

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ**

**Colegio de Ciencias e Ingeniería**

**Evaluación del contenido nutricional y crecimiento de  
Forraje Verde Hidropónico (FVH) como complemento  
para la alimentación animal en Sigchos-Cotopaxi**

**Erick Hernán Changoluisa Trávez**

**Ingeniería en Agronomía**

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito  
para la obtención del título de  
Ingeniero Agrónomo

Quito, 19 de Mayo del 2023

**Universidad San Francisco de Quito USFQ**

**Colegio de Ciencias e Ingeniería**

**HOJA DE CALIFICACIÓN  
DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA**

**Evaluación del contenido nutricional y crecimiento de  
Forraje Verde Hidropónico (FVH) como complemento  
para la alimentación animal en Sigchos-Cotopaxi**

**Erick Hernán Changoluisa Trávez**

**Nombre del profesor, Título académico  
PhD.**

**Antonio León Reyes,**

Quito, 19 de Mayo del 2023

## © DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en la Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador.

Nombres y apellidos: Erick Hernán Changoluisa Trávez

Código: 00202606

Cédula de identidad: 1725946907

Lugar y fecha: Quito, 19 de Mayo del 2023

## **ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN**

**Nota:** El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETHeses>.

## **UNPUBLISHED DOCUMENT**

**Note:** The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETHeses>.

## AGRADECIMIENTOS

A Dios en primer lugar, por ser mi guía y fortaleza en tiempos difíciles.

A mi familia por ser el soporte de mi vida. A mi madre Martha por darme la vida, protegerme y cuidarme durante toda mi etapa estudiantil. A Coralia, Emily y Milena que con su amor y compañía me han dado fuerzas para seguir adelante, y en especial, a Hernán mi padre, por ser un ejemplo de disciplina y sacrificio, y preocuparse día a día por darme la mejor educación.

A mis maestros y compañeros dentro de la USFQ, por tantas alegrías, enseñanzas y anécdotas.

A Gabriel Reyes y Alejandro Guerra por apoyarme en la parte de laboratorio, y, a Antonio León, por permitirme realizar este trabajo, y por ser un ejemplo en la parte académica.

## RESUMEN

El forraje verde hidropónico promete ser una alternativa potencial como alimento suplementario para animales. Aquí, se evaluaron tres fuentes de forraje verde hidropónico (cebada, avena y maíz), así como el efecto de la aplicación de una solución nutritiva en las variables peso fresco, materia seca, proteína y cenizas. Para este experimento se utilizó un diseño completamente al azar (DCA) con seis tratamientos: T1: cebada + solución nutritiva; T2: cebada + agua; T3: avena + solución nutritiva; T4: avena + agua; T5: maíz + solución nutritiva; T6: maíz + agua. El análisis estadístico encontró diferencias significativas, en la variable peso fresco los tratamientos (T2) y (T1) fueron los que obtuvieron mejor rendimiento 16.52 y 15.96 kg/m<sup>2</sup>, respectivamente. En la variable materia seca se determinó que el tratamiento (T5) fue el que obtuvo el mayor rendimiento (2.8 kg/m<sup>2</sup>). En cuanto a la variable proteína el tratamiento (T6) obtuvo el mayor porcentaje (17.1%) y en la variable cenizas el tratamiento (T3) fue el que obtuvo mayor contenido (9.2%). Al evaluar el uso de una solución nutritiva se encontró que tuvo un impacto positivo en el contenido de proteína y cenizas, pero no se mostró un mejor rendimiento en peso fresco y materia seca.

**Palabras clave:** forraje, solución nutritiva, hidropónico, cebada, avena, maíz, peso fresco, materia seca, proteína, cenizas,

## ABSTRACT

Hydroponic green forage promises to be a potential alternative as a supplementary animal feed. Here, three sources of hydroponic green forage (barley, oats and corn) were evaluated, as well as the effect of the application of a nutrient solution on the variables fresh weight, dry matter, protein and ash. A completely randomized design (CRD) with six treatments was used for this experiment: T1: barley + nutrient solution; T2: barley + water; T3: oats + nutrient solution; T4: oats + water; T5: corn + nutrient solution; T6: corn + water. The statistical analysis found significant differences in the fresh weight variable, the treatments (T2) and (T1) were those that obtained the best yields of 16.52 and 15.96 kg/m<sup>2</sup>, respectively. In the dry matter variable, it was determined that treatment (T5) had the highest yield (2.8 kg/m<sup>2</sup>). For the protein variable, treatment (T6) obtained the highest percentage (17.1%) and for the ash variable, treatment (T3) obtained the highest content (9.2%). When evaluating the use of a nutrient solution, it was found that it had a positive impact on protein and ash content, but it did not show a better yield in fresh weight and dry matter.

**Key words:** forage, nutrient solution, hydroponic, barley, oats, corn, fresh weight, dry matter, protein, ash,

## TABLA DE CONTENIDO

<b>I.</b>	<b>INTRODUCCION.....</b>	<b>11</b>
1.1.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	11
1.2.	JUSTIFICACIÓN.....	12
<b>II.</b>	<b>MARCO TEORICO.....</b>	<b>15</b>
2.1.	PRODUCCIÓN LECHERA EN EL ECUADOR Y EN EL MUNDO .....	15
2.2.	IMPORTANCIA DE LA SUPLEMENTACIÓN ALIMENTICIA EN GANADO LECHERO .....	16
2.3.	FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO .....	17
2.4.	MANEJO DEL FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO .....	18
2.5.	FUENTES DE FORRAJE VEGETAL.....	19
2.6.	PRODUCCIÓN DE FVH EN EL ECUADOR Y EN EL MUNDO .....	20
2.7.	VENTAJAS DEL FVH .....	21
2.8.	LIMITANTES O DESVENTAJAS DEL FVH .....	22
2.9.	SOLUCIÓN NUTRITIVA EN FVH .....	23
<b>III.</b>	<b>OBJETIVOS E HIPOTESIS .....</b>	<b>24</b>
3.1.	OBJETIVO GENERAL .....	24
3.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	24
3.3.	HIPÓTESIS .....	24
<b>IV.</b>	<b>MATERIALES Y METODOS .....</b>	<b>25</b>
4.1.	MATERIAL BIOLÓGICO Y SOLUCIÓN NUTRITIVA .....	25
4.1.1.	<i>Cebada</i> .....	25
4.1.2.	<i>Avena</i> .....	25
4.1.3.	<i>Maíz</i> .....	26
4.2.	MANEJO DEL EXPERIMENTO .....	26
4.2.1.	<i>Análisis de laboratorio</i> .....	27
4.3.	MÉTODOS ESTADÍSTICOS.....	29
<b>V.</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>31</b>
5.1.	PESO FRESCO.....	31
5.2.	MATERIA SECA.....	32
5.3.	CONTENIDO DE PROTEÍNA .....	32
5.4.	CONTENIDO DE CENIZAS.....	33
<b>VI.</b>	<b>DISCUSION .....</b>	<b>35</b>
6.1.	PESO FRESCO.....	35
6.2.	MATERIA SECA.....	36
6.3.	PROTEÍNA.....	37
6.4.	CENIZAS .....	38
<b>VII.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>39</b>
7.1.	CONCLUSIONES .....	39
7.2.	RECOMENDACIONES .....	40
<b>VIII.</b>	<b>ANEXOS.....</b>	<b>41</b>
8.1.	ANEXO A: INVERNADERO ARTESANAL.....	41
8.2.	ANEXO B: SIEMBRA Y GERMINACION .....	41

