que presenta el FH durante el ciclo de producción (corto).

Respecto a lo anterior, Hochholdinger y Marcon (2018) al trabajar con forraje hidropónico de maíz, encontraron que la respuesta a los tratamientos de fertilización se presentó a partir de las dos o tres semanas después de la siembra, durante dicha etapa, el forraje puede sobrevivir a partir de las reservas de la semilla, esto explica

por qué tanto el forraje de riego con agua corriente y el de riego con solución nutritiva no presentan diferencias significativas en calidad bromatológica.

Tras los experimentos realizados por Dung *et al.* (2010b), al producir forraje hidropónico de cebada y teniendo grupos de riego con agua corriente y grupos con solución nutritiva reportaron que el uso de esta última no es obligatorio, ya que también puede ser producido con agua corriente, sin embargo, el forraje cultivado con solución nutritiva obtuvo un 17.3% de proteína en comparación al 15.9% en el forraje regado con agua corriente.

En la tabla 1 se enlistan las etapas para la producción de FH con un ciclo de 15 días, haciendo hincapié en aquellos donde se realiza el riego con solución nutritiva y en los que se realiza solamente con agua de grifo.

Tabla 1. Etapas para la producción de forraje hidropónico.

Proceso	Días
Pregerminación	1-2
Siembra, germinación y riego con agua	3-5
Riego con solución nutritiva	6-12
Riego con agua	13-14
Cosecha	15

Fuente: Espinosa, (2019).

Dicho lo anterior, Castellón y Tórrez (2018) en su trabajo con forraje hidropónico de maíz destinado a la alimentación de ovinos, del día 1 al 4 regaron con agua corriente (1.5 L por bandeja al día), del 5 al 13 aplicaron solución nutritiva (1.5 L) compuesta por agua y gallinaza una vez al día (por la mañana) y 24 horas antes de la cosecha (día 14) retiraron la SN y solo regaron con agua corriente con el objetivo de lavar residuos de solución nutritiva.

Para Salas-Pérez *et al.* (2010); León (2012) y Juárez-López *et al.* (2013), cuando aparecen las primeras hojas (entre el día 4 o 5) se comienzan a aplicar riegos con solución nutritiva y los últimos dos días antes de la cosecha el riego debe realizarse únicamente con agua corriente para eliminar rastros de sales minerales que pudieran haber quedado sobre las hojas y raíces.

A su vez, López y Mcfield (2013) en su trabajo con ciclos productivos de 12 días para forraje de maíz, regaron del día 1 al 4 con agua corriente, del 5 al 7 con solución nutritiva, y del 8 al 12 nuevamente con agua corriente para eliminar todo rastro de sales minerales sobre las hojas y raíces.

Mejía y Orellana (2019), tras realizar el riego con ayuda de una bomba de aspersión y evaluar parámetros como altura de la planta, rendimiento, MS y proteína bruta (PB), recomiendan aplicar la solución nutritiva del día 8 al 13, cada 24 horas por la mañana.

Finalmente, en el trabajo de Sánchez del Castillo, *et al.* (2013) con un ciclo de producción de 8 días, durante los días 1, 2, 7 y 8 recomiendan regar solamente con agua, del 3 al 6 se riega con una solución nutritiva. Durante el día se realizan con intervalos de dos horas y sólo un riego a la mitad de la noche, todos con una duración de tres minutos.

3.6.1. Tipos de riego

Existen diferentes tipos de riego reportados en la literatura (Orjuela, 2015) vamos a mencionar de los más sencillos realizados manualmente hasta los más tecnificados los cuales cuentan con riegos automáticos, la forma manual se realiza con bomba aspersora portátil (mochila de mano), manguera o un balde con orificios en el fondo; en el trabajo realizado por Saidi y Abo (2015) para producir forraje hidropónico de cebada, realizaron un riego manual con ayuda de bomba aspersora dos veces al día (por la mañana y al final de la tarde) con una dosis de 500 ml por bandeja al día. León (2012) recomienda si el riego es manual, hacerlo por la mañana y entre las 6-

7 p.m. ya que, si se riega en horas de temperatura elevada (entre 1-4 p.m.) la evaporación será más intensa.

El riego por inundación, de acuerdo con Juárez-López *et al.* (2013), Ramos (2014); y Morales (2017) no es recomendable ya que se puede crear estrés hídrico y bajar la disponibilidad de oxígeno de las raíces causando excesos de agua, asfixia radicular, ataque de hongos y pudriciones que pueden causar inclusive la pérdida total de la producción.

Los métodos de riego automático reportados en la literatura (Juárez-López *et al.* 2013; Sánchez del Castillo *et al.* 2013; Ramos, 2014) se realizan principalmente con sistemas de micro aspersores y nebulizadores, los cuales necesitarán algunos elementos como: bomba de riego, tanque de almacenamiento y un sistema de distribución.

En sus trabajos, Ramos (2014) y Ramírez (2016) utilizaron sistemas de micro aspersores y nebulizadores logrando humedecer el cultivo de forma homogénea y en todos sus niveles, manteniendo rangos de humedad adecuados en el forraje hidropónico (80-85%).

En el mismo cause, al trabajar con forraje hidropónico de maíz con la finalidad obtener sus características bromatológicas, Soto-Bravo y Ramírez-Viquez (2018) al utilizar riegos de tipo automático con aspersores, recomiendan realizarlos por tiempos fijos mediante un programador (timer), con una duración de 15 segundos y una frecuencia de 45 minutos, con un intervalo horario entre las 6 a.m. y las 6 p.m.

3.6.2. El agua de riego

Si se quieren obtener buenos resultados en la cosecha del forraje hidropónico, se debe tomar en cuenta la calidad del agua destinada al riego del cultivo al ser indispensable en el metabolismo de la semilla, haciendo que esta aumente de

tamaño, ablande su corteza y que las reservas nutricias inicien reacciones químicas y biológicas que ocasionaran el desarrollo del embrión (Orjuela, 2015).

3.6.2.1. Calidad

Como recomendación básica, es fundamental la potabilidad del agua destinada a sistemas hidropónicos, de lo contrario, se podrían tener problemas sanitarios por lo que se recomienda realizar un análisis microbiológico para usar el agua de manera confiable (Juárez-López *et al.* 2013; Jaume *et al.* 2014). Si se tienen dudas sobre la potabilidad del agua, Ramos (2014) recomienda desinfectarla aplicando dos gotas de hipoclorito de sodio por cada litro de agua que se va a emplear; otras opciones para el control de microorganismos señaladas por Trejo-Téllez y Gómez-Merino (2012) es la utilización de tratamientos térmicos, UV y filtración por membrana.

El potencial de hidrógeno (pH) es un parámetro que mide la acidez o alcalinidad de una solución, indica la relación entre la concentración de iones libres H^+ y OH^- presentes en una solución y oscila entre 0-14 (Trejo-Téllez y Gómez-Merino, 2012). El pH de las aguas utilizadas para la irrigación de forrajes cultivados hidropónicamente es de especial importancia (Juárez-López *et al.* 2013).

Dicho lo anterior, autores como Jaume *et al.* (2014) y Castellanos (2016) coinciden que el pH del agua destinada para el riego de forraje hidropónico, ya sea con solución nutritiva o solo agua potable, debe fluctuar entre 5.5-7.0, mantener el agua dentro de estos valores favorece la disponibilidad y absorción de los nutrimentos, los cuales tienen mayor disponibilidad en un pH más bajo, pero cuando el valor cae por debajo de 5.5 se corre el riesgo de toxicidad de los nutrimentos, así como problemas de disponibilidad del calcio y de magnesio (Morales, 2017); por el contrario, Ramírez, (2014) y Gomez (2018) apuntan que un pH en el agua de riego por encima de 7.0 disminuye la eficiencia productiva del cultivo.

Se define la conductividad eléctrica (CE) como una propiedad de las soluciones nutritivas dada por la cantidad total de iones de sales disueltas en la solución, su

valor se expresa en deciSiemens por metro ($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$) y se mide con un conductímetro previamente calibrado (Trejo-Téllez y Gómez-Merino, 2012).

Para autores como Trejo-Téllez y Gómez-Merino (2012); Juárez-López *et al.* (2013); Ramírez (2014) y Castellanos (2016) los valores de CE en sistemas hidropónicos varían de 1.5-2.3 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$, una CE más alta dificulta la absorción de nutrientes, mientras que una más baja puede afectar gravemente la salud y el rendimiento de las plantas (Jaume *et al.* 2014).

Al-Karaki (2011), tras su estudio sobre los efectos del riego con distintitos tipos de agua (residuales tratadas, de grifo y sus mezclas) sobre la calidad y el rendimiento productivo de forraje hidropónico de cebada, reporta que el forraje puede tolerar valores de hasta 6.0 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ (CE) sin ningún impacto en la germinación de semillas o el rendimiento del cultivo.

3.7. SOLUCIONES NUTRITIVAS

Muchos son los autores que definen a las soluciones nutritivas o soluciones minerales como disoluciones acuosas que contienen oxígeno, iones inorgánicos de sales solubles que son elementos esenciales para las plantas superiores, aportando minerales que normalmente obtendrían del suelo, útiles para el óptimo crecimiento del forraje, otorgándole buena digestibilidad (80-90%) y palatabilidad (Herrera y Echavarría, 2010; Trejo-Téllez y Gómez-Merino, 2012; Orjuela, 2015; Santos y Rios 2016).

La solución nutritiva, de acuerdo con Preciado *et al.* (2006) está regida por las leyes de la química inorgánica, ya que tiene reacciones que conducen a la precipitación de los iones en ella, lo cual evita que éstos estén disponibles para las raíces de las plantas, la pérdida por precipitación de una o varias formas iónicas de los nutrimentos, puede ocasionar su deficiencia en la planta.

Las soluciones nutritivas básicas están compuestas solo por nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y se complementan con micronutrientes como el azufre, los cuales son absorbidos como nutrientes, favoreciendo la actividad fotosintética del forraje, como ya se mencionó, su composición determina la CE de la solución mineral (Trejo-Téllez y Gómez-Merino, 2012; Quispe *et al.* 2016).

Cabe considerar, por otra parte, que se recomienda dar seguimiento a la concentración de los nutrimentos y renovar o cambiar la solución mineral, debido a que ésta no puede utilizarse indefinidamente debido a la acumulación de sales (mayor absorción de agua que de nutrimentos) y por la acumulación de compuestos orgánicos liberados por las raíces de las plantas al realizar la absorción de nutrimentos, lo que puede causar presencia de patógenos, por lo que en la medida de lo posible se debe cambiar la solución mineral semanalmente, o reponer aquellos nutrimentos que se encuentren en una concentración menor del 50% con respecto a la concentración original (Preciado *et al.* 2006).

López y Mcfield (2013) nos mencionan que no existe un fertilizante óptimo para todos los cultivos, debido a que no todos tienen las mismas exigencias nutricionales, generalmente son 13 los minerales esenciales que todo fertilizante debe proporcionar a las plantas: nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), azufre (S), cloro (Cl), hierro (Fe), manganeso (Mn), boro (B), cobre (Cu), zinc (Zn), y molibdeno (Mo). Aunque varios autores han trabajado a concentraciones diferentes de estos nutrientes como se muestra en la tabla 2 obteniendo buenos resultados al producir forraje hidropónico. Ramírez (2016) reporta variables como, MS (8.7%), proteína cruda (PC 20%) y fibra cruda (FC) igual a 18.9%.

Tabla 2. Composición mineral de soluciones nutritivas para uso en forraje hidropónico.

Nutriente (mg/L)	Rivera <i>et al.</i> , (2010)	Salas <i>et al.</i> , (2010)	Salas <i>et al.</i> , (2012)	Ramírez, (2016)
---------------------	----------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	--------------------

N	10	202	101	202
P	4	48	10	48
K	7	32	50.7	32
Ca	-	81	200	81
Mg	0.2	60	27	61
S	0.8	9.4	-	-
Fe	200	23	4.3	24

Morales *et al.* (2012) nos reportan en la tabla 3 la concentración y composición de una solución nutritiva comercial, que emplearon para el riego de forraje hidropónico de maíz, evaluando parámetros productivos del forraje como, conversión de semilla a biomasa en base húmeda (BH), altura de la planta y longitud de la raíz, con resultados de 5.23 kg (BH), 28.66 cm, 24.56 cm, respectivamente, al cultivar a un 75% de la SN con una edad de cosecha de 12 días.

Tabla 3. Composición mineral de solución nutritiva comercial utilizada en el riego de forraje hidropónico de maíz.

Componentes	Concentración (g)
Nitrato de calcio	116.3
Nitrato de potasio	30.3
Sulfato de magnesio	98.4
Sulfato de potasio	52.2
Fosfato monopotásico	13.6
Hierro (Fe)	0.187
Cinc (Zn)	0.015
Manganeso (Mn)	0.092
Boro (B)	0.017
Cobre (Cu)	0.0075
Molibdeno (Mo)	0.005

Fuente: Morales *et al.* (2012).

Se reporta en la literatura, un tipo de soluciones denominadas multipropósito, misma que podemos observar en la tabla 4, dichas soluciones son fraccionadas por el fabricante en solución “A” (macronutrientes) y solución “B” (micronutrientes), utilizando para el riego de forraje hidropónico las siguientes proporciones de cada una: 4.0 g de solución “A” en 10 L de agua y 1.0 g de solución “B” en 10 L de agua, esta relación es llevada a un volumen total de 20 L (Birgi *et al.* 2018).

Tabla 4. Solución multipropósito utilizada para la producción de forraje hidropónico.

Macronutrientes (Solución “A”)	
Compuesto	Concentración (%)
Nitrato de calcio	43.9
Nitrato de potasio	21.2
Sulfato de magnesio	19.1
Sulfato de amonio	0.5
Fosfato monopotásico	14.3
Micronutrientes (Solución “B”)	
Hierro, Manganeso, Boro, Cobre, Cinc, Molibdeno y Cobalto	1.0

Fuente: Birgi *et al.* (2018).