8.3.	ANEXO B1: PESADO DE LOS GRANOS (AVENA Y CEBADA).....	42
8.4.	ANEXO B2: EXTRACCION DE IMPUREZAS .....	42
8.5.	ANEXO B3: REPOSO EN SOLUCION DE CAL + AGUA (MAIZ) .....	43
8.6.	ANEXO B4: LAVADO Y DESINFECCION DE BANDEJAS .....	43
8.7.	ANEXO B5: CUBRIMIENTO CON PLASTICO NEGRO PARA PROMOVER LA GERMINACION (IZQ); GRANOS GERMINADOS (DER) .....	44
8.8.	ANEXO C: CRECIMIENTO Y DESARROLLO (DIA 8) .....	44
8.9.	ANEXO C1: SOLUCION NUTRITIVA A Y B (IZQ); RIEGO CON BOMBA (DER) .....	45
8.10.	ANEXO D: COSECHA Y EXTRACCION DE MUESTRAS (FVH DE CEBADA DIA 14.....	45
8.11.	ANEXO D1: FVH DE AVENA DIA 14.....	46
8.12.	ANEXO D2: FVH DE MAIZ DIA 14.....	46
8.13.	ANEXO D3: RECOLECCION DE MUESTRAS .....	47
8.14.	ANEXO E: ANALISIS DE LABORATORIO (LABORATORIO ING. ALIMENTOS USFQ) .	47
8.15.	ANEXO E1: DETERMINACION DEL PESO FRESCO (CEBADA) .....	48
8.16.	ANEXO E2: TRITURACION DE LA MUESTRA.....	48
8.17.	ANEXO E3: PESAJE DE LA MUESTRA PARA DETERMINACION DE MATERIA SECA .	49
8.18.	ANEXO E4: MUESTRAS EN CRISOLES DENTRO DEL HORNO DE 100°C .....	49
8.19.	ANEXO E5: ESTUFA 100°C (IZQ); MUFLA 600°C (DER) .....	50
8.20.	ANEXO E6: DESECADOR CON LAS MUESTRAS DE FVH .....	50
8.21.	ANEXO E7: MUESTRAS EN LA PLANCHA DE CALENTAMIENTO Y AGITACION .....	51
8.22.	ANEXO E8: MUESTRAS EN EL DIGESTOR DE PROTEINA (METODO KJELDAHL) .....	51
8.23.	ANEXO E9: DESTILADOR DE PROTEINA (METODO KJELDAHL) .....	52
8.24.	ANEXO F: ANALISIS DE VARIANZA ANOVA Y PRUEBA DE RANGO MULTIPLE DE DUNCAN .....	52
8.25.	ANEXO F1: ANALISIS DE VARIANZA ANOVA (PESO FRESCO) .....	52
8.26.	ANEXO F2: PRUEBA DE RANGO MULTIPLE DE DUNCAN (PESO FRESCO) .....	53
8.27.	ANEXO F3: ANALISIS DE VARIANZA ANOVA (MATERIA SECA) .....	54
8.28.	ANEXO F4: PRUEBA DE RANGO MULTIPLE DE DUNCAN (MATERIA SECA) .....	54
8.29.	ANEXO F5: ANALISIS DE VARIANZA ANOVA (PROTEINA).....	55
8.30.	ANEXO F6: PRUEBA DE RANGO MULTIPLE DE DUNCAN (PROTEINA).....	56
8.31.	ANEXO F7: ANALISIS DE VARIANZA ANOVA (CENIZAS).....	57
8.32.	ANEXO F8: PRUEBA DE RANGO MULTIPLE DE DUNCAN (CENIZAS).....	57
8.33.	ANEXO G: DATOS OBTENIDOS PARA CADA VARIABLE .....	59
8.34.	ANEXO G1: DATOS OBTENIDOS DE PESO FRESCO .....	59
8.35.	ANEXO G2: DATOS OBTENIDOS DE MATERIA SECA .....	60
8.36.	ANEXO G3: DATOS OBTENIDOS DE PROTEINA .....	61
8.37.	ANEXO G4: VALORES TRANSFORMADOS A ARCO SENOS (PROTEINA) .....	61
8.38.	ANEXO G5: DATOS OBTENIDOS DE CENIZAS .....	63
8.39.	ANEXO G6: VALORES TRANSFORMADOS A ARCO SENOS (CENIZAS) .....	64
	.....	64
8.40.	ANEXO G7: FORMULA UTILIZADA PARA TRANSFORMACION A ARCO SENOS .....	64
IX.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	65

**ÍNDICE DE FIGURAS**

<b>FIGURA 1(DISEÑO DEL EXPERIMENTO)</b> .....	<b>30</b>
<b>FIGURA 2 (PESO FRESCO)</b> .....	<b>31</b>
<b>FIGURA 3 (MATERIA SECA)</b> .....	<b>31</b>
<b>FIGURA 4 (PROTEINA)</b> .....	<b>33</b>
<b>FIGURA 5 (CENIZAS)</b> .....	<b>34</b>

## I. INTRODUCCION

### 1.1. Planteamiento del Problema

La leche se considera importante en la alimentación humana, posee vitaminas A, B12, D y minerales como fósforo, potasio, calcio, magnesio, selenio, yodo y zinc, esto hace que la leche sea de vital importancia para luchar contra la desnutrición infantil (FAO, 2023). La producción lechera es de gran valor, se produce aproximadamente 6,15 millones de litros diarios de leche cruda, y constituye una de las mayores fuentes de empleo, con alrededor de 600 000 personas que dependen de esta actividad, por lo que este sector tiene un fuerte impacto en la economía del país (INEC, 2020). La cantidad de leche que produce un animal es el resultado de diferentes factores, tales como: genética, estado nutricional, estado de lactancia y prácticas de manejo, y su eficacia se debe en un 10% a la genética, 30-40% a prácticas de manejo y 50-60% a la nutrición (Escobosa et al. 2009).

El pastoreo es el medio más económico para alimentar bovinos, sin embargo, presenta dificultades en la oferta forrajera, esto por varias causas como las condiciones climáticas, el requerimiento de extensas superficies de terreno o la presencia de plagas y enfermedades, por lo cual, se debe optar por el suministro de alimentos adicionales con el objetivo de suplir el déficit de nutrientes y cubrir las necesidades nutricionales para la mantención del hato y una buena producción de leche. El costo del quintal de balanceado ha ido aumentando en los últimos años, por lo que, la utilización de suplementos en la alimentación animal es actualmente de mayor valor en los costos de producción de una ganadería lechera, y pueden llegar a representar entre un 30-40%, por lo que muchas veces, se opta por concentrados o suplementos de menor valor, esto con el fin de obtener una mayor rentabilidad (Estrada, 2022). El consumo de proteína es sumamente importante para la producción de leche, debido a

que la vaca necesita de aminoácidos esenciales para la síntesis de la caseína y otras proteínas menores de la leche, Por otro lado, el consumo de materia seca, principalmente en animales en pastoreo, establece la cantidad de nutrientes disponibles para la salud, reproducción y producción animal (Meléndez et al. 2017).

## **1.2. Justificación**

La alimentación y nutrición del ganado es esencial para su salud y la obtención de una buena producción de leche. En la ración diaria, es importante proveer de una cantidad adecuada de nutrientes para el crecimiento, mantenimiento corporal, preñez y producción (FAO, 2021). El Forraje Verde Hidropónico (FVH), es un sistema que se utiliza para la producción de alimentos a partir de una solución de agua con adición de nutrientes, por lo tanto, no se necesita de sustratos de suelo para realizar la siembra. Este sistema de producción se utiliza para la alimentación de bovinos, ovinos, caprinos entre otros animales, ya que permite una producción rápida que puede ser maximizada (FAO, 2001). Algunos de los grandes beneficios del FVH es su adaptación a climas adversos, debido a que son cultivos que se producen dentro de un invernadero con condiciones controladas; además, al ser un cultivo de rápida producción y al no estar expuesto al aire libre, las plagas y enfermedades no son un problema, lo que evita en gran medida el uso de agroquímicos para eliminarlas (Chavarría et al. 2018). A pesar de tener una alta inversión inicial el FVH resulta barato de producir y es considerado la mejor alternativa dentro de un concepto nuevo de producción agrícola, debido a que no se requieren de extensiones grandes de tierra ni volúmenes grandes de agua (López, 2005). De esta manera, se obtiene un forraje fresco, limpio, sano y con un valor nutritivo alto

y a bajo costo para la alimentación de animales de forma sostenible y en un corto período de tiempo.

El FVH es de alta digestibilidad y alto valor nutricional, es palatable y apto para el consumo de animales, este se diferencia de otros alimentos ya que el animal consume hojas, parte de las semillas y raíces (López, 2005). Se considera de alta calidad por sus niveles óptimos de energía, vitaminas y minerales. Gracias a su contenido de vitamina E, C y A tiene un efecto positivo en la fertilidad, producción y el estado en general de una vaca de producción lechera. Existen diferentes fuentes para la producción de FVH como la cebada, el maíz y la avena, que, debido a su disponibilidad, alto contenido de proteína y energía, y su alto rendimiento por kg sembrado, son una alternativa potencial para la suplementación alimenticia de ganado lechero (Núñez et al. 2021).

En el caso de la cebada, es considerado como un alimento con un alto contenido de energía, además, es rico en carbohidratos fundamentalmente el almidón. Los hidratos de carbono aportan más del 40% de calorías en la dieta por lo cual son importantes, también permiten una buena utilización de la proteína (Amaguaña, 2012). En la dieta animal, la cebada es una importante fuente de proteína, ácido glutámico, prolina, leucina y aminoácidos, los cuales son importantes debido a que forman parte de los tejidos corporales. La cebada presenta un mayor porcentaje de minerales como el hierro, fósforo, potasio y zinc si se compara con otros cereales. Los granos de cebada tienen importante aplicación nutricional como fuente de lisina, triptófano y vitaminas del complejo B, cuya concentración se incrementa bajo condiciones de humedad, temperatura y aireación controladas (Huang et al. 2020).

Por otro lado, la avena posee un buen aporte nutricional, sus semillas se componen de una cascarilla integrada por fibras de celulosa con vitaminas del grupo B, vitamina E y ácido fólico, germen que posee grasas insaturadas, y su almendra interna se compone de almidón. Las propiedades más importantes de este cereal en FVH es la materia seca que puede llegar a 32%, y proteína bruta mayor a 9%, el suministro de esta fuente como suplemento de animales rumiantes ayuda a los procesos de mejora nutricional del animal y productivo de la finca (Morales, et, al. 2019).

En el caso del maíz, es posiblemente el más utilizado para producir FVH. Con este grano se puede llegar a producir una mayor biomasa, dando como resultado un forraje libre de hongos, lo cual se vuelve una ventaja ya que este es el principal problema que el productor que empieza con FVH puede enfrentar. La conversión de grano de maíz a forraje puede tener una relación hasta de aproximadamente 12kg de forraje por cada kg de semilla sembrado, esto dependerá del manejo y calidad de la semilla (Tubón, 2013). Otra ventaja del FVH es su aspecto, color, sabor y textura que le dan una alta palatabilidad para el ganado.

Existen varios estudios en donde se pone a prueba diferentes soluciones nutritivas como fuente de fertilización para FVH, y se las compara también con tratamientos en donde no se utiliza soluciones nutritivas, en algunos casos se pueden ver efectos positivos con la utilización de soluciones nutritivas, en otros estudios no se pueden encontrar diferencias. Los fertilizantes son sustancias ricas en nutrientes utilizadas en la agricultura para mejorar las características del suelo con el fin de mejorar el desarrollo de los cultivos y obtener una mayor producción. Todas las plantas necesitan de nutrientes para lograr subsistir y desarrollarse correctamente por lo que la utilización de solución nutritiva para el crecimiento de FVH podría aumentar la productividad y algunas características del forraje (Morales et al. 2019).

## II. MARCO TEORICO

### 2.1. Producción lechera en el Ecuador y en el Mundo

La producción, procesamiento y consumo de leche y productos lácteos benefician al ser humano siendo uno de los productos agrícolas con mayor producción y distribución a nivel mundial. En el mundo la producción de leche es uno de los cinco primeros rubros o productos agrícolas. La leche de vaca representa el 82,7% de la producción mundial; la producción de leche de búfalo representa el 13,3%, la de cabra 2,3% y la de oveja 1,3% (FAO, 2019). El sector lechero crece rápidamente, por lo que se espera que para el 2025 la producción de leche aumente 177 millones de toneladas (FAO, 2016). El consumo de leche podría incrementarse hasta un 1,7% por año en países en vías de desarrollo y hasta 1,1% en países desarrollados, estos incrementos pueden ser de beneficio para el desarrollo y el sustento de las personas, así como para el ambiente y la salud pública. Las vacas productoras de leche contribuyen al sustento de las familias, y son una fuente diaria de alimentación y de ingresos para los ganaderos, quienes comercializan la leche y/o productos de la leche.