En el mismo sentido, Juárez-López *et al.* (2013), para los macronutrientes nos presentan en la tabla 5 diferentes opciones de combinación en función de la disponibilidad de los fertilizantes con que contamos en la zona. Para la preparación de 1.0 L de solución de riego para el forraje, recomienda aplicar las soluciones propuestas a un 50%, por ejemplo, se pueden agregar los nutrientes indicados a 2.0 L de agua o la mitad de la cantidad de los fertilizantes en 1.0 L de agua.

En la tabla 6, los mismos autores recomiendan una mezcla de distintos compuestos como fuente de micronutrientes a dosis de 20 g por cada 1.0 L de agua.

Tabla 5. Algunas mezclas de macronutrientes utilizados para la producción de forraje hidropónico.

Nutriente	Mezcla 1	Mezcla 2	Mezcla 3	Mezcla 4	Mezcla 5	Mezcla 6
Ácido sulfúrico (ml)	-	50	-	50	-	50
Ácido fosfórico (ml)	175	-	175	-	175	-
Sulfato de potasio (g)	-	551	890	558	558	-
Fosfato monoamónico (g)	-	297	-	297	-	-
Nitrato de potasio (g)	650	140	-	-	-	388
Fosfato Monopotásico (g)	-	-	-	-	-	351
Sulfato de magnesio (g)	950	950	-	950	-	950
Nitrato de magnesio (g)	-	-	800	-	605	-
Nitrato de amonio (g)	-	-	-	154	126	103
Nitrato de calcio (g)	1230	1230	1230	1230	1230	1230

Fuente: Juárez-López *et al.* (2013).

Tabla 6. Mezcla de compuestos fuente de micronutrientes usado para la producción de forraje hidropónico.

Componente	Porcentaje
Hierro (Fe-EDTA)	7.5
Manganeso (Mn)	3.7
Boro (B)	0.7
Zinc (Zn)	0.6
Cobre (Cu)	0.3
Molibdeno (Mo)	0.2

Fuente: Juárez-López *et al.* (2013).

Para los micronutrientes, Trejo-Téllez y Gómez-Merino (2012) recomiendan al hierro (Fe), cobre (Cu), zinc (Zn), manganeso (Mn), boro (B), molibdeno (Mo) y níquel (Ni).

3.7.1. Composición de la solución nutritiva por especie forrajera

Como mencionan algunos autores (Quispe *et al.* 2016) la nutrición mineral del forraje hidropónico puede otorgarle un crecimiento óptimo, existen en el mercado algunas soluciones minerales dirigiendo los nutrientes a la demanda de la especie cultivada donde, cada elemento tiene una o varias funciones en el proceso de crecimiento del forraje.

En el trabajo realizado por Sánchez del Castillo *et al.* (2013) tras utilizar un sistema de riego por microaspersión, con un ciclo de producción de 8 días, donde del día 3 al 6 regaron con solución nutritiva específica para semillas de trigo y cebada (tabla 7), con el fin de evaluar el efecto de diferentes densidades de siembra sobre la producción, el cual resultó que, al incrementar la densidad, el contenido de MS y la relación de conversión semilla a forraje disminuyeron.

En los resultados obtenidos por Dung *et al.* (2010b) al producir forraje hidropónico de cebada con dos tipos de riego, agua de grifo y solución nutritiva específica para semillas de cebada de la cual se muestra igualmente la composición en la tabla 7, con tres minutos de duración por riego, iluminación artificial y un ciclo productivo de siete días, reportan, que el corto ciclo de crecimiento no parece ser adecuado para lograr buena calidad nutricional en el forraje.

Tabla 7. Soluciones minerales (ppm) para la producción de forraje hidropónico de trigo y cebada.

Nutrimiento	Dung <i>et al.</i> , (2010b)	Sánchez del Castillo <i>et al.</i> , (2013)
Nitrógeno (N)	75.1	200
Fósforo (P)	3.2	40

Potasio (K)	81.9	150
Calcio (Ca)	89.2	140
Magnesio (Mg)	20.8	30
Azufre (S)	43.2	100
Hierro (Fe)	1.8	5
Manganeso (Mn)	0.5	1
Boro (B)	0.1	0.5
Cinc (Zn)	0.4	0.05
Sodio (Na)	0.1	-

3.7.2. Otro tipo de soluciones nutritivas

Cantuta (2015); Castellón y Tórrez (2018) reportan el uso de soluciones minerales comerciales para suministrar nutrientes al forraje hidropónico, pero este tipo de soluciones podrían tener un costo elevado, para esto, una alternativa que podría ser viable de acuerdo con Jaén (2011) y Candia (2014) son las soluciones orgánicas, originadas a partir de la descomposición de materiales orgánicos como estiércol de animales, rastrojos de cosecha, entre nosotros, que daría el suministro de nutrientes fácilmente asimilables al forraje y con esto, poder reemplazar el uso de los preparados comerciales. Gomez (2018) reporta que este tipo de soluciones orgánicas proporcionan, además, un estímulo en el crecimiento del FH, incremento en su resistencia y fortalecimiento de la base radicular, respecto a su dosis recomienda su uso en dilución y a una concentración que fluctúe entre 10 y 25% dependiendo del tipo y edad del cultivo.

En el mismo orden de ideas, Theunissen *et al.* (2010) ejemplifican con el interés de reducir la degradación ambiental y el uso intensivo de agroquímicos en la producción de cultivos, dos opciones orgánicas más para la nutrición del forraje hidropónico, el té de compost y el de vermicompost, los cuales contienen iones de N, K y P.

De acuerdo con Pérez *et al.* (2012) y Gomez (2018), después de trabajar con semilla de maíz tipo criollo, con riego desde el día 5 hasta el día de la cosecha, cada 12 horas y sobre la parte aérea del forraje, concuerdan que, el riego con soluciones orgánicas como té de vermicompost y té de compost, gracias a su composición detallada en la tabla 9, pueden ser utilizadas en la producción de forraje hidropónico debido al rendimiento (18-19 kg/m²) y a la composición nutricional satisfactoria (15-20% MS, 12-13% PC) del cultivo de maíz obtenido.

Tabla 8. Composición química de dos soluciones nutritivas orgánicas (mg/L) utilizadas en el forraje hidropónico.

Sol.	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	pH	CE
TVC	101	10.0	50.7	200	26.8	4.3	1.5	0.3	1.4	7.3	1.2 dS·m ⁻¹
TC	170	28.5	33.9	245.6	31.6	4.5	1.6	0.4	1.6	7.1	2.5 dS·m ⁻¹

TVC: té de vermicompost. TC: té de compost. CE: conductividad eléctrica.

Fuente: Pérez *et al.* (2012).

Tras determinar el efecto de utilizar soluciones orgánicas sobre el rendimiento (biomasa, materia seca) y calidad nutritiva del FH de maíz y sorgo, con un cultivo en invernadero, utilizando riego por aspersión (con bomba de mochila) y un ciclo de producción de 15 días, Varela (2017) reporta que, con el uso de estas soluciones se obtienen buenos rendimientos productivos en el forraje (2.0-3.0 kg biomasa, 0.4-0.6 kg MS, 0.1-0.13 kg PC) siendo una alternativa viable en la producción.

Urresta (2020), tras cultivar en un invernadero tipo capilla de 14.28 m², usando tres caballetes con capacidad de cuatro bandejas en las cuales colocó 580 g de semilla de cebada, recomienda el uso de soluciones orgánicas para la fertilización del forraje argumentando que de esta forma se reciclan nutrientes, se elimina la dependencia de componentes inorgánicos provenientes de recursos no renovables y se reduce la contaminación ambiental por uso de combustibles fósiles.

3.8. LA COSECHA

Múltiples son los autores como Juárez-López *et al.* (2013); Ramos (2014); Morales (2017) que concuerdan que el forraje hidropónico en general se puede cosechar de los 10 a 15 días posteriores a la siembra, sin embargo, si estamos necesitados de forraje, podemos efectuar una cosecha anticipada a los 8 o 9 días, aun así se debe tratar no extender del día 12, ya que a partir de ese día el valor nutricional del forraje hidropónico podría disminuir; dependiendo de la semilla, el poder germinativo, tipo de riego y energía solar, se pueden lograr rendimientos a partir de 1.0 kg de semilla, obtener entre 6.0-9.0 kg de forraje, aunque se podrían llegar a relaciones de 1:12 o 1:15 (Ramos, 2014).

Para este proceso, el forraje hidropónico comprende el total de la biomasa que se encuentra en la bandeja: gran cantidad de hojas, tallos, cotiledones, base radicular, semillas sin germinar y en diferentes estadios de germinación (Fernández y Guailas, 2012; Ramírez, 2014; Orjuela, 2015; Gomez, 2018).

Existen algunos trabajos enfocados en el maíz cultivado hidropónicamente, autores como Varela (2017); Mejía y Orellana (2019) recomiendan cosechar el forraje 15 días después de la germinación, tiempo en el que alcanza una altura aproximada de 20 a 25 cm. Moyano y Sánchez (2012) evaluaron el comportamiento proteínico del FH de maíz en función del día de cosecha, utilizando riego automático con solución mineral, resultando un alto porcentaje de proteína (15%) el día 10, a partir del cual podría comenzar a descender.

En la misma dirección, concluida su experimentación evaluando el efecto de tres soluciones nutritivas y tres momentos de cosecha, sobre el rendimiento de FH de maíz, Acosta *et al.* (2016) apuntan lo siguiente, independientemente si se emplea solución mineral o agua corriente para el riego del forraje, un buen tiempo de cosecha puede ser el día 11 o 12 alcanzando rendimientos en términos de MS de 114 y 137 kg MS/m²/año.

En el caso de la cebada, Birgi *et al.* (2018) tras producir forraje hidropónico con el fin de encontrar alternativas de alimento para el ganado en épocas críticas, inclemencias climáticas, épocas invernales, recomiendan cosechar 15 días después de la siembra, tiempo en que la cebada alcanzó una altura de 25 cm.

En el mismo sentido, para la semilla de avena, Paillacho (2017) tras evaluar el comportamiento productivo del forraje hidropónico, propone una cosecha entre 8-11 días para la alimentación de los rumiantes, ya que en ese lapso el forraje puede contener mayor cantidad de MS (0.9 kg) y energía bruta (4.6 kcal).

3.8.1. Método de cosecha

En la literatura (Fernández y Guailas, 2012) se describe al proceso de cosecha, básicamente, como el retiro de las bandejas de la estantería, la biomasa contenida en las bandejas queda dispuesta en forma de bloque (tapete), el cual debe entregarse en su totalidad (incluyendo la base radicular) a los animales, el forraje no requiere de cortes, para facilitar el manejo, puede enrollarse el bloque y posteriormente puede desmenuzarse de forma manual o mecánica para un mejor suministro a los animales a nivel de comederos (León, 2012; Abarca *et al.* 2016).

Autores como Fernández y Guailas (2012); Orjuela (2015) recomiendan en la medida de lo posible, orear a la sombra el forraje hidropónico por lo menos una hora antes de proporcionarlo a los animales, de lo contrario pueden sufrir timpanismo, debido a que el FH está húmedo; para tener una producción continua anual, se debe buscar llegar a cosechar cada día el mismo número de bandejas que sean sembradas.

3.8.2. Almacenamiento

Juárez-López *et al.* (2013) y Jaume *et al.* (2014) coinciden en utilizar el forraje hidropónico recién cosechado, aunque, de acuerdo con la situación que se pueda presentar, el forraje podría almacenarse por dos o tres días como máximo, hasta

ahora, no se reporta en la literatura problemas sanitarios de conservación, salvo el asociado a un descenso de la calidad nutricional.

3.8.3 Análisis nutricional del forraje hidropónico general y por especie

En la literatura se reporta la importancia de las características bromatológicas de los alimentos como el forraje, realizando análisis que ayudan tanto a los investigadores en sus proyectos como a productores y profesionales agropecuarios en la nutrición y alimentación de animales, así como, en el manejo sostenible de los forrajes y otras fuentes de alimento (Boccanera, 2017).

Una de las variables bromatológicas en los alimentos es la materia seca, la cual representa la parte que resta de un material tras extraer toda el agua posible a través de un calentamiento hecho en condiciones de laboratorio, para el FH, autores como Dung *et al.* (2010a) y Naik *et al.* (2015) indican que, durante la germinación y crecimiento hay un aumento en el peso fresco y una disminución en el contenido de MS que se atribuye principalmente a reacciones como imbibición y oxidación. En el mismo sentido y con un ciclo de producción corto (12-15 días), para el FH la fotosíntesis comienza aproximadamente el día 5 cuando se activan los cloroplastos y esto no proporciona tiempo suficiente para cualquier acumulación significativa de MS (Dung *et al.* 2010b).

Aunado a lo anterior, durante la germinación de las semillas el almidón se cataboliza en azúcares solubles con el fin de soportar el metabolismo y los requerimientos energéticos de la planta en crecimiento, respiración y síntesis de la pared celular, por lo que cualquier disminución en la cantidad de almidón causa una disminución correspondiente de MS (Naik *et al.* 2015).

Maldonado *et al.* (2013) mencionan que el suministro adecuado de nutrientes, especialmente nitrógeno, puede ser un factor determinante en la acumulación de materia seca en cultivos con altas densidades de siembra como es el caso del

forraje hidropónico. Autores como Naik *et al.* (2015) y Ramírez (2016), reportan que el porcentaje de MS oscila dependiendo de la especie forrajera, entre un 12 a 18%.

Otra variable de interés nutricional es la proteína, su aumento podría atribuirse a la pérdida de materia seca, particularmente de carbohidratos, a través de la respiración durante la germinación, por lo tanto, un mayor tiempo de germinación es responsable de mayores pérdidas de MS y un aumento en el contenido de proteína (Dung *et al.* 2010a; Naik *et al.* 2015).

En los trabajos realizados por Dung *et al.* (2010b) al producir forraje hidropónico de cebada en condiciones de invernadero con iluminación y temperatura controladas reportan que el uso de soluciones nutritivas podría mejorar el contenido de PC en el forraje, debido probablemente a que la absorción de nitratos facilita el metabolismo de los compuestos nitrogenados, aumentando los niveles de PC. Respecto al contenido mineral del forraje, Naik *et al.* (2015) apuntan como una posibilidad de variación en sus valores al tipo de agua con el que fue regado el forraje (grifo, SN, agua tratada, solución orgánica).

En la tabla 9 se muestran los valores bromatológicos generales independientemente de la especie forrajera utilizada para su producción.

Tabla 9. Valores bromatológicos generales del forraje hidropónico.

Parámetro	Valor
Digestibilidad (%)	80 – 92
Proteína cruda (%)	13 – 20
Fibra Cruda (%)	12 – 25
Grasa (%)	2.8 – 5.37
Extracto libre de nitrógeno (%)	46 – 67
Nutrientes digeribles totales (%)	65 – 85
Calcio (%)	0.11
Fósforo (%)	0.30

Materia seca (%)	12 – 20
Vitamina A (UI/kg)	25.1
Vitamina E (UI/kg)	26.3
Vitamina C (mg/kg)	45.1 - 154
pH	6.0 – 6.5

Fuente: Fernández y Guailas (2012).

La tabla 10 muestra resultados de distintos autores en la composición química del FH de maíz en base seca, mostrando una concentración de proteína importante.

Tabla 10. Composición química de distintos forrajes de maíz producidos hidropónicamente (% BS).

Variable	Gómez, (2012)	Alcaraz <i>et al.</i> (2015)	Ramírez, (2016)	Cantón <i>et al.</i> (2017)	Castellón y Tórrez, (2018)
Materia seca	-	23	-	23.03	29.68
Humedad	-	76.9	-	-	-
Proteína cruda	18.80	18.3	19.4	18.30	22.82
Digestibilidad	83-90	-	90	-	-
EM (kcal/kg)	3.21	-	-	-	-
Cenizas	-	3.8	-	3.80	-
Fósforo	-	0.4	-	0.44	-
Calcio	-	1.2	-	1.20	-
FDN	-	36.9	-	36.92	47.07
FDA	-	15	-	15.05	27.70
Lípidos	-	-	3.15	-	-

BS: Base seca. EM: Energía metabolizable. FDN: Fibra detergente neutro. FDA: Fibra detergente ácido

La tabla 11 recopila resultados de diferentes autores sobre las características bromatológicas y contenido mineral en base seca para forraje hidropónico de maíz cosechado entre los días 11 y 14.

Tabla 11. Compilación de características bromatológicas para el forraje hidropónico elaborado con semillas de maíz y cosechado entre los 11 y 14 días después de la siembra.

Variables	López <i>et al.</i> (2013)	Jaume <i>et al.</i> (2014)	Ramírez, (2016)	Morales, (2017)	Espinosa, (2019)
Proteína cruda	16.00	13-16	20	14	11
Materia Seca	26.50	12-18	8.7	15	-
Fibra cruda	-	-	18.95	-	24.82
Lignina	-	6.2-7.0	1.47	6.5	-
FDN	48.35	-	44.2	-	-
FDA	-	26-32	22	29	-
Cenizas	-	6.6-7.2	4.49	6.8	-
Extracto Etéreo	-	-	7.44	-	-
Digestibilidad de MS	-	64-68	88.6	66	-

EM (Mcal/kg) de	-	2.4-2.6	3.20	2.5	-
MS					
Nitrógeno	-	-	3.39	-	1.76
Calcio	-	0.18	0.37	0.18	0.63
Fósforo	-	0.34	0.58	0.34	0.38
Potasio	-	0.82	1.19	0.82	0.56
Magnesio	-	-	0.24	0.26	0.28
Sodio	-	0.26	-	0.26	1.46
Selenio (ppm)	-	-	30.82	-	-
Hierro (ppm)	-	79	81.6	79	126.25
Cobre (ppm)	-	15	15	15	8.75
Manganeso	-	-	153.6	-	66.75
(ppm)					
Zinc (ppm)	-	48	55.3	48	33.00

FDN: Fibra detergente neutro. FDA: Fibra detergente ácido. MS: Materia seca. EM: Energía metabolizable.

Mcal: Megacaloría. ppm: partes por millón.

En la tabla 12 se representa el análisis bromatológico en base húmeda y seca de forraje hidropónico de maíz expresando los resultados en porcentaje.

Tabla 12. Análisis bromatológico (5%) para forraje hidropónico de maíz reportado en base húmeda y base seca.

Variable	BH	BS
Humedad	77.65	22.35
Cenizas	0.41	1.84
Proteína	2.74	12.26
Extracto etéreo	0.95	4.25
Fibra cruda	1.98	8.87
Extracto libre de nitrógeno	16.27	72.78

BH: Base húmeda. BS: Base seca.

Fuente: León, (2012).

La tabla 13 reporta los resultados en porcentaje obtenidos del análisis nutrimental del forraje hidropónico de maíz, así como del grano de la misma especie; el forraje fue regado con solución nutritiva con un ciclo productivo de 10 días.

Tabla 13. Tabla comparativa de la composición nutrimental del forraje hidropónico (%), producido con solución nutritiva, 10 días de cosecha y resultados para grano de la misma especie.

Nutriente	FH	Grano
Humedad	73.93	10.26
Cenizas	3.09	1.48
Proteína	16.54	8.21
Extracto etéreo	6.42	4.69
Fibra cruda	8.21	2.11
Fibra Detergente Neutro	29.27	19.22
Fibra Detergente Acido	10.16	5.50

Digestibilidad	79.87	68.75
----------------	-------	-------

Fuente: Thadchanamoorthy *et al.* (2012).

En la tabla 14 se presentan los resultados obtenidos de las características bromatológicas en base seca del forraje hidropónico de maíz con distintos tipos de riego, agua corriente, solución nutritiva comercial y orgánica.

Tabla 14. Variables bromatológicas (%) de forraje hidropónico de maíz con diferentes tipos de riego.

Variable	AG 1	AG 2	SN 1	SN 2	TVC	TC	SN orgánica
Proteína bruta	19.27	12.23	20.37	13.26	13.34	12.26	13.0
Peso fresco (kg/m ²)	-	21.02	-	26.41	-	-	27.22
Materia seca	-	17.98	-	18.82	15.42	18.24	18.67
Fibra bruta	19.61	-	18.62	-	-	-	-
Lignina	1.30	-	1.56	-	-	-	-
FDN	45.05	39.07	43.87	42.13	46.23	44.53	41.92
FDA	22.40	11.45	21.93	11.88	17.34	18.05	13.18
Ceniza	4.10	-	5.01	-	-	-	-
Extracto etéreo	7.95	2.09	7.18	2.81	4.21	4.26	2.77
Digestibilidad de MS	88.63	-	88.57	-	-	-	-
EM (Mcal/kg) de MS	3.22	-	3.21	-	-	-	-

AG: Agua de grifo. FDN: Fibra detergente neutro. FDA: Fibra detergente ácido. EM: Energía metabolizable. Mcal: Megacaloría TVC: té de vermicompost. TC: té de compost.

Fuente: Salas-Pérez *et al.* (2010); Pérez *et al.* (2012); Soto-Bravo y Ramírez-Viquez (2018)

La tabla 15 recopila resultados obtenidos por múltiples autores sobre la composición bromatológica expresada en porcentaje para el forraje hidropónico de cebada.

Tabla 15. Composición bromatológica (%) del forraje hidropónico de cebada.

Parámetro	Al-Karaki, (2011)	Gómez, (2012)	Churata, (2013)	Ramos, (2014)	Cantula, (2015)	Saidi y Abo, (2015)	Myssa, (2016)	Rodríguez <i>et al.</i> (2017)	Birgi <i>et al.</i> (2018)	Yousof <i>et al.</i> (2018)
Materia seca	16.4	-	11-12	-	20.23	18.3	15.3	17.6	-	13.24
Proteína cruda	25.2	19.4	12-12	20	17.7	19.8	22.5	18.50	18.1	13.43
Digestibilidad		85	-	85-90	-	-	-	78	-	-
Fibra Cruda	14.3	16	-	-	16.15	10.4	11.4	-	-	-
FDN	28.8	-	51-56.	-	-	35.4	32.5	-	50.7	29.54
FDA	11.7	-			-	11.9	13.1		24.1	14.58
Grasa	5.2	3.2	6.0-6.4	3.9	4.41	-	3.2	-	-	3.21
Cenizas	-	-	-	-	5.28	3.6	-	-	7.0	-
Energía (kcal)	-	-	-	2.9	-	-	-	-	-	-
Carbohidratos	-	58.4	-	-	-	-	-	-	-	-

FDN: Fibra detergente neutro. FDA: Fibra detergente ácido.

En la tabla 16 se muestran los nutrientes obtenidos tras el análisis bromatológico realizado a muestras de forraje hidropónico hecho con semillas de cebada y con distintos tipos de riego.

Tabla 16. Análisis bromatológico (%) del forraje hidropónico de cebada con distintos tipos de riego.

Variable	Solución nutritiva	Agua corriente	Solución orgánica
Materia seca	-	-	15.24
Energía bruta	14.8	14.9	
Proteína cruda	17.3	15.9	13.94
Cenizas	5.5	4.3	4.61
FDN	-	-	38.6
Grasa	-	-	3.01
Calcio	0.13	0.08	-
Potasio	0.67	0.36	-
Magnesio	0.19	0.15	-

FDN: Fibra detergente neutro

Fuente: Dung *et al.* (2010b); Gomez, (2018).

La tabla 17 muestra los resultados de diversos autores del análisis bromatológico realizado en forraje hidropónico de trigo.

Tabla 17. Análisis bromatológico (%) para forraje hidropónico de trigo.

Parámetro	Sánchez del Castillo <i>et al.</i> (2013)	Abarca <i>et al.</i> (2016)
Materia seca	8.72	14.32
Humedad	91.28	85.68
Extracto Etéreo	3.4	4.80
Fibra Cruda	17.8	17.91
Proteína	33.97	26.96

Cenizas	5.4	3.23
Extracto Libre de Nitrógeno	39.59	47.10
Calcio	-	0.03
Fósforo	-	0.06
Energía bruta (Mcal/kg)	-	4.784
Energía digestible (ED) (Mcal/kg)	-	3.575
Energía metabolizable (EM) (Mcal/kg)	-	2.932

Nota: La energía metabolizable (EM) está calculada según la fórmula ($EM = 0.82 \times ED$). ED y EM aplican para rumiantes.

En la tabla 18 se muestra el análisis bromatológico realizado a forraje hidropónico de trigo en dos momentos diferentes de cosecha, el primero a los 10 días y el segundo a los 12.

Tabla 18. Análisis bromatológico (%) de forraje hidropónico de trigo a diferentes días de cosecha.

Fracción	10 días	12 días
Materia seca	90.5	93.7
Proteína cruda	21.5	12.6
Fibra Detergente Neutra	35.8	46.6
Fibra Detergente Ácida	15.2	21.2

Fuente: Herrera-Torres *et al.* (2010).

La tabla 19 presenta el análisis realizado a una muestra de forraje hidropónico de trigo producido con dos tipos de riegos, uno con agua de grifo y otro con solución nutritiva, ambos cosechados a los 15 días.

Tabla 19. Análisis químico (%) de forraje hidropónico de trigo producido con dos tipos de riego y cosechado a los 15 días.

Riego	MS	Cenizas	Fibra	Proteína	Nitrato (mg/kg)
Agua corriente	9.9	2.9	66.1	15.3	3542.2
Solución nutritiva	12.2	2.7	54.9	14.3	4345.8

Fuente: Maldonado *et al.* (2013).

En la tabla 20 se presentan los resultados obtenidos del análisis bromatológico realizado en forraje hidropónico de avena cosechado entre los 10 y 14 días.

Tabla 20. Análisis químico (%) de forraje hidropónico de avena cosechado entre 10 y 14 días.

Parámetro	Fuentes <i>et al.</i> (2011a)	Fuentes <i>et al.</i> (2011b)	Paillacho, (2017)
Proteína bruta	14.79	14.8	-
Materia seca	36.86	36.9	93.36 g
Fibra cruda	18.77	18.8	-
Cenizas	5.11	5.1	3.74 g
Materia orgánica	-	-	96.25 g
FDN	-	-	42.43 g
FDA	-	-	20.33 g
Energía (kcal)	-	-	4.6
Grasas	-	6.6	-
Altura	16.8 cm	-	-

FDN: Fibra detergente neutro. FDA: Fibra detergente ácido. kcal: kilocaloría.

La tabla 21 muestra los resultados porcentuales obtenidos tras el análisis bromatológico realizado a forraje hidropónico de avena.

Tabla 21. Composición bromatológica (%) de forraje hidropónico de avena.

Parámetro	Abarca <i>et al.</i> (2016)	Arias <i>et al.</i> (2019)
Materia seca	21.57	18.5
Proteína cruda	17.33	23.3
Fibra cruda	20.23	-
Extracto etéreo	6.06	-
Cenizas	3.69	-
ELN	52.69	38.2
FDA	-	27.9
FDN	-	56.1
Hemicelulosa	-	28.2
Lignina	-	7.0
Grasa	-	5.6
Energía digestible (Mcal/kg)	3.395	2.68
Energía metabolizable (Mcal/kg)	2.784	2.2
Calcio	0.05	-
Fósforo	0.08	-
Total de nutrientes digestibles	-	61.05

ELN: Extracto libre de nitrógeno. FDA: Fibra detergente ácido. FDN: Fibra detergente neutro. Nota: La energía metabolizable está calculada según la fórmula ($EM = 0.82 \times ED$).