La leche y sus derivados son importantes para la nutrición y salud, ya que son alimentos ricos en nutrientes, que poseen energía y un gran aporte de proteínas, como el calcio, selenio, magnesio, riboflavina y vitaminas B5 y B12. Todos estos componentes, son importantes para reducir la desnutrición y el hambre, principalmente en niños y mujeres embarazadas que son el grupo más vulnerable. La mayor parte de países recomiendan el consumo de leche como parte de una dieta balanceada. La leche contribuye aproximadamente con 134 kcal de energía, 8,3 g de proteínas y 7,6g de grasas por persona/día. La leche es la quinta fuente mas importante de energía y la tercera en proteínas y grasas para el ser humano.

Los productos lácteos son considerados en la mayoría de los países como una fuente nutritiva accesible para lograr obtener los niveles de salud adecuados, estos productos son mas económicos que la mayoría de carnes, frutas, vegetales, etc. En el mundo la leche descremada representa el 75%, el queso 12% y la manteca el 3%, entre estos representan mas del 90% de toda la leche que es procesada (FAO et al. 2018).

En el Ecuador, la producción de leche ha ido creciendo constantemente debido al incremento y cambios en el consumo de las personas, mas que nada, por el aumento en ingresos de las familias. En el Ecuador el 75% de productores de leche se concentran en la sierra centro. En la provincia de Cotopaxi la producción total es de alrededor de 400 000 litros de leche diarios, y se considera como un negocio sustentable para muchas familias del Cantón. (Bravo, 2017).

## **2.2. Importancia de la suplementación alimenticia en ganado lechero**

En el ganado productor de leche se utiliza la suplementación basada en balanceado, con el fin de suplir los requerimientos nutricionales que el pasto no cumple en la alimentación de la vaca, esto mas que nada, en sistemas de producción en donde el consumo de pasto es restringido, es decir, la vaca no puede consumir pasto a voluntad. Si el hato consume pasto sin restricciones el suplemento tiene un impacto menor en la producción (Leng, 2015).

La restricción en el consumo de los pastos por lo animales comúnmente se da por variación estacional y se ve la necesidad de proporcionar alimento suplementario e incluso cuando no hay restricciones en la cantidad y la calidad del pasto (Chapman et al. 2008). Los suplementos balanceados se utilizan tanto para suplir el déficit nutricional del pasto como para

aumentar el total de materia seca consumida por la vaca, esto con el fin de aumentar la producción (Beita et al. 2020).

La suplementación puede suministrarse como alimentación de “tarifa plana”, donde se ofrece la misma cantidad de alimento balanceado a cada vaca durante todo su período de lactancia o se puede suministrar como sistemas de alimentación más complejos, en donde se suministra el alimento balanceado de forma individualizada y escalonada (Hills et al. 2015). En varios experimentos se compararon estas dos estrategias de alimentación y no se encontraron diferencias significativas, pero esto se le atribuye a que fueron sistemas de producción en donde la alimentación con pastos no es restringida (Restrepo et al. 2010). En sistemas con consumo de pastos restringido, la suplementación individualizada si puede tener un impacto positivo en la producción en comparación al sistema de “tarifa plana” (Heublein et al. 2017). Otros factores que pueden influir en la eficiencia del pasto es el consumo diferenciado del mismo, ya que por la jerarquía dentro del hato pueden haber vacas que consumen pasto de mejor calidad nutricional y en mayor cantidad, de la misma manera, las vacas que acceden más rápidamente a pastoreo después del ordeño van a consumir más y mejor pasto que las vacas que acceden de forma tardía (Sottysiak et al. 2010).

### **2.3. Forraje verde hidropónico**

El forraje verde hidropónico (FVH) es un complemento alimenticio y nutricional que puede ser suministrado en las dietas de todos los animales de granja, esta tecnología tiene algunas ventajas para el ganado como para el productor, ya que mejora la producción y las condiciones del animal (AGRICULTURESRS, 2014).

El FVH resulta de la germinación de granos de cereales o leguminosas como maíz, sorgo, cebada, trigo, avena, alfalfa, etc. El crecimiento se da sobre bandejas o charolas durante un periodo de 7-14 días, en algunos casos más días, captando la energía del sol y asimilando los minerales de la solución nutritiva. En la producción de FVH no se utiliza un sustrato, solamente semilla, bandejas, agua y puede utilizarse solución nutritiva pero esto no es estrictamente necesario (Chavarría et al. 2018). El grano germinado puede alcanzar una altura de aproximadamente 25 cm, el animal consume todo el alimento desde las hojas y tallos hasta la raíz y los restos de semilla. Esto hace eficiente la producción intensiva de FVH para animales de producción, con lo que se maximiza el aprovechamiento de espacio y recursos, con buenos resultados (López, 2005).

#### **2.4. Manejo del forraje verde hidropónico**

Para empezar con la producción de forraje verde hidropónico es importante hacer una buena selección de semilla, tomando en cuenta que por su costo las semillas certificadas no son ideales para este sistema (Tubón, 2013). Es importante que la semilla esté limpia de malezas y no haya sido tratada con fungicidas o preservantes, además, deben tener una humedad relativa del 12% y un reposo suficiente como para que cumpla los requisitos de madurez fisiológica (Ordoñez et al. 2018). Para saber si la semilla está fresca y viable se puede tomar un puñado de semillas y verterlas en un recipiente con agua, solo las buenas semillas se hundirán y las demás quedarán flotando, es importante que al menos el 95% de las semillas se hundan para obtener un buen porcentaje de germinación (Tubón, 2013). Es importante realizar un correcto lavado de semillas, para lo cual se puede utilizar hipoclorito de sodio al 1%, posterior a esto se debe lavar las semillas con agua limpia.

Para la desinfección y pre germinación de la semilla, se debe hacer un remojo de varias horas. Posteriormente, se debe sembrar las semillas en bandejas de plástico preferentemente, con la densidad de siembra elegida que puede ir de 2,4 a 3,4 Kg de semilla por metro cuadrado (Tubón, 2013). Las bandejas se tapan durante las primeras horas para proveer de un ambiente sin luz, esto promueve la brotación del follaje ya que la planta busca la luz (Orellana, 2015). La germinación inicia en el momento en el que se le da hidratación a la semilla por medio del riego. El riego puede ser recirculante, lo que permite ahorrar una buena cantidad de agua. Se puede decir que para producir 1 kg de forraje verde hidropónico se gasta menos de 2 litros de agua diarios, es decir, que para producir 300 kg de forraje se necesita alrededor de 600 litros diarios (Romero et al. 2009). Después de la germinación se da la fase de crecimiento donde las plantas germinados empiezan a crecer a un ritmo acelerado hasta llegar a los 10-15 días dependiendo de las condiciones (Mejía et al. 2020). El rendimiento va a variar, pero podría llegar hasta los 18 kg de forraje verde hidropónico por cada kg de semilla sembrado (Vargas, 2008).