Continuando con los parámetros bromatológicos, en la tabla 22 se muestran los resultados obtenidos para forraje hidropónico producido con semillas de centeno.

Tabla 22. Resultados del análisis bromatológico (%) de forraje hidropónico de centeno.

Parámetros	Resultado
Materia seca	19.54
Proteína cruda	26.17
Fibra cruda	18.24
Extracto etéreo	4.57

Cenizas	3.16
Extracto no nitrogenado	47.86
Calcio	0.05
Fósforo	0.09
Relación calcio / fósforo	0.57
Energía bruta (Mcal/kg)	4.810
Energía digestible (Mcal/kg)	3.558
Energía metabolizable (Mcal/kg)	2.918

Nota: La energía metabolizable (EM) calculada con la fórmula (EM = 0.82 x ED).

Fuente: Abarca *et al.* (2016).

En la tabla 23 se reporta la composición bromatológica de forraje hidropónico producido con semillas de triticale.

Tabla 23. Análisis bromatológicos (%) de forraje hidropónico de Triticale.

Parámetros	Resultado
Materia seca	22.36
Proteína cruda	24.32
Fibra cruda	15.87
Extracto etéreo	4.45
Cenizas	3.32
Extracto no nitrogenado	52.04
Calcio	0.05
Fósforo	0.10
Relación calcio / potasio	0.53
Energía bruta (Mcal/kg)	4.710
Energía digestible (Mcal/kg)	3.546
Energía metabolizable (Mcal/kg)	2.908

Nota: La energía metabolizable está calculada según la fórmula (EM= 0.82 x ED).

Fuente: Abarca *et al.* (2016)

La tabla 24 presenta el análisis bromatológico realizado a forraje hidropónico de sorgo regado con agua de grifo y cosechado a los 12 días.

Tabla 24. Análisis bromatológico (%) de forraje hidropónico de sorgo cosechado a los 12 días.

Parámetro	Resultado
Materia seca	11.38
Proteína cruda	17.55
Fibra bruta	20.40

Fuente: González y Blandón, (2014).

3.8.4. Rendimiento productivo del forraje hidropónico

El rendimiento del forraje hidropónico depende de factores como día de cosecha, tipo de riego y fertilización, ya que la producción de biomasa en forraje se favorece cuando se nutre con nitrógeno, en la experimentación de Salas-Pérez *et al.* (2010) sus tratamientos de fertilización contenían la concentración suficiente de nitrógeno (200 mg/L), obteniendo un rendimiento de forraje de maíz (21-27 kg/m²) y producción de materia seca (17-18%) satisfactorios, recomendando el uso de FH en la alimentación animal.

Con relación a la conversión de semilla en forraje independientemente de la especie forrajera, muchos autores, como León (2012); Osorno y Gonzáles (2012); Jaume *et al.* (2014); Juárez-López *et al.* (2013); Castellanos (2016), coinciden en un rango que puede oscilar entre 8.0-12 kg de forraje fresco; sin embargo dependiendo de múltiples factores como pueden ser, tipo de riego, días a la cosecha, genotipo de la semilla, se podría llegar a conversiones de hasta 18 kg de forraje por cada kg de semilla (León, 2012; Morales, 2017). En el mismo orden de ideas, para Pérez *et al.* (2012); López y Mcfield (2013); Sánchez del Castillo *et al.* (2013), se puede considerar buena conversión logrando valores de 1:6 o más.

Para especies como, cebada, trigo y avena, se pueden esperar rendimientos de 6.0-8.0 kg de forraje por cada kg de semilla (Fernández y Guailas, 2012). A su vez, en la producción de forraje hidropónico de maíz, Ramírez (2016) obtuvo una conversión igual a 5.08 kg.

En la tabla 25 se recopilan datos de rendimiento productivo como altura, peso fresco y peso de materia seca únicamente de forraje hidropónico producido con semillas de maíz.

Tabla 25. Rendimiento productivo de forraje hidropónico de maíz.

Parámetro	Gómez, (2012)	Naik <i>et al.</i> (2015)	Mejía y Orellana, (2019)
Altura a 11 días (cm)	-	-	26.0 - 30.2
Peso fresco (kg/m ²)	6.35	8-10	15.28
Peso de MS (kg/m ²)	-	-	1.90

MS: materia seca.

La tabla 26 muestra el comportamiento productivo del forraje hidropónico de maíz con un sistema de riego a base de soluciones orgánicas.

Tabla 26. Rendimiento de forraje hidropónico de maíz con riego a base de dos soluciones orgánicas.

Parámetro	TVC	TC
Conversión semilla / forraje (kg/m ²)	1:5.6	1:5.1
Peso fresco (kg/m ²)	19.71	18.09

TVC: té de vermicompost. TC: té de compost.

Fuente: Pérez *et al.* (2012).

En la tabla 27 se reporta el rendimiento en peso fresco y porcentaje de germinación de 1.0 kg de semilla de maíz cultivada hidropónicamente, regado cada 24 horas y cosechado en tres días diferentes.

Tabla 27. Rendimiento en peso fresco de 1.0 kg de semilla de maíz con riego cada 24 horas y cosechado en 3 días diferentes.

Día de cosecha	Peso fresco (kg)	% de germinación
13	3.51	80.5
14	2.53	68.5
15	2.94	79.9

Fuente: Zagal-Tranquilino *et al.* (2016).

La tabla 28 recopila cifras de múltiples autores para el rendimiento productivo (altura, peso fresco y conversión de semilla a forraje) de FH producido con semillas de cebada.

Tabla 28. Rendimiento productivo de forraje hidropónico de cebada cosechado a los 11 días después de la siembra.

Parámetro	Gómez, (2012)	Saidi <i>et al.</i> (2015)	Yousof <i>et al.</i> (2018)	Blanco-Capia <i>et al.</i> (2019)
Altura (cm)	-	-	-	23.8
Peso (kg/m ²)	8.9	7.5	5.4	7.2
Conversión semilla/forraje (kg/m ²)	1:8.9	1:7.5	1:5.4	1:7.2

3.9 FITOSANIDAD EN EL CULTIVO

En la literatura se recomiendan algunas características dentro del proceso de producción de forraje hidropónico que podrían ayudar a evitar en la medida de lo posible la aparición de enfermedades en el forraje. La calidad fitosanitaria de la

semilla es el principal factor para considerar en el sistema de producción debido a los riesgos que puede tener para la salud humana, animal y a nivel económico (Ramírez, 2016).

En esa dirección, aunque las enfermedades más comunes que se pueden presentar en la producción de forraje hidropónico están relacionadas con las condiciones de temperatura, iluminación y humedad, también puede preverse que la semilla no presente hongos, que suelen ser los agentes patógenos principales, algunos hongos patógenos para el FH son del género, *Aspergillus*, *Phytophthora* y *Colletotrichum coccodes* (Fernández y Guailas, 2012).

Al respecto, Ramírez (2016) recomienda realizar análisis a la semilla, aislamiento de microorganismos, los granos dañados presentan la mayor concentración de hongos tales como *Aspergillus sp.* En su trabajo, al producir forraje hidropónico de maíz y sorgo, Varela (2017) utilizando riego manual con bomba de mochila, aplicó a las semillas el día de la siembra, agua con cal como antifúngico, a razón de 50 g de cal por cada litro de agua.

En los trabajos realizados por Ramírez (2014), observó lo siguiente, al no tener un buen control ambiental para la producción de FH (mala calidad del agua, drenado ineficiente, mala desinfección de las semillas, pH ácido, falta de ventilación o altas temperaturas), puede contaminarse principalmente de hongos, los cuales son los primeros en hacerse visibles, provocando podredumbre en las semillas así como en las plántulas, identificó los siguientes géneros de hongos ordenados por incidencia, *Fusarium*, *Aspergillus*, *Trichophyton*, en segundo lugar esta *Mucor*, y en tercer lugar son los hongos Levaduriformes.

Estos hongos pueden aparecer en la zona de la raíz, hacen que el agua que drena de las charolas se torne lechosa, con un olor desagradable y puede generar problemas de salud en los animales que lo consumen; dicho lo anterior, puede considerarse que, la recirculación del agua de riego permita la fácil diseminación de

algún patógeno a todo el cultivo, las plantas infectadas por hongos de la raíz, durante su desarrollo pueden sufrir de enanismo y no alcanzar la madurez; el conocer el tipo de hongo que contamina al forraje puede dar la ventaja de buscar un tratamiento específico y adecuado para contrarrestar los efectos adversos que estos puedan causar (Ramírez, 2014).

Meneses (2012) nos habla sobre una opción viable que puede ayudar a solucionar problemas de enfermedades fúngicas en el cultivo hidropónico, el monitoreo del sistema de riego, la dosis y si fuese necesario, tratar de disminuir el riego en el área de producción, permitir una mayor ventilación en el invernadero, procurar no recircular el agua de riego y de preferencia realizar una desinfección de las bandejas con hipoclorito de sodio 1.0%.

Con respecto a la sanidad del cultivo hidropónico de avena, Fuentes *et al.* (2011b) apuntan que los ciclos de 10 días pueden ser viables y suficientes en cuestión de calidad forrajera, ciclos más largos no suelen recomendarse, debido a la posible pérdida de calidad sanitaria del material cosechado (presencia de hongos entre las semillas no germinadas).

Mejía y Orellana (2019), al evaluar el rendimiento productivo del forraje hidropónico de maíz con el fin de implementarlo en la UPP, aplicaron desde el día de la siembra hasta el día cinco, sorbato de potasio a razón de 1.0 g por litro de agua con el objetivo de evitar crecimiento de bacterias y hongos, obteniendo resultados satisfactorios.

3.10. EMPLEO DEL FORRAJE HIDROPÓNICO EN LA ALIMENTACIÓN OVINA

El ganado ovino es buen productor de carne y leche, también lo es como proveedor de lana que se emplea en la industria textil, el consumo y la demanda a nivel mundial de la carne ovina aumenta todos los años, esto se debe en parte a que la población también se encuentra en constante crecimiento (Rodríguez y Díaz, 2017).

3.10.1. La industria ovina en México

En México, la industria ovina se apoya en un inventario de 8.6 millones de cabezas (cb), distribuidas en las regiones centro (55%), centro-norte (23%) y sur (16%) principalmente, este inventario de acuerdo con Herrera *et al.* (2019) es insuficiente para cubrir la demanda nacional de carne ovina debido a la existencia de rebaños en pastoreo con bajos índices productivos y reproductivos, pie de cría de dudosa calidad genética y carencia de información fidedigna de indicadores económico-productivos, recurriendo el país a importaciones tanto de animales para abasto, canales, vientres y sementales (Pérez *et al.* 2011).

Algunos autores como Cuéllar *et al.* 2012; Orona *et al.* 2014; Castellón y Tórrez 2018 concuerdan que en México predominan los sistemas tradicionales (pastoreo con vegetación nativa) con bajos niveles productivos y tecnológicos, dependen para la alimentación de sus animales de los pastizales nativos, cuya calidad y cantidad varían grandemente durante el año, lo que provoca estados de subnutrición, que, aunados al encierro nocturno que practican, determinan una mayor susceptibilidad a enfermedades; sumando a lo anterior, aquellos campesinos sin tierra, que no piensan en su rebaño como alternativa para lograr un beneficio económico, sino que lo ven como un patrimonio al cual recurrir sólo en situaciones económicas de emergencia (Martínez *et al.* 2011; Vélez *et al.* 2016; Rodríguez y Díaz, 2017).

Gran parte de estos productores generalmente no están organizados para mejorar su sistema de producción, tan solo se encuentran inscritos en la asociación ganadera local, solo en ocasiones participan en algunos programas de gobierno (Herrera *et al.* 2019). En la gran mayoría de los casos no reciben asesoría técnica para la producción, solo un porcentaje muy bajo de los productores recurre a médicos veterinarios cuando se presenta algún problema sanitario en su rebaño, pero la asesoría no incluye aspectos relacionados con la nutrición, reproducción, manejo genético, manejo sanitario o aprovechamiento de sus recursos forrajeros (Galaviz *et al.* 2011; Hernández *et al.* 2019).

En el mismo sentido, Hernández-Marín *et al.* (2018) denotan que, aproximadamente el 80% del rebaño ovino nacional pertenece a productores de bajos recursos económicos y bajo nivel tecnológico, mientras que 95% del inventario nacional está formado por ganado criollo, el 5.0% restante por razas especializadas (Suffolk, Hampshire, Rambouillet, Corriedale).

Sobre el tema, aprovechamiento de recursos forrajeros, Sánchez del Castillo *et al.* (2013) manifiestan lo siguiente, en México, alrededor de 100 millones de hectáreas se ubican en zonas áridas o semiáridas y aproximadamente un 70% del territorio nacional presenta suelos con pendientes pronunciadas que limitan la agricultura y ganadería convencional.

3.10.2. Características de la alimentación de los ovinos en México

En temas de alimentación ovina, la literatura reporta que la mayoría del ganado ovino en nuestro país es alimentado bajo sistemas tradicionales de pastoreo, con base a forrajes cultivados principalmente en orillas de caminos vecinales y pastizales (Capa y Loayza, 2017). Existen sistemas de alimentación mixtos, los cuales disponen de forrajes que son producidos en sus tierras, solo un bajo porcentaje engorda a su ganado en corral principalmente con alimento balanceado (Herrera *et al.* 2019).