## **2.5. Fuentes de forraje vegetal**

Existen varias fuentes de forraje verde hidropónico, pero, el maíz, avena y cebada por precio, rendimiento, disponibilidad, y contenido nutricional son las opciones mas viables para ser producidas en la zona de Sigchos-Cotopaxi.

El maíz es el grano mas utilizado en la producción de FVH, ya que posee un alto valor nutritivo y sus rendimientos son altos, esto permite que en medios de producción hidropónica se obtengan volúmenes elevados y constantes (Rouyaka et al. 2022). Al final se puede obtener alimento a la mitad del costo convencional de los forrajes cultivados a campo abierto; al

suministrar este alimento a los animales les proporciona una dieta completa con aporte de carbohidratos, proteínas, minerales y vitaminas (Rivera et al. 2010).

El forraje verde hidropónico de avena se utiliza mucho para la alimentación del ganado, es una planta ideal, ya que posee una rápida tasa de crecimiento, facilidad de cultivo y buen contenido nutricional, ya que posee un alto contenido de proteínas, minerales y vitaminas (Jiménez et al. 2020). Se encontró que el FVH de avena tiene un contenido nutricional similar al forraje convencional y su cultivo no presenta riesgos de contaminación por patógenos (Vélez, 2020).

En cuanto a la cebada, es considerado como un alimento energético, tiene importante aporte nutricional, es fuente de lisina, triptófano y vitaminas de complejo B, cuya concentración aumenta si se da el crecimiento bajo un sistema con condiciones controladas de humedad, aireación y temperatura (García, 2018).

## **2.6. Producción de FVH en el Ecuador y en el mundo**

Existen varios estudios y experimentos de producción de forraje verde hidropónico en el Ecuador, pero, no hay datos exactos de cuanta producción hay en el país. En el mundo la producción de forraje verde hidropónico va tomando fuerza, siendo una gran alternativa para la producción de forraje ante las adversidades en la producción convencional, por lo tanto, cada vez hay más productores e investigadores interesados en estudiar y maximizar la producción de este sistema. La cultura hidropónica (cultivo sin suelo) podría conducir a resolver los problemas globales como son: la contaminación ambiental, escasez de agua e inestabilidad del sistema ecológico (Karaki, 2011).

## 2.7. Ventajas del FVH

Con la utilización de forraje verde hidropónico como suplemento alimenticio de ganado bovino, se puede obtener forraje disponible en las épocas de escasez de lluvia en la sierra del Ecuador, este factor produce grandes pérdidas económicas por falta de disponibilidad de pasto. El forraje verde hidropónico es un método con ventajas importantes, empezando por el ahorro de agua, ya que las pérdidas de agua por evapotranspiración, escurrimiento superficial e infiltración son mínimas comparando con las pérdidas de agua de un sistema convencional (FAO, 2001). La producción de un kg de FVH requiere de 2-3 litros de agua, con un porcentaje de materia seca entre 12-18%, por lo tanto, se consume poca cantidad de agua para producir 1 kg de materia seca de FVH con un ciclo de cultivo de 14 días (Lomelí et al. 2000).

La eficiencia en el uso del espacio es otra ventaja importante, este sistema puede ser instalado en forma modular en la dimensión vertical, esto optimiza el uso de espacio útil. (FAO, 2001). Por lo tanto, con el sistema de FVH podemos ocupar menor espacio para producir la misma cantidad de forraje que en sistemas de pastoreo convencional, además, durante todo el año, y minimizando el problema de plagas y enfermedades. La eficiencia en el tiempo de producción es otra de las ventajas, ya que para la producción de FVH, el ciclo de cultivo es en promedio de 10-14 días, aunque algunos estudios establecen que no debería extenderse por más de 12 días ya que el valor nutricional disminuye (González et al. 2014). La calidad nutricional es otra característica del FVH, ya que se considera un alimento succulento de aproximadamente 20-30 cm de altura con palatabilidad adecuada para los animales. El FVH es rico en vitaminas, principalmente A y E, posee carotenoides, elevada cantidad de hierro, calcio y fósforo y posee una alta digestibilidad por la presencia escasa de lignina y

celulosa. Así mismo, el costo de producción no es elevado, por lo que, es otra ventaja en comparación de un sistema convencional, ya que su costo de producción puede ser 10 veces menor (González et al. 2014).

Otras ventajas del FVH, son que pueden disminuir problemas digestivos del ganado; disminución en las enfermedades; se puede producir en zonas de limitada pluviosidad; y además de ser utilizado para la alimentación de varias especies animales como: gallinas, cuyes, ovinos, caballos, caprinos, conejos, cerdos, etc. Por otra parte, incrementa la producción de leche, carne y fertilidad de los animales y puede recuperarse la inversión inicial rápidamente (Casa, 2008)

## **2.8. Limitantes o Desventajas del FVH**

A pesar de que existen más aspectos positivos que negativos en la producción de FVH, se han identificado algunas desventajas en este sistema de producción, una de estas es la necesidad de cuidados especiales al cultivo, ya que es importante tener claro algunos conceptos sobre cultivos, hidroponía e invernaderos, y si bien, cualquier persona podría manejar un sistema de forraje verde hidropónico, una persona capacitada va a poder reducir el riesgo de pérdidas o problemas con el cultivo y va a poder maximizar la productividad, controlando de la mejor manera las plagas y enfermedades, los requerimientos de agua, nutrientes, condiciones de luz, humedad relativa, temperatura y eligiendo la mejor especie forrajera (Juárez, 2013). Otra de las limitantes de este sistema, es la inversión inicial, ya que a pesar de que se puede iniciar con materiales básicos y un invernadero tradicional, si se desea potenciar la producción y obtener una mayor rentabilidad, la inversión inicial podría ser elevada. En cuanto a la semilla es importante realizar un buen desinfectado y lavado ya que

pueden contener residuos de pesticidas, y aunque no es muy común, pero, se podría presentar problemas con plagas o enfermedades. Otra desventaja del FVH como alimento de ganado lechero es el bajo contenido de materia seca, aunque, esto podría resolverse agregando diversos rastrojos o alimento balanceado para complementar la ración en la alimentación (Juárez, 2013).

## **2.9. Solución nutritiva en FVH**

La solución nutritiva es un medio acuoso en el que se encuentran disueltos nutrientes esenciales para un crecimiento y desarrollo adecuado de las plantas, además, es la vía principal de nutrición de cultivos en hidroponía y sustratos (Intagri, 2017). Una solución nutritiva completa debe contener algunos nutrientes como: nitrógeno, potasio, fósforo, magnesio, calcio, azufre, molibdeno, hierro, manganeso, boro, cobre, níquel y zinc (Intagri, 2017). Es importante mencionar que en una solución nutritiva los elementos antes mencionados están en forma de iones para que así las plantas puedan absorberlos ya que en su forma elemental no es posible.

Existen varios estudios en donde se pone a prueba diferentes soluciones nutritivas para el crecimiento de forraje verde hidropónico, una solución nutritiva utilizada en hidroponía es NEWPONIA (de la empresa Microtech), el cual es un estimulante ultra soluble de crecimiento, este puede ser utilizado en jardinería o cultivos hidropónicos y su función principal es estimular el crecimiento de la planta. Este estimulante se presenta en dos soluciones, conocidas como solución A y solución B, estas ayudan a potencializar el crecimiento y desarrollo de las plantas gracias a su composición efectiva de nitrógeno, calcio, fósforo, potasio y micronutrientes (MICROTECH, 2023).

### **III. OBJETIVOS E HIPOTESIS**

#### **3.1. Objetivo General**

Evaluar el contenido nutricional y crecimiento de Forraje Verde Hidropónico (FVH) como complemento para la alimentación animal en Sigchos-Cotopaxi.

#### **3.2. Objetivos específicos**

- Determinar el efecto del uso de una solución nutritiva en la producción de forraje verde hidropónico.
- Cuantificar los siguientes parámetros de rendimiento y calidad: peso fresco, materia seca, proteína, fibra y cenizas de las diferentes fuentes de forraje verde hidropónico (FVH).
- Seleccionar el mejor tratamiento de forraje verde hidropónico para la alimentación de ganado lechero.

#### **3.3. Hipótesis**

Existe un efecto de diferentes fuentes de semillas y soluciones nutritivas sobre la calidad y rendimiento del forraje verde hidropónico (FVH).

## **IV. MATERIALES Y METODOS**

### **4.1. Material biológico y solución nutritiva**

Se utilizaron tres fuentes de semilla para el forraje verde hidropónico: cebada, avena y maíz, los cuales tienen potencial para ser utilizados como suplemento alimenticio en ganado lechero, son los que mejor se adaptan y están disponibles en la zona. Así mismo, las 3 especies se sembraron con o sin solución nutritiva (NEWPONIA by Microtech), este es un bioestimulante ultra soluble que promueve el crecimiento de las plantas. El cual está constituido por dos soluciones A y B, esto potencializa el desarrollo de plantas por su efectiva composición de macro y micronutrientes. Adicionalmente, se utilizó como un segundo sustrato agua.

#### **4.1.1. Cebada**

La cebada utilizada obtenida en el mercado local genera un forraje con alto contenido de proteína y fibra, esto lo hace adecuado para la alimentación de ganado y puede aumentar la producción de leche (Bertsch, 2019).

#### **4.1.2. Avena**

La avena es un alimento rico en proteínas, carbohidratos, vitaminas y minerales (Cerillo et al. 2012). Se ha demostrado que mejora la productividad y salud de los animales.

### **4.1.3. Maíz**

El maíz tiene un contenido alto de fibra, energía y minerales esenciales, por lo tanto, es una alternativa viable y eficiente para la nutrición de ganado (Castro, 2019).

## **4.2. Manejo del experimento**

Para la implementación del experimento se construyó un invernadero artesanal mixto de 3 x 3 metros con una estructura metálica y plástico de polietileno con un porcentaje de sombra del 30% y piso de adoquín. En el invernadero se colocaron sobre el piso las bandejas donde se sembraron las diferentes fuentes de forraje verde hidropónico, utilizando semillas adquiridas en Sigchos-Cotopaxi; para el proceso de desinfección y pre germinación, se dejaron las semillas en una solución de cal agrícola en una dosis de 6 gramos por litro, las cuales permanecieron durante 16 horas dentro de la solución con una hora de aireación y oxigenación después de las primeras 8 horas. Posteriormente, se desinfectó las charolas con hipoclorito de sodio con una dosis de 1 mililitro (ml) por litro de agua, por 15 minutos. Luego, se sembraron las semillas en charolas de 45cm x 33cm con una densidad de siembra de 2,7kg/m<sup>2</sup>, es decir, 0,4 kg de semilla por bandeja, y se las ubicó dentro del invernadero con una pendiente de 3-4 grados de inclinación. Para promover la germinación se dejó las semillas de las diferentes especies en oscuridad durante 48 horas cubriéndolas con un plástico negro. A continuación se retiró el plástico negro y se implementaron tres riegos diarios durante los primeros 4 días, entre el día 4 al 8 se proporcionó una frecuencia de cuatro riegos diarios, y entre el día 8 al 14, siete riegos diarios. Cada riego se realizó utilizando una bomba de fumigación previamente lavada y desinfectada, y un caudal de riego de 1.5 L de agua por m<sup>2</sup>

por riego, teniendo en cuenta que el agua debe cubrir toda la bandeja y la semilla debe mantenerse mojada, cuidando que no exista exceso de humedad.

A los cultivos inmersos en la solución nutritiva (NEWPONIA) se les agregó agua en una dosis de 1ml/litro en el primer riego por la mañana. Se manejó un ciclo de cultivo de 14 días, por lo que al día 14 se realizó la cosecha y extracción de las muestras.

#### **4.2.1. Análisis de laboratorio**

Para el análisis se extrajo una muestra de cada una de las bandejas sembradas, es decir, 24 muestras de 10 x 10 cm y se las llevó a realizar el análisis en el “Laboratorio de Alimentos de la USFQ” donde se cuantificó el peso fresco, materia seca, y porcentaje de proteína y cenizas.

##### **4.2.1.1. *Porcentaje de proteína.***

La proteína de los alimentos puede ser determinada por medio de varios métodos. En el presente estudio se utilizó el método Kjeldahl basado en la determinación del contenido de nitrógeno de un alimento (AOAC, 2012). El método se divide en 3 etapas: digestión, destilación y valoración. En la etapa de digestión para cada muestra se realiza un tratamiento con ácido sulfúrico concentrado, en presencia de un catalizador se logra convertir el nitrógeno orgánico en ion amonio. Para lo cual se introdujo 0.5 g de muestra en un tubo de mineralización y se colocó 3g de catalizador, luego, se adicionó 10 ml de ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) concentrado y 5 ml de peróxido de hidrógeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>). Posteriormente, se digirió las

muestras a una temperatura de 420°C durante 2-3 horas. En esta etapa, el nitrógeno proteico se transforma en sulfato de amonio por la acción del ácido sulfúrico a altas temperaturas utilizando un digestor automático, en el cual, se pudo digerir 6 muestras al mismo tiempo. En la etapa de destilación se alcalinizó la muestra digerida y el nitrógeno se desprendió en forma de amoníaco, para lo cual, después de enfriar la muestra, se adicionó al tubo de digestión 50 ml de agua destilada, y se colocó en el soporte del destilador adicionando 50 ml de hidróxido de sodio para alcalinizar el medio y desplazar el amoníaco. El amoníaco liberado se arrastró por el vapor de agua inyectado en el contenido del tubo en la destilación y se recogió sobre una disolución de ácido bórico al 4%. En la etapa de valoración se realizó la cuantificación del nitrógeno amoniacal por medio de volumetría ácido-base del ion borato, empleando ácido clorhídrico y como indicador una disolución alcohólica de una mezcla de rojo de metilo y azul de metileno. Los equivalentes de ácido consumidos corresponden a los equivalentes de amoníaco destilados. Al final de la valoración se calculó el número de equivalentes de nitrógeno recogidos, y con este dato, se obtuvo el porcentaje de nitrógeno en la muestra

Para el cálculo del porcentaje de proteína se multiplicó por un valor de conversión que está tabulado para cada alimento, en el caso de la avena y cebada es de 5.83 y para el maíz es de 6.25 (Martínez et al. 2012).