La base alimenticia de la mayoría de los ovinos es el maíz, principalmente en rastrojo, además de alfalfa y avena, este tipo de productos principalmente el rastrojo y el grano de maíz generalmente son obtenidos de la cosecha de tierras de cultivo de los mismos productores (García-Carrillo *et al.* 2013; Ramírez, 2014). La alimentación y producción de forraje dependen principalmente de la época del año, de manera que, tanto la mayor producción como la mejor calidad se obtienen durante la estación de lluvias (verano), esta situación hace que los animales en pastoreo ganen peso durante el temporal y lo pierdan durante las épocas de invierno y primavera cuando la disponibilidad de forraje y nutrientes es más reducida (Herrera y Echavarría, 2010; Saidi y Abo, 2015).

Integrado a la mención anterior, durante los meses de lluvia los animales pastorean de 8:00 a.m. a 7:00 p.m. aproximadamente y durante la época de sequía únicamente lo hacen en los alrededores durante máximo unas 3 horas, los complementan por lo regular con rastrojo de maíz y suplementos minerales como, piedra de minerales, tequesquite, sal, vitaminas y calcio (Alcaraz *et al.* 2015; Cantón *et al.* 2017; Jiménez-Jiménez *et al.* 2019). Al respecto, Sánchez del Castillo *et al.* (2013) apunta lo siguiente, la forma más común de alimentación de borregos en México consta de seis horas en pastoreo, complementado con concentrado más 100 g de suplemento mineral.

Se reporta en la literatura, para la producción de ovinos, que el costo de los suplementos normalmente representa una inversión importante, por lo que en medida que el rebaño demande más suplementos la rentabilidad de los rebaños disminuirá, es decir, la posibilidad de crecimiento del rebaño puede estar determinada por la capacidad de producir el alimento que consumirá el ganado (Herrera *et al.* 2019).

Entre los requerimientos nutricionales de los ovinos, en especial la proteína, limita severamente los procesos productivos cuando su concentración en el forraje consumido baja del 7.0%, lo anterior puede producirse en condiciones de pastoreo durante el periodo seco de la pradera (Meneses, 2012).

En vista de lo mencionado, Cantón *et al.* (2017) recomiendan buscar tecnologías que puedan permitir la generación de recursos forrajeros de buena calidad y que además permitan en la medida de lo posible reducir el impacto ambiental por la utilización de grandes superficies modificadas artificialmente.

Una potencial alternativa tecnológica para hacer frente a estos problemas, y que ha dado buenos resultados en países desarrollados, incluso en vías de desarrollo, es el sistema de producción de forraje en hidroponía; en poco tiempo, usando poca

superficie y con una eficiencia en el uso del agua, permite obtener satisfactorios rendimientos (8.0-12.0 kg) por unidad de superficie, un buen alimento para la nutrición ovina (Sánchez del Castillo *et al.* 2013; Tawfeeq *et al.* 2018).

En la literatura (Sánchez del Castillo *et al.* 2013) se menciona lo siguiente, quienes se dedican a la engorda de ganado ovino o producción de sus derivados en regiones áridas o con suelos no aptos para agricultura, enfrentan problemas de escases de forraje, agua, limitaciones de producción, lo que puede llegar a ocasionar pérdidas de peso, escaso volumen de leche, problemas de fertilidad, abortos o la muerte de los animales, generalmente a nivel de pequeños y medianos productores.

En la industria ovina, la alimentación, de acuerdo con autores como González y Blandón (2014); Saidi y Abo (2015); Rodríguez y Díaz (2017), representa alrededor del 75-85% de los costos totales de producción; una alternativa para alimentación podría ser la implementación de sistemas de forraje hidropónico, los ovinos tienen potencial en hacer buen uso de los nutrientes que aporta dicho forraje (Ramírez, 2014; Mysaa, 2016).

3.10.3. Comportamiento productivo ovino al consumir forraje hidropónico

A pesar de las ventajas que se enlistan en esta revisión, existe poca información sobre la aplicación de esta tecnología en la alimentación de ovinos, a continuación, se presentan los trabajos encontrados al respecto.

3.10.3.1. Consumo

En resultados de múltiples trabajos, autores como Alcaraz *et al.* (2015); Morales, (2017) y Arias *et al.* (2019) coinciden en que, después del periodo de adaptación que oscila entre 14-15 días, los ovinos pueden ajustar el consumo aproximadamente de 1.2-1.3 kg/día de forraje hidropónico, aunque los consumos pueden ser mayores dependiendo de la raza, etapa de producción, entre otros (Sánchez del Castillo *et al.* 2013).

De acuerdo con el folleto de alimentación para ovinos de México, basado en el NRC (2007), la cantidad de forraje fresco que debe consumir un ovino, se estima con base a un 15% de su peso vivo, de acuerdo con lo anterior, un ovino de 35 kg de peso vivo debería comer 5.25 kg de forraje fresco al día; en términos de forraje seco (MS) se estima un 3.0 a 4.0% de su peso vivo, esto significa un consumo diario de 1.05 a 1.4 kg de forraje seco al día (Rodríguez y Díaz, 2017; Tawfeeq *et al.* 2018). En la misma dirección, se reporta un consumo de materia seca total para ovinos de engorda que puede llegar hasta 3.7% de su peso vivo; la ración de forraje hidropónico se recomienda suplementar con algún rastrojo o paja para evitar problemas de timpanismo (Sánchez del Castillo *et al.* 2013).

Para el engorde de ovinos, Morales (2017) recomienda utilizar el forraje hidropónico a un 4.0% del peso vivo en materia seca, aproximadamente 1.2-2.0 kg de FH, ya que esto podría mejorar los parámetros productivos de los mismos. Un borrego pelibuey de un peso promedio de 20 kg consume aproximadamente 1.68 kg/MS de FH de maíz, lo cual representa un 8.4% de consumo en base a su peso vivo, el cual, es en un tiempo más bajo en comparación con engorde a base de concentrados.

Mysaa (2016), tras valorar el comportamiento en producción de corderos de raza awassi recién destetados y alimentados por un periodo de 90 días, observó que la ingesta de alimento resultó ser mayor para los corderos alimentados con dieta control (grano de cebada, harina de soya) que los corderos alimentados con dieta de forraje hidropónico de cebada, con los siguientes resultados, 0.65 kg/día vs 0.56 kg/día respectivamente. En la tabla 29 se muestra la dosis sugerida por Juárez-López *et al.* (2013) de FH para ovinos a manera de 1.0 a 2.0 kg de FH por cada 100 kg de peso vivo.

Tabla 29. Dosis sugerida (kg) de forraje hidropónico para ovinos.

Especie	Dosis de FH	Observaciones
Ovino	1.0 – 2.0	Agregar fibra

Fuente: Juárez-López *et al.* (2013).

Así mismo, en los trabajos realizados por Saidi y Abo (2015) con el fin de evaluar el comportamiento productivo de ovinos jóvenes de raza awassi, adicionaron forraje hidropónico de cebada con 8 días de cosecha a la dieta base de los corderos, obteniendo en promedio, un consumo de alimento diario entre 4.4-4.5 kg de forraje verde.

En trabajos realizados con enfoque en el consumo de materia seca, Rodríguez y Díaz (2017) tras evaluar el consumo alcanzado en ovinos de raza poll dorset en desarrollo y con sistema estabulado, utilizaron forraje hidropónico de cebada con diferentes niveles de inclusión, reportan que los mayores pesos alcanzados fueron en los animales que consumieron el 50% de FH como parte de su dieta base (37.5 kg) en comparación a los alimentados con un nivel menor de FH y mayor de concentrado (28 kg).

En el mismo tenor, Castellón y Tórrez (2018) al evaluar el consumo de materia seca de ovinos en desarrollo, utilizando dos tipos de dieta, una basada en forraje hidropónico de maíz y otra que consistió en pastoreo al 100%, la cual reflejó el mayor consumo de MS total con 23.74 kg con respecto a los valores de 17.0-19.0 kg obtenidos con la adición del FH.

En sus experimentaciones con cabras, Boccanera (2017) y Arias *et al.* (2019) adicionando en la dieta un porcentaje de forraje hidropónico (heno de campo natural + 1.2 kg FH/cabra/día), concluyeron como una potencial alternativa en la alimentación del ganado caprino al FH que, por un efecto de adición, aumentó el consumo total de MS (0.863 kg/día/cabra) respecto a la dieta sin FH (0.617 kg/día/cabra).

Es importante mencionar que el forraje hidropónico y en especial el de maíz, tiene un alto contenido de humedad (70-80%), por lo que, al aumentar su proporción en

la ración total, muy probablemente el consumo de materia seca disminuirá linealmente (Cantón *et al.* 2017).

3.10.3.2. Palatabilidad

Después de su experimentación, Morales (2017) determinó que la presencia de forraje hidropónico de maíz en la dieta la puede hacer más palatable, para las dietas manejó además de FH, heno de pangola y balanceado comercial; utilizó para su experimentación ovinos de pelo machos castrados de raza katadin, con pesos promedios de 14-15 kg de peso vivo y con una edad comprendida entre los 70-90 días; en las dietas donde adicionó 50 y 60% de FH se obtuvieron los mayores valores en consumo de alimento, con un promedio de 1.32 kg de MS/animal/día, relacionando así la palatabilidad con la calidad nutricional superior del forraje hidropónico comparada con otros alimentos proporcionados en la región.

En ese mismo sentido, tras los trabajos realizados durante 53 días por Meneses (2012) al engordar ovinos de entre seis y ocho meses de edad con 1.3-1.6 kg de forraje hidropónico y concentrado ad-libitum en condiciones de confinamiento, tuvo buena aceptación al ofrecer el FH de cebada a los ovinos con un consumo total de 55.46 kg presentando buena palatabilidad en comparación con la dieta testigo que solamente mostró un consumo de 51.66 kg.

3.10.3.3. Ganancia de peso

En los resultados obtenidos tras la experimentación de Morales (2017) al evaluar el consumo de forraje hidropónico de maíz en ovinos de pelo estabulados en el país de Guatemala, encontró que la adición de FH a la dieta es posiblemente directamente proporcional a la ganancia de peso diario, para las dietas base utilizó heno de pangola y balanceado comercial, teniendo resultados en ganancia máxima de 0.091 kg/día en ovinos de pelo de 15.18 kg de peso vivo, la cual correspondió al tratamiento con un 60% de FH en la dieta y una ganancia promedio en la investigación de 0.075 kg/día.

En el trabajo de Sánchez del Castillo *et al.* (2013) para evaluar la ganancia de peso en borregos, encontraron que en aquellos alimentados con una dieta basada en forraje hidropónico (8.72% MS, 33.97% PC, 3.4 EE), la ganancia diaria fue de 159 g, mientras que en los borregos alimentados únicamente con alimento concentrado (sorgo y soya a una relación de 4:1), la ganancia disminuyó a 116 g/día y con la dieta basada en 6 horas de pastoreo complementado con alimento concentrado tuvo una ganancia de 132 g/día; apuntan igualmente, que en el FH, por cada kilogramo de MS existe una mayor cantidad de proteínas y aminoácidos libres, los cuales son asimilados inmediatamente al ser ingeridos, por otro lado, el contenido de fibra cruda en el alimento concentrado es menor al del FH, esto es importante ya que en ovinos el contenido de fibra tiene un efecto sinérgico en la asimilación de otros componentes como las proteínas y minerales.

En la misma dirección, Castellón y Tórrez (2018) al evaluar la ganancia de peso en ovinos pelibuey-dorper de aproximadamente 3 meses de edad durante 47 días, utilizando forraje hidropónico de maíz con diferentes niveles de inclusión en la dieta, reportaron que la mejor ganancia diaria (102.5 g) se obtuvo utilizando en la dieta la inclusión de un 30% de FH de maíz y pastoreo, en relación con los animales que se les manejó solo con pastoreo con resultados de (57.1 g), obtuvieron así mismo una ganancia de peso total en promedio de 4.82 kg, correspondiente a la inclusión del 30%.

De acuerdo con Rodríguez y Díaz (2017), al evaluar la ganancia de peso en ovinos poll dorset recién destetados con edades entre 2-3 meses y sistema estabulado con un periodo de evaluación de 28 días utilizando forraje hidropónico de cebada con diferentes niveles de inclusión en la dieta, reportaron que la mayor ganancia diaria de peso alcanzada (290 g en promedio) fue en los animales que consumieron el 50% de FH como parte de la dieta basal (ensilado de maíz, heno de pasto y concentrado), donde la menor ganancia diaria en los demás tratamientos fue de aproximadamente 197 g, para el peso final, obtuvieron los mayores resultados

(aproximadamente 37 kg) igualmente en los animales que consumieron el 50% de FH.

Por igual, Saidi y Abo (2015), tras evaluar el comportamiento productivo de ovinos lactantes de raza awassi adicionando a su dieta base (heno y salvado de trigo, alimento concentrado) forraje hidropónico de cebada a los 8 días de cosecha, obtuvieron en promedio una ganancia diaria de peso que fluctúa entre 71 a 83 g y una ganancia de peso total con valores en promedio de 4.2 a 5.8 kg.

Un año después, tras valorar el comportamiento productivo de corderos recién destetados y alimentados durante 90 días, Mysaa (2016) determinó que la ganancia diaria de peso promedio fue mayor en corderos alimentados con forraje hidropónico de cebada, con un valor de 266 g/animal/día, mientras la dieta control (grano de cebada, harina de soya) tuvo un promedio de 191 g/animal/día; respecto a la ganancia de peso total fue significativamente mayor para los corderos alimentados igualmente con FH de cebada, alcanzando valores de 20.52 kg, en comparación con los corderos alimentados con dieta control con pesos de aproximadamente 17.21 kg; teniendo como resultado final para peso vivo, mejores resultados para los corderos alimentados con inclusión de FH a diferencia de los de dieta control, con pesos de 39.04 kg vs 36.36 kg respectivamente.

En ese mismo año, Castellanos (2016) realizó trabajos donde, determinó que la suplementación con forraje hidropónico en ovinos machos de raza pelibuey, con 3 meses de edad en promedio, va directamente relacionada a evitar en lo posible la pérdida de peso en las épocas de escases de alimento (diciembre-abril), por lo que se plantea como un mecanismo de suplementación para conservar la ganancia de peso sin importar el tipo alimento que se suministre en el periodo de destete y ceba.

Por su parte, tras valorar el comportamiento productivo de corderos raza pelibuey con peso vivo promedio de 20 kg, recién destetados y alimentados durante 90 días, Alcaraz *et al.* (2015) obtuvieron ganancias de peso diarias que oscilaron entre 250

a 300 g al alimentar con raciones que incluyan hasta un 40% de forraje hidropónico de maíz, con lo que reportan que el FH puede ser un alimento de potencial valor nutricional proteínico (18.30%) y con buena digestibilidad (80-90%).

En la misma dirección, los resultados obtenidos por Meneses (2012) tras adicionar forraje hidropónico de cebada a la dieta de ovinos criollos machos de entre seis a ocho meses de edad, obtuvo los mayores incrementos semanales, con valores que fluctúan entre 0.9 hasta 1.40 kg/semana/ovino desde la primera hasta la octava semana de evaluación, también obtuvo la mejor conversión alimenticia con esta dieta, parámetro del cual se hablará a continuación.

3.10.3.4. Conversión alimenticia

Ahora bien, siguiendo con el comportamiento productivo, en la literatura se define a la conversión alimenticia (CA), como los kilogramos de alimento requeridos para que un animal produzca un kilogramo de producto, la conversión es mejor mientras más baja sea, es decir, una conversión alimenticia de 2.0 es mejor que una de 2.2 (Shimada, 2018).

Dentro de este orden de ideas, los resultados obtenidos por Morales (2017) indican que la tendencia de la conversión alimenticia debido a la adición de forraje hidropónico en proporciones de 40, 50 y 60% presenta una mejora en el orden ascendente hasta el 60% de adición, obteniendo una CA de aproximadamente 19.3 en los ovinos con ausencia de FH en la dieta, por su parte, los ovinos con un 60% de FH en su dieta lograron en promedio 18.7 CA.

En ese mismo año, Rodríguez y Díaz (2017) al evaluar el comportamiento productivo de ovinos raza poll dorset en etapa de desarrollo con sistema estabulado, obtuvieron una conversión alimenticia en promedio de 5.6 con la dieta de menor inclusión de forraje hidropónico (23%), mientras que utilizando 50% de inclusión de FH de cebada en la dieta, obtuvieron 4.9 de CA.

En otro caso, resultados obtenidos por Castellón y Tórrez (2018) al evaluar la conversión alimenticia en tres grupos de ovinos alimentados, dos de ellos con distintos niveles de inclusión de forraje hidropónico de maíz (30 y 50% respectivamente), el tercer grupo fue alimentado con 100% pastoreo; se obtuvo la mejor CA (3.55) con el grupo de inclusión al 30%, mostrando una diferencia significativa con el grupo de 100% pastoreo, con una CA de 8.99.

Por último, es conveniente mencionar, tras valorar el comportamiento en producción de corderos recién destetados y alimentados durante 90 días aproximadamente; Mysaa (2016), determinó que el valor de la conversión alimenticia se vio afectado por el contenido en las dietas experimentales, fue mejor para los corderos alimentados con forraje hidropónico de cebada en comparación con los corderos alimentados con la dieta de control (harina de soya y grano de cebada) con valores promedio de 2.44 y 3.39 respectivamente.

3.10.3.5. Digestibilidad

Autores como McDonald *et al.* (2011) y Bedolla-Torres *et al.* (2015) coinciden desde una perspectiva general, que la digestibilidad de un alimento se define, como la cantidad o el porcentaje de dicho alimento que consumido por el animal, se digiere (desaparece) a su paso por el tracto digestivo y que no se excreta, para el forraje, la digestibilidad se encuentra dada por su contenido químico y dictamina la cantidad de nutrientes que serán aprovechados por el ganado, un método usual para determinar la digestibilidad de un alimento, es administrarlo a los animales en cantidades conocidas y posteriormente medir así como analizar las heces.

Se plantea entonces lo siguiente, la madurez del forraje está relacionada con el grado de digestibilidad del alimento, a medida que el forraje madura, el contenido de fibra (principalmente de celulosa y lignina) va en aumento mientras que el porcentaje de proteína decrece, disminuyendo de esta manera la digestibilidad del forraje (Bedolla-Torres *et al.* 2015).

En la literatura se reporta que, el forraje hidropónico de cebada estructuralmente contiene plántulas tiernas probablemente con mayor digestibilidad, sumado a lo anterior, presenta carbohidratos no estructurados (extracto libre de nitrógeno) y una baja proporción de cenizas que aumenta la digestibilidad de los nutrientes en el FH (Tawfeeq *et al.* 2018).

Encaminado al tema, Alcaraz *et al.* (2015), evaluaron la digestibilidad de la dieta administrada a ovejas de raza pelibuey, adultas, con un peso vivo promedio de 35.2 kg, con una inclusión aproximada del 40% de forraje hidropónico de maíz, agregando también alimento concentrado, tras seis días de mediciones que consistieron en animales instalados en jaulas metabólicas de madera, provistas de comederos, bebederos y recolectores para heces, obtuvieron un resultado cercano al 80% de digestibilidad.

Es por eso que, para los ovinos, la digestibilidad del alimento cumple un papel importante en la regulación del consumo, cuando la digestibilidad es inferior al 68% se produce el efecto de llenado debido a una limitación física del tracto gastrointestinal, la variación en la digestibilidad de los alimentos (forrajes) está provocada generalmente por la concentración de lignina (Relling y Mattioli, 2013).

3.10.3.6. Rendimiento y composición de leche

Los estudios realizados por Saidi y Abo (2015) donde, al evaluar el comportamiento productivo de ovinos de raza awassi, adicionando a su dieta base (heno y salvado de trigo, así como alimento concentrado) forraje hidropónico de cebada con 8 días de cosecha, observaron que el rendimiento de la leche no se vio afectado por la inclusión del forraje, igualmente su composición (proteína, grasa y sólidos totales) tampoco se vio afectada por la alimentación con FH, con lo que concluyen, que si bien existe una ligera mejoría en estos parámetros con la adición de forraje hidropónico, no se considera significativa.

En su investigación, Naik *et al.* (2015) tras analizar el sistema de forraje hidropónico, resaltan el potencial de esta tecnología para la producción de alimento, al aumentar la digestibilidad de los nutrientes en la dieta, posiblemente contribuiría al aumento de la producción de leche y así podría ser adoptada por productores lecheros.

3.10.3.7. Estado de salud

Los trastornos o enfermedades gastrointestinales reportados en la literatura que pudieran padecer los ovinos al consumir forraje hidropónico como parte de su dieta se mencionaran en este apartado.

Saidi y Abo (2015), tras evaluar el comportamiento productivo de ovinos adultos en época de lactancia de raza awassi, con un ensayo de alimentación en dos grupos, el primero alimentado con salvado de trigo, heno de trigo y alimento concentrado, el segundo grupo fue alimentado con una ración similar, excepto que el heno de trigo fue totalmente reemplazado por forraje hidropónico de cebada, durante el ensayo, no se observaron signos de enfermedad o problema de salud, no hubo casos de aborto en las ovejas experimentales, lo atribuyen a los niveles adecuados de vitamina A como posible factor para mantener la gestación mientras se consume este tipo de dieta, al finalizar su trabajo la tasa de supervivencia en las ovejas fue del 100%.

Los compuestos fenólicos, que representan un amplio grupo de sustancias químicas entre las que se encuentran a los taninos, son consideradas metabolitos secundarios de las plantas; después de haber sido considerados en el pasado como factores anti nutricionales (Morales y Ungerfeld, 2015). Se sabe que en la actualidad los efectos de taninos en la alimentación de rumiantes dependen principalmente de la dosis, especie y fisiología del animal que los consume, la composición de la dieta, tipo del tanino (estructura, peso molecular), se puede decir que estando presentes a concentraciones elevadas (mayores de 5.0% en MS) impactan negativamente sobre algunos aspectos de la productividad animal, como la reducción del consumo voluntario e incremento de peso vivo, por el contrario, se ha reportado que la ingesta

de forrajes que contienen pequeñas o moderadas cantidades (menores a 5.0% MS) puede mejorar la utilización digestiva del alimento por los rumiantes, principalmente al actuar sobre el metabolismo proteico (Jenko *et al.* 2018). De esta manera, es como Pérez *et al.* (2012) después de evaluar el rendimiento, composición nutricional de forraje hidropónico de maíz producido en invernadero, obtuvieron un contenido fenólico total del FH de maíz orgánica e inorgánicamente fertilizado de aproximadamente menor al 1.0% en base seca, por lo que el consumo de dichos FH no representaría riesgos para la salud del ganado ovino.

En relación con este tema, se reporta en la literatura (Ramírez, 2017) la posibilidad de presentarse otro trastorno en el tracto gastrointestinal, la toxicidad con nitrato (NO_3^-) y nitrito, los cuales son producidos y acumulados en ciertos forrajes y plantas verdes más que en otras plantas. Los rumiantes pueden tolerar raciones que contengan nitratos debido a que los microorganismos del rumen tienen la capacidad de reducir el nitrato a amonio el cual es mejor utilizado (Morales, 2017). De acuerdo con Trejo-Téllez y Gómez-Merino (2012); Maldonado *et al.* (2013), las plantas jóvenes como el FH regadas con altas dosis de fertilizantes nitrogenados acumulan NO_3^- (5,000 a 15,000 mg/kg), los cuales pueden provocar la intoxicación de rumiantes.

Gulmezoglu *et al.* (2010) indican que, una concentración de NO_3^- en el forraje hidropónico menor a 1,000 mg/kg en base seca es segura, pero una concentración mayor a los 10,000 mg/kg es potencialmente tóxica para la mayoría de los rumiantes. Por su parte, Morales (2017) menciona que si bien, desde niveles de 700 mg/kg (NO_3^-) podrían presentarse síntomas de toxicidad, concentraciones de 2,200 mg/kg pueden ser fatales para los rumiantes.

Una vez en el rumen, el NO_3^- es reducido a nitrito por mediación de la enzima nitrato-reductasa, el nitrito pasa a amoníaco (NH_3) con la acción enzimática de la nitrito-reductasa; sin embargo, por encima de la concentración de NO_3^- , el paso de nitrito a NH_3 resulta significativamente disminuido (González, 2012; Ramírez, 2017).

De este modo, la absorción de nitrito a partir del rumen es bastante rápida, así, una vez que alcanza el torrente sanguíneo, los nitritos oxidan el hierro ferroso de la hemoglobina, convirtiéndolo en metahemoglobina, la cual es incapaz de transportar oxígeno, causando hipoxia tisular; los animales intoxicados pueden presentar salivación y dolor abdominal (tratan de patearse al abdomen), disnea, taquipnea, temblores musculares, debilidad, cianosis, taquicardia, pulso rápido y filiforme, finalmente, los animales caen con convulsiones clónicas, se reporta que la muerte ocurre generalmente de 12 a 48 horas después de la ingestión de las plantas tóxicas (González, 2012; Torres, 2018). Si la cantidad de metahemoglobina es mayor al 65%, el rumiante no tendrá suficiente oxígeno, lo que le ocasionará la muerte probablemente en un breve período de tiempo (12 horas), aunque pueden morir en minutos sin presentar signos clínicos (Ramírez, 2017).

IV. CONCLUSIONES

Una mejoría en la alimentación animal dentro de las unidades de producción pecuaria sería posible con la implementación de forraje hidropónico, ya que permite contar con alimento saludable y de buena calidad todos los días, siendo una producción de bajo impacto ambiental; se recomienda especialmente durante períodos de sequía cuando el forraje es escaso, en regiones con dificultad de producción forrajera como desiertos, montañas y zonas árticas.

Las características en composición nutrimental y rendimiento general del forraje hidropónico lo hacen apto para la alimentación de los ovinos, trabajos reportados en la literatura demuestran efectos positivos en el comportamiento productivo animal, lo que refleja que las dietas con este tipo de alimento podrían ser de gran beneficio para los ovinocultores.

Con el forraje hidropónico se puede formular una buena ración alimenticia, funcionando como complemento en la dieta, siendo una potencial alternativa al no reportarse efectos negativos en la salud y productividad animal.

Sin embargo, existe poca información con respecto al uso de este tipo de tecnología en la alimentación de ovinos, por lo que se recomienda realizar más investigación al respecto tanto en el ámbito nutricional, productivo y económico para poder tomar decisiones en su aplicación en la industria de la producción ovina.

V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abarca, R. P., Silva, R. L., Carrasco, J. J., Aguirre, A. C., Mora, L. D. 2016. Producción de forraje verde hidropónico para la pequeña agricultura. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Argentina. Boletín INIA, N.º 321: 1-26.
- Acosta, L. N. V., Lima, O. R., Castro, A. A., Avellaneda, C. J. H., Suárez, R. Y. G. 2016. Evaluación de diferentes sistemas de producción de biomasa hidropónica de maíz. Centro Agrícola. 43(4): 57-66.
- Alayon-Gamboa, J. A., Jiménez-Ferrer, G., Nahed-Toral, J., Villanueva-López, G. 2016. Estrategias silvopastoriles para mitigar efectos del cambio climático en sistemas ganaderos del sur de México. Revista Agroproductividad. 9(9): 10-15.
- Alcaraz, R. R., Cantón, C. J. G., Domínguez, R. A., Maya, M. A., Hernández, P. M., Chiquíni M., R. 2015. Digestibilidad de la dieta y crecimiento de corderos pelibuey alimentados con forraje verde hidropónico de maíz. X Seminario Internacional de Producción de Ovinos en el Trópico: 139-143.
- Alcaraz-Romero, R. A., Góngora-González, S., Cantón-Castillo, J. J. G. 2019. Rentabilidad de establecimiento de producción de forraje verde hidropónico de maíz. [Tesis, Tecnológico Nacional de México]: 504-508.
- Al-Karaki, G. N. 2011. Utilization of treated sewage wastewater for green forage production in a hydroponic system. Emirates Journal of Food and Agriculture. 23(1): 80-94.