#### **4.2.1.2. Cenizas**

En una balanza analítica se pesó 3g de muestra en un crisol de porcelana, para colocarlo en una mufla a una temperatura de 600°C por 24 horas, luego, se retiró para colocarlo en un desecador hasta su enfriamiento. Al final registrando su peso final se calculó el contenido de cenizas por diferencia (AOAC, 2012).

#### **4.2.1.3. *Materia seca***

Se pesó en una balanza analítica 3g de muestra y se colocó en una estufa a  $100 \pm 5^{\circ}\text{C}$  por 24 horas, luego, se tapó el recipiente y se colocó en un desecador por 15 minutos. Al final se registró el peso final y el porcentaje de materia seca por diferencia de peso (AOAC, 2012).

#### **4.2.1.4. *Peso fresco***

Para la determinación del peso fresco se utilizó una balanza digital y se pesó en kilogramos cada una de las bandejas con su respectivo forraje fresco, posteriormente, se restó el peso de la bandeja para obtener el peso total del forraje hidropónico.

### **4.3. Métodos estadísticos**

Se utilizó un diseño completamente al azar (DCA) (figura 1) con un arreglo factorial 3x2, utilizando 2 factores, el factor A fueron las 3 fuentes de forraje verde hidropónico (avena, cebada y maíz), y el factor B el tipo de nutrición (Solución nutritiva +agua y agua); con un total de 6 tratamientos y 4 repeticiones, es decir, 24 unidades experimentales. Para determinar la variación en cada variable de respuesta, se utilizó un análisis de la varianza (ANOVA) con un nivel de significación para la prueba de F ( $p \leq 0,05$ ). Para el análisis de los datos de proteína y cenizas, expresados en porcentaje, se realizó una transformación con la función arco seno, esta permite transformar los porcentajes, estabilizando la varianza de la variable y proporcionando datos más uniformes (Spínola, 2013). Para las variables peso fresco y materia seca, estas fueron calculadas en kilogramo por metro cuadrado.

Para la prueba de comparación de medias de los tratamientos, se utilizó la prueba de significancia de Duncan ( $p \leq 0,05$ ), el test de Duncan permite comparar las medias de los niveles de “t” de un factor luego de haber utilizado ANOVA, a comparación de la prueba de Tukey, para ver diferencias entre las medias Duncan emplea un rango que va a depender del número de medias que están implicadas en la comparación. (Fallas, 2012).

**Figura 1:** Diseño del experimento, aleatorización.

CEBADA + H <sub>2</sub> O	AVENA + H <sub>2</sub> O	MAIZ + SN	CEBADA + H <sub>2</sub> O	CEBADA + SN
MAIZ + SN	CEBADA + H <sub>2</sub> O	AVENA + SN	AVENA + H <sub>2</sub> O	MAIZ + H <sub>2</sub> O
AVENA + H <sub>2</sub> O	MAIZ + H <sub>2</sub> O	CEBADA + SN	MAIZ + SN	AVENA + SN

AVENA + SN	MAIZ + H <sub>2</sub> O	CEBADA + H <sub>2</sub> O
CEBADA + SN	CEBADA + SN	MAIZ + SN
MAIZ + H <sub>2</sub> O	AVENA + SN	AVENA + H <sub>2</sub> O