- Al-Karaki, G. N., Al-Hashimi, M. 2012. Green fodder production and water use efficiency of some forage crops under hydroponic conditions. International Scholarly Research Network. 05 p.
- Arias, R. O., Muro, M. G., Boccanera, M., Trigo, M. S., Boyezuk, D., Cordiviola, C. Á. 2019. Aporte nutricional del Forraje verde hidropónico en la alimentación de cabras cruza criollas x Nubian. Revista Facultad de Agronomía. 118(1): 127-134.
- Ballesteros-Barrera, C., Jiménez-García, D., Hernández-Cárdenas, G. 2011. El impacto potencial del cambio climático sobre los agroecosistemas. El caso del cultivo del maíz, proyecciones al futuro. Manejo Agroecológico de Sistemas. 2: 1-14.
- Bedolla-Torres, M. H., Palacios, E. A., Palacios, O. A., Choix, F. J., Ascencio, V. F. J., López, A. D. R., Espinoza, V. J. L., Luna, P. R., Guillen, T. A., Avila, S. N. Y., Ortega, P. R. 2015. La irrigación con levaduras incrementa el contenido nutricional del forraje verde hidropónico de maíz. Revista Argentina de Microbiología. 47(3): 236-244.
- Beltrano, J. Giménez, D. O. 2015. Cultivo en hidroponía (1a edición). [Tesis, Universidad Nacional de La Plata]. Facultad de ciencias agrarias y forestales. Argentina. 181 p.
- Birgi, J. A., Gargaglione, V., Utrilla, V. 2018. El forraje verde hidropónico como una alternativa productiva en Patagonia Sur: productividad y calidad nutricional de dos variedades de cebada (*Hordeum vulgare*). Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Argentina. 44(3): 316-323.
- Blanco-Capia, L. E., Colque-Pérez, H., Rosales-Mendoza, M. B. 2019. Producción de forraje verde hidropónico versus geopónico de cebada (*Hordeum vulgare L.*) en ambientes controlados. Journal of the Selva Andina Biosphere. Bolivia. 7(2): 11 p.
- Boccanera, M. 2017. Utilización de forraje verde hidropónico en dietas para caprinos. Trabajo final de la carrera de Ingeniería Agronómica. Universidad Nacional de la Plata. Argentina. 32 p.
- Bosques, V. J. H. 2010. Curso básico de hidroponía (3ra edición). Moca, Puerto Rico. 199p.
- Callisaya, G. R. A. 2018. Efecto de tres alturas de bandeja y tres densidades de siembra sobre la producción de forraje verde hidropónico de cebada (*Hordeum vulgare L.*) en la localidad de Viacha, del departamento de la Paz. [Tesis, Universidad Mayor de San Andrés]. Bolivia. 62 p.

- Candia, L. 2014. Evaluación de la calidad nutritiva de forraje verde de cebada *Hordeum vulgare* hidropónico, fertilizado con soluciones de guano de cuy *Cavia porcellus* a dos concentraciones. *Salud y Tecnología Veterinaria*. 2(1): 55-62.
- Cantón, C. J., Alcaraz, R. A., Maya, M. A., Domínguez, R. A. 2017. Consumo y digestibilidad del forraje verde hidropónico de maíz (FVHM) en ovejas Pelibuey. *Avances de la investigación sobre producción de ovinos de pelo en México*. Tecnológico Nacional de México. 155-158.
- Cantuta, R., T. 2015. Efecto del abono orgánico líquido de humus en la producción de forraje verde hidropónico de cebada (*Hordeum vulgare*) en condiciones de invernadero. [Tesis, Universidad Mayor de San Andrés] Facultad de Agronomía. Bolivia. 96 p.
- Capa, M. E. D., Loayza, A. H. R. 2017. Forraje verde hidropónico, una alternativa para la alimentación en ganado bovino, caprino y ovino en la provincia de Loja. [Memorias, Universidad Técnica Particular de Loja]. Ecuador: 88-90.
- Caraguay, S. D. L. 2016. Utilización de forraje verde hidropónico de avena "Avena sativa" con tres niveles de alfalfa "Medicago sativa" en la alimentación de cuyes en la hoya de Loja. [Tesis, Universidad Nacional de Loja]. Ecuador. 90 p.
- Castellanos, H. E. Y. 2016. Evaluación de la producción de alimentación no convencional a base de forraje verde hidropónico (FVH) mixto de maíz (*Zea mays*) y lenteja (*Lens culinaris*) germinado en agua de coco biche (*Cocos nucifera*) como suplemento nutricional para ganancia de peso en camuros (*Ovis aries*) en la finca Risaralda, vereda el pescado, municipio de San Alberto, Cesar. [Tesis, Universidad Industrial de Santander]. Colombia. 94 p.
- Castellón, C. M. A., Tórrez, G. L. F. 2018. Inclusión de forraje verde hidropónico en la alimentación de ovinos en desarrollo y su efecto en el comportamiento productivo, Finca Santa Rosa, Managua. [Tesis, Universidad Nacional Agraria]. Nicaragua. 30 p.
- Cerrillo, S. M. A., Juárez, R. A. S., Rivera, A. J. A., Guerrero, C. M., Ramírez, I. R. G., Bernal, B. H. 2012. Producción de biomasa y valor nutricional del forraje verde hidropónico de trigo y avena. *Interciencia*. 37(12): 903-913.

- Churata, W. 2013. Efecto de la urea en diferentes niveles en el engorde de cuyes (*Cavia porcellus L.*) en el Instituto Nacional de Innovación Agraria. [Tesis, Escuela Profesional de Ingeniería Agronómica]. Perú. 112 p.
- Corona, R. L. R. 2011. Producción de forraje verde en la mixteca poblana una alternativa nutricional para la época de sequía. Secretaria de Desarrollo Rural del Estado de Puebla. 11 p.
- Cuéllar, O. J. A., Tórtora, P. J., Trejo, G. A., Román, R. P. 2012. La producción ovina mexicana particularidades y complejidades. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. México. 173 p.
- Cúneo, F. A. 2017. Aumento del contenido proteico y calidad en carne de novillos suplementados con forraje verde hidropónico (FVH). Área de consolidación. Gestión de la producción de Agroalimentos. Argentina. 32 p.
- Díaz-Padilla, G., Sánchez-Cohen, I., Guajardo-Panes, R. A., Del Ángel Pérez, A. L., Ruíz-Corral, A., Medina-García, G., Ibarra-Castillo, D. 2011. Mapeo del índice de aridez y su distribución poblacional en México. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente. México. 17: 267-275.
- Dung, D. D., Godwin, I. R., Nolan, J. V. 2010a. Nutrient content and in sacco digestibility of barley grain and sprouted barley. Journal of Animal and Veterinary Advances. 9(19): 2485-2492.
- Dung, D. D., Godwin, I. R., Nolan, J. V. 2010b. Nutrient content and in sacco degradation of hydroponic barley sprouts grown using nutrient solution or tap water. Journal of Animal and Veterinary Advances. 9(18): 2432-2436.
- El-Rahman, Y. S. M. A., Morad, M. M. El-Hanafy, E. H., Abdel-Aziz, M. M. 2017. Construction and performance evaluation of a hydroponic unit for barley green fooder production. Zagazig Journal of Agricultural Research. 44(3): 1119-1131.
- Espinosa, W. 2019. Evaluación de densidades de siembra en maíz, arroz y frijol vigna en la producción de forraje verde hidropónico. Revista Investigaciones Agropecuarias. 1(2): 15-27.
- Fernández, Y. S. E., Guailas, C. B. A. 2012. Proyecto de factibilidad para la creación de una empresa de producción y comercialización de forraje verde hidropónico ubicado

en la parroquia el valle perteneciente al cantón cuenca. [Tesis, Universidad Politécnica Salesiana]. Ecuador. 174 p.

Fuentes, C. F. F., Poblete, P. C. E., Huerta, P. M. A. 2011a. Respuesta productiva de conejos alimentados con forraje verde hidropónico de avena, como reemplazo parcial de concentrado comercial. *Acta Agronómica*. 60(2): 183-189.

Fuentes, F., Poblete, C., Huerta, M., Palape, I. 2011b. Evaluación de la producción y calidad nutritiva de avena como forraje verde hidropónico en condiciones de desierto. *Revista de Agricultura en Zonas Áridas (IDESIA)*. Chile. Volumen 29(3): 75-81.

Galaviz, R. J. R., Vargas, L. S., Zaragoza, R. J. L., Bustamante, G. A., Ramírez, B. E., Guerrero, R. J. D., Hernández, Z. J. S. 2011. Evaluación territorial de los sistemas de producción ovina en la región norponiente de Tlaxcala. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. (2): 53-68.

García-Carrillo, M., Salas-Pérez, L., Esparza-Rivera, J. R., Preciado-Rangel, P., Romero-Paredes, J. 2013. Producción y calidad fisicoquímica de leche de cabras suplementadas con forraje verde hidropónico de maíz. *Agronomía Mesoamericana*. 24(1): 169-176.

Gomez, H. A. M. 2018. Solución nutritiva de Biol a base de estiércol de cuy (*Cavia porcellus L.*) ovino (*Ovis aries*) y vacuno (*Bos taurus*) en la producción de forraje verde hidropónico de cebada (*Hordeum vulgare*) en Puno. [Repositorio Institucional Punto, Universidad Nacional del Altiplano]. Perú. 87p.

Gómez, H. M. I. 2012. Evaluación del forraje verde hidropónico de maíz y cebada, con diferentes dosis de siembra para las etapas de crecimiento y engorde de cuyes. [Tesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba]. Ecuador. 76 p.

González, G. J. H., Blandón, V. C. N. 2014. Efectos de tres tipos de fertilizantes en la producción de forraje verde hidropónico de sorgo (*Sorghum*) variedad Inta tortillero precoz, en un invernadero no tradicional. [Tesis, Universidad Nacional Agraria]. Nicaragua. 36 p.

González, M. J. F. 2012. Principios de toxicología veterinaria (1a edición). Laboratorios Erma. Colombia. 189 p.

- Gulmezoglu, N., Tolay, I., Askin, A. 2010. Changes in nitrate concentration of triticale forages (x Triticosecale Wittmack) at different growth stages by increasing nitrogen rates. *Journal of Food, Agriculture and Environment*. 8(2): 449-453.
- Guzmán, D. G. 2010. *Hidroponía en casa: Una actividad familiar (1a edición)*. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Sistema Unificado de Información Institucional. Costa Rica. 25 p.
- Hernández, V. D., Sánchez, V. E., Gómez, D. W., Martínez, G. C. G. 2019. Caracterización productiva y socioeconómica del sistema de producción ovina, en un área natural protegida de México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 10(4): 951-965.
- Hernández-Marín, J. A., Valencia-Posadas, M., Ruíz-Nieto, J. E., Mireles Arriaga, A. I., Cortez-Romero, C., Gallegos-Sánchez, J. 2018. Contribución de la ovinocultura al sector pecuario en México. *Revista Agroproductividad México*. 10(3):87-93.
- Herrera, H. J. G., Álvarez, F. G., Bárcena, G. R., Núñez, A. J. M. 2019. Caracterización de los rebaños ovinos en el sur de Ciudad de México, México. *Acta Universitaria*. (29). 15 p.
- Herrera, M. M. R., Echavarría, C. V. 2010. Caracterización y distribución celular del proceso de producción de forraje hidropónico. *Revista Tecnura*. 13(24): 167-168.
- Herrera-Torres, E., Cerrillo-Soto, M. A., Juárez-Reyes, A. S., Murillo-Ortiz, M., Rios-Rincón, F. G., Reyes-Estrada, O., Bernal-Barragán, H. 2010. Efecto del tiempo de cosecha sobre el valor proteico y energético del forraje verde hidropónico de trigo. *Interciencia*. Venezuela. 35(4): 284-289 p.
- Hochholdinger, F. Yu. P., Marcon, C. 2018. Genetic control of root system development in maize. *Trends Plant Science*. 23(1): 79-88.
- Jaén, R. B. 2011. *Guía para la preparación y uso de biol*. Centro de Multiservicios Educativos (CEMSE). Bolivia. Boletín N.º 1: 12 p.
- Jaume, A. N., Pereira, C. A., Pereira, S. A. 2014. *Producción de forraje verde hidropónico. Proyecto producción de forraje verde hidropónico, ingeniería industrial*. [Tesis, Universidad Tecnológica Nacional]. Argentina. 147 p.
- Jenko, C., Bonato, P., Fabre, R., Perlo, F., Tisocco, O., Teira, G. 2018. Adición de taninos a dietas de rumiantes y su efecto sobre la calidad y rendimiento de la carne. *Ciencia, Docencia y Tecnología*. 29(56): 224-241.

- Jiménez-Jiménez, R. A., Chávez, P. L. M., Rendón, R. M. C., Alonso, P. A. 2019. La multifuncionalidad de la ovinocultura en los sistemas campesinos. *Revista Latinoamericana de Educación y Estudios Interculturales*. 3(3):77-88.
- Jolad, R., Sivakumar, S. D., Babu, C. Srithran, N. 2018. Performance of different crops under hydroponics fodder production system. *Madras Agricultural Journal*. 105(1-3): 50-55.
- Juárez-López, P., Bugarín-Montoya, R., Bojórquez-Serrano, J. I., Soto-Ceja, E., Brizuela-Amador, B. 2010. Efectos del cambio climático. *Revista productores de Hortalizas*.19: 86-88.
- Juárez-López, P., Morales-Rodríguez, H. J., Sandoval-Villa, M., Gómez, D. A. A., Cruz-Crespo, E., Juárez-Rosete, C. R., Aguirre-Ortega, J., Alejo-Santiago, G., Ortiz-Catón, M. 2013. Producción de forraje verde hidropónico. *Revista Fuente Nueva Época*. 4(13): 16-26.
- León, T. S. K. 2012. Efecto del fotoperíodo en la producción de forraje verde hidropónico de maíz con diferentes soluciones nutritivas para alimentación de conejos en el período de engorde. [Tesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. Ecuador. 99 p.
- López, P. P. E., Mcfield, G. S. E. 2013. Efectos de tres tipos de fertilizantes en la producción de forraje verde hidropónico de maíz (*Zea mays*) variedad NB6, en un invernadero no tradicional. [Tesis, Universidad Nacional Agraria]. Nicaragua. 42 p.
- López-Anchondo, A. N., López-Ortiz, C. E., Mejía-Hernández, C. M., López-de-la-Cruz, D. 2016. Hidroponía una alternativa sustentable para el cultivo sin suelo: características y aspectos básicos. *Tópicos selectos de sustentabilidad: un reto permanente*. México. Conacyt. Volumen IV: 34-54.
- Madariaga, M. M. 2012. Diseño de un sistema de cultivo de forraje verde hidropónico de maíz para la alimentación de los animales del proyecto caprino. [Tesis, Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña]. Facultad de Ciencias Agrarias y del Ambiente. Colombia. 40 p.
- Maldonado, R., Álvarez, E., Acevedo, D., Sánchez, E. 2013. Nutrición mineral de forraje verde hidropónico. *Revista Chapingo*. 19(2): 211-223.

- Martínez, G. E. G., Muñoz, R. M., García, M. J. G., Santoyo, C. V. H., Altamirano, C. J. R., Romero, M. C. 2011. El fomento de la ovinocultura familiar en México mediante subsidios en activos: lecciones aprendidas. *Agronomía Mesoamericana*. (22): 367-377.
- Marzec, M., Melzer, M., Szarejko, I. 2015. Root hair development in the grasses: what we already know and what we still need to know. *Plant Physiol*. 168(2): 407-414.
- Maza, C. F. P. 2017. Evaluación del forraje verde hidropónico de maíz (*Zea mays L.*) en diferentes estados de madurez en el engorde de cuyes en la hoya de Loja. [Tesis, Universidad Nacional de Loja]. Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables. Ecuador. 64 p.
- McDonald, P., Edwards, R. A., Greenhalgh, J., F. D., Morgan, C. A., Sinclair, L. A., Wilkinson, R. G. 2011. *Animal Nutrition Pearson* (Seventh edition). England: 692 p.
- Mejía, C. H. J., Orellana, N. F. S. 2019. Forraje verde hidropónico: una alternativa de producción ante el cambio climático. *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático*, 5(9): 1103-1120.
- Mejía, H. J., Delgado, H. J. L., Mejía, H. I., Guajardo, H. I., Valencia, P. M. 2011. Efectos de la suplementación con bloques multinutricionales a base de nopal fermentado sobre la ganancia de peso de ovinos en crecimiento. [Acta Universitaria]. México. 21(1): 11-16.
- Méndez, P. L. A., Mahecha, C. E. J. 2015. Producción ganadera a través de la técnica de forraje verde hidropónico en Restrepo, Meta. [Tesis, Universidad de los Llanos]. Colombia. 66 p.
- Meneses, P., V. 2012. Implementación de módulo para la producción de forraje verde hidropónico, bajo tres niveles de nitrógeno en el engorde de carnerillos Ayacucho. [Tesis, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga]. Perú. 109 p.
- Morales, G. J. A. 2017. Evaluación del consumo de forraje verde hidropónico de maíz (*Zea mays*), en ovinos de pelo en desarrollo estabulados en el municipio Chimaltenango. [Tesis, Universidad San Carlos]. Guatemala. 77 p.

- Morales, R. H. J., Gómez-Danés, A. A., Juárez, L. P., Loya, O. L., Ley, C. A. 2012. Forraje verde hidropónico de maíz amarillo (*Zea maíz I.*) con diferente concentración de solución nutritiva. *Abanico veterinario*. 2(3): 20-28.
- Morales, R., Ungerfeld, E. M. 2015. Use of tannins to improve fatty acids profile of meat and milk quality in ruminants: a review. *Chilean Journal of Agricultural Research*. 75(2): 239-248.
- Morales-Velasco, S., Vivas-Quila, N. J., Teran-Gómez, V., F. 2016. Ganadería ecoeficiente y la adaptación al cambio climático. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*. 14(1): 135 -144.
- Moya, S. H. 2018. Producción de forraje verde hidropónico para la alimentación complementaria de ganado lechero en el municipio de Mizque. [Tesis, Universidad Mayor de San Simón]. Cochabamba-Bolivia. 34 p.
- Moyano, L., Sánchez, H. 2012. Comportamiento de la proteína de forraje verde hidropónico en función del tiempo de cosecha. *Revista sistemas agroecológicos*. 3(2):10 p.
- Mysaa, A. 2016. Effect of hydroponic barley fodder on Awassi lambs performance. *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*. Jordán. 6(8): 60-64.
- Naik, P. K., Swain, B. K., Singh, N. P. 2015. Production and utilisation of hydroponics fodder. *Indian Journal of Animal Nutrition*. 32(1): 1-9.
- Orjuela, V. W. G. 2015. Evaluación del uso de forraje verde hidropónico de trigo como alternativa nutricional en la producción de leche del ganado bovino en Turmequé. [Tesis, Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente]. Tunja. Colombia. 80 p.
- Orona, C. I., López, M. J. D., Vázquez, V. C., Salazar, S. E., Ramírez, R. M. E. 2014. Análisis microeconómico de una unidad representativa de producción de carne de ovino en el estado de México bajo un sistema de producción semi intensivo. *Revista Mexicana Agronegocios*. (34): 720-728.
- Osorno, R. R. A., Gonzáles, M. L. M. 2012. Producción y calidad de la biomasa forrajera de *Zea mays*, *Sorghum bicolor*, *Oriza sativa* en alfombra forrajera hidropónica. [Tesis, Universidad Nacional Agraria]. Nicaragua. 24 p.

- Paillacho, D. C. N. R. 2017. Composición química y cinética de degradación ruminal de forraje verde hidropónico de avena a cuatro tiempos de cosecha. [Tesis, Universidad Técnica de Ambato]. Ecuador. 47 p.
- Pérez, H. P., Vilaboa, A. J., Chalate, M. H., Candelaria, M. B. Díaz, R. P., López, O. S. 2011. Análisis descriptivo de los sistemas de producción con ovinos en el estado de Veracruz, México. *Revista Científica Universidad de Zulia*. (21): 327-334.
- Pérez, L. S., Esparza, R. J. R., Preciado, R. P., Álvarez, R. V., Meza, V. J. A., Velázquez, M. J. R., Murillo, O. M. 2012. Rendimiento, calidad nutricional, contenido fenólico y capacidad antioxidante de forraje verde hidropónico de maíz (*Zea mays*) producido en invernadero bajo fertilización orgánica. *Interciencia*. 37(3): 215-220.
- Preciado, R. P., Favela, C. E., Benavides, M. A. 2006. Manual para preparación de soluciones nutritivas (1a edición). [Manual, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro]. Torreón, Coahuila. 145 p.
- Quispe, C. A., Paquiyauri, Z., Ramos, Y. V., Contreras, J. L., Véliz, M. A. 2016. Influencia de niveles de azufre en la producción, composición química bromatológica y digestibilidad del forraje verde hidropónico de cebada (*Hordeum vulgare L.*). *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*. 27(1): 31-38.
- Ramírez, L. R. G. 2017. Principios de nutrición de rumiantes (1a edición). Palibrio. Universidad Autónoma de Nuevo León. México. 159 p.
- Ramírez, V. C. A. 2016. Efecto de la nutrición sobre la calidad del forraje verde hidropónico en la zona de Alajuela, Costa Rica. [Tesis, Escuela de Agronomía]. Facultad de Ciencias Agroalimentarias. Costa Rica. 81 p.
- Ramírez, V. M. A. 2014. Tipos y clasificación de hongos que afectan al forraje verde hidropónico en la comarca lagunera. [Tesis, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro]. Coahuila, México. 92 p.
- Ramos, F. E. 2014. Determinación del rendimiento y valor nutricional de la avena (*Avena sativa*), cebada (*Hordeum vulgare*) y trigo (*Triticum aestivum*) asociado a la vicia (*Vicia sativa*) en la producción de hidro forrajes. [Proyecto de investigación, Facultad de Ciencias de Ingeniería. Zootecnia]. Huancavelica Perú. 85 p.
- Relling, A. E., Mattioli, G. A. 2013. Fisiología digestiva y metabólica de los rumiantes (1a edición). Facultad de Ciencias Veterinarias. Universidad Nacional de La Plata. 104p.

- Rivera, A., Moronta, M., González-Estopiñán, M., González, D., Perdomo-Carrillo, D., García, E. D., Hernández, G. 2010. Producción de forraje verde hidropónico de maíz (*Zea mays L.*) en condiciones de iluminación deficiente. *Revista Zootecnia Tropical*. 28. 33-41.
- Rodríguez, I. M. G., Díaz, V. S. M. 2017. Evaluación técnica-económica del engorde de corderos alimentados con cuatro niveles de forraje verde hidropónico. [Tesis, Escuela Agrícola Panamericana]. Honduras. 25 p.
- Saidi, A. R. M. A., Abo, O. J. 2015. The biological and economical feasibility of feeding barley green fodder to lactating Awassi ewes. *Open Journal of Animal Sciences*. (5): 99-105.
- Salas-Pérez, L., Preciado-Rangel, P., Esparza-Rivera, J. R., Álvarez-Reyna, V. P., Palomo-Gil, A., Rodríguez-Dimas, N., Márquez-Hernández, C. 2010. Rendimiento y calidad de forraje hidropónico producido bajo fertilización orgánica. *Terra Latinoamericana*. 28(4): 355-360.
- Sánchez Del Castillo, F., Moreno, P. E. C., Contreras, M. E., Morales, G. J. 2013. Producción de forraje hidropónico de trigo y cebada y su efecto en la ganancia de peso de borregos. *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 19(4): 35-43.
- Santos, C. B., Rios, M. D. 2016. Cálculo de soluciones nutritivas en suelo y sin suelo. (1a edición) Servicio de Agricultura y Desarrollo Rural. Cabildo Insular de Tenerife. 111p.
- Shimada, M. A. 2018. *Nutrición Animal* (4ta edición). Trillas. México. 390 p.
- Sosa-Rodríguez, F. S. 2015. Política del cambio climático en México: avances, obstáculos y retos. *Revista Internacional de Estadística y Geografía*. México. 6(2): 4-26.
- Soto-Bravo, F., Ramírez-Viquez, C. 2018. Efecto de la nutrición mineral en el rendimiento y las características bromatológicas del forraje verde hidropónico de maíz. *Pastos y Forrajes*. 41(2): 106-113.
- Tawfeeq, J. A., Hassan, S. A., Kadori, S. H., Shaker, R. M., Hamza, Z. R. 2018. Evaluation of feeding hydroponics barley on digestibility and rumen fermentations in awassi lambs. *Iraqi Journal of Agricultural Sciences*. 49(4): 636-645.

- Thadchanamoorthy, S., Jayawardena, V. P., Pramala, C. G. C. 2012. Evaluation of hydroponically grown maize as a feed source for rabbits. Department of Animal Science. 22: 5-6.
- Theunissen, J., Ndakidemi, P. A., Laubscher, C. P. 2010. Potential of vermicompost a produced from waste on the growth and nutrient status in vegetable production. International Journal of the Physical Sciences. 5(13): 1964-1973.
- Torres, G. J. E. 2018. Intoxicación por nitratos y nitritos en rumiantes: relación con la caída del ganado. Curso de toxicología veterinaria. Bogotá Colombia. (9): 39-49.
- Trejo-Téllez, L. I., Gómez-Merino, F. C. 2012. Nutrient solutions for hydroponic systems. A Standard Methodology for Plant Biological Researches. 22 p.
- Urresta, I. A. R. 2020. Evaluación de tres soluciones nutritivas con diferentes niveles de biol en la producción de forraje verde hidropónico de cebada (*Hordeum vulgare L.*). [Tesis, Universidad Técnica del Norte]. Ecuador. 77 p.
- Urrestarazu, G. M. 2015. Manual práctico del cultivo sin suelo e hidroponía (1a edición). Mundi-Prensa. España. 241 p.
- Varela, R. P. M. 2017. Producción de biomasa y calidad nutritiva de forraje verde hidropónico, Managua. [Tesis, Universidad Nacional Agraria]. Nicaragua. 50 p.
- Vélez, A., Espinosa, J. A., De la Cruz, L., Rangel, J., Espinoza, I., Barba, C. 2016. Caracterización de la producción de ovino de carne del estado de Hidalgo, México. Archivos de Zootecnia. 65 (251): 425-428.
- Yousor, F. I., El-Shimaa E. I. M., Megahed, M. A. H. 2018. Some factors affecting the value of hydroponic sprouted barley for green fodder. Zagazig Journal of Agricultural Research. 45(4): 1231-1243.
- Zagal-Tranquilino, M., Martínez-González, S., Salgado-Moreno, S., Escalera-Valente, F., Peña-Parra, B., Carrillo-Díaz, F. 2016. Producción de forraje verde hidropónico de maíz con riego de agua cada 24 horas. Revista Abanico veterinario. 6(1): 29-34.
- Zambrano, G. M. P. 2012. Engorde de conejos de raza neozelandés con forraje verde hidropónico de maíz, con varios sistemas de alimentación; durante diciembre del 2006 a mayo del 2007. [Tesis, Universidad Técnica de Manabí]. Ecuador. 61 p.