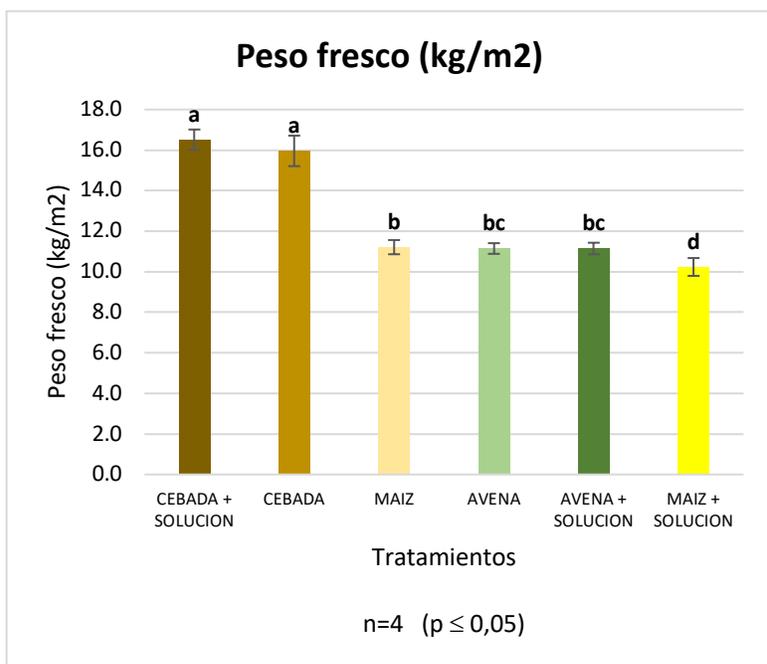


## V. RESULTADOS

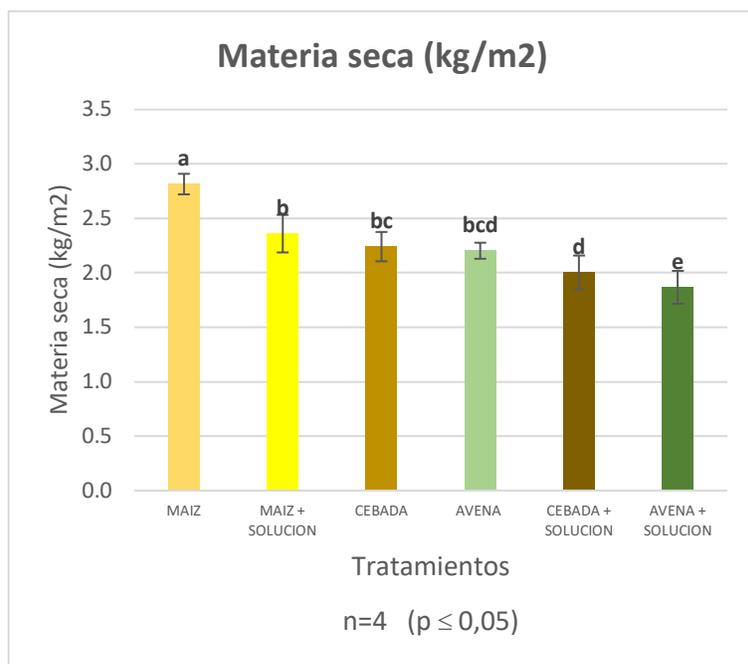
### 5.1. Peso fresco

Para la variable peso fresco, con el análisis de la varianza (ANOVA) y prueba de DUNCAN se encontraron diferencias significativas, siendo los tratamientos “cebada + solución nutritiva” y “cebada + agua” los que obtuvieron mayor peso fresco con 16.5 (kg/m<sup>2</sup>) y 15.96 (kg/m<sup>2</sup>), respectivamente. El tratamiento “maíz + solución nutritiva” fue el que obtuvo menor valor con un peso fresco de 10.2 kg por m<sup>2</sup>. El coeficiente de variación (CV) es de 3.64 y el error estándar de las medias (SY) es de 0.23 (Figura 2).

**Figura 2:** Peso fresco de FVH (kg/m<sup>2</sup>)



**Figura 3:** Materia seca de FVH (kg/m<sup>2</sup>)



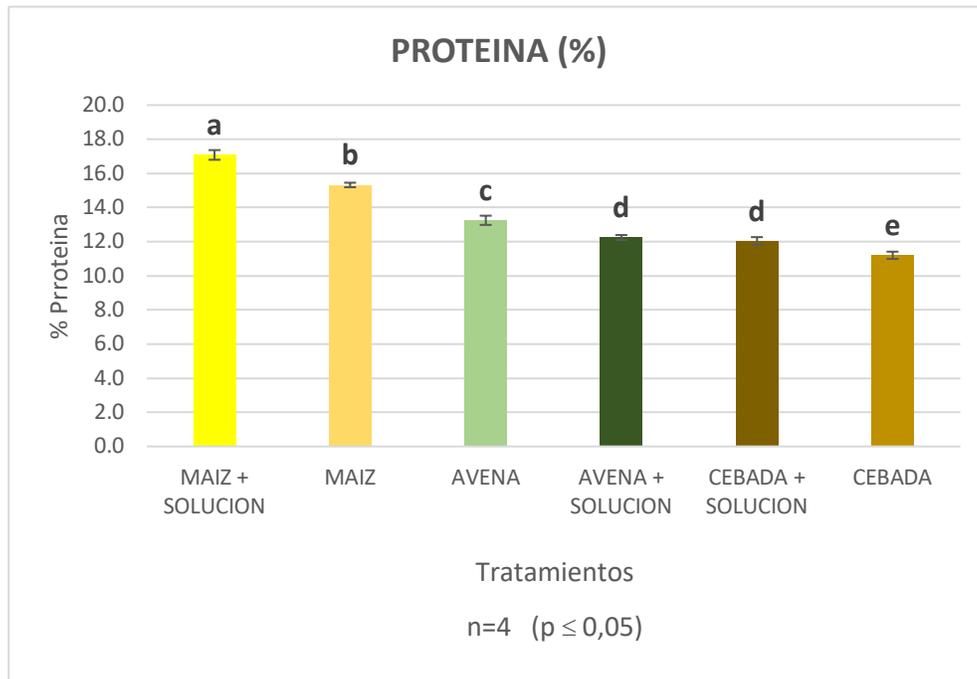
## **5.2.Materia seca**

Para la variable materia seca, según el ANOVA y la prueba de DUNCAN se encontraron diferencias significativas, siendo el tratamiento “maíz + agua” el que obtuvo el mayor contenido de materia seca con 2.8 (kg/m<sup>2</sup>) y el tratamiento “avena + solución nutritiva” el que obtuvo menor contenido de materia seca con 1.9 (kg/m<sup>2</sup>). El coeficiente de variación (CV) es de 5.99 y el error estándar de las medias (SY) es de 0.07 (Figura 3).

## **5.3.Contenido de proteína**

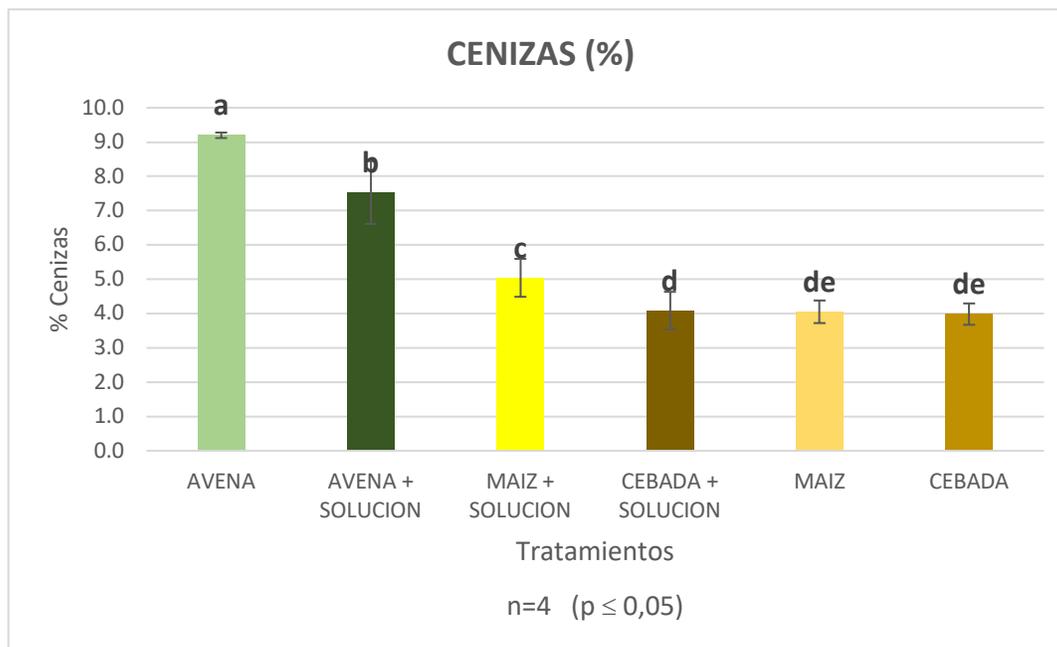
Para la variable proteína, según el ANOVA y la prueba de DUNCAN se encontraron diferencias significativas para todos los tratamientos, siendo el tratamiento “maíz + solución nutritiva” el que obtuvo mayor contenido de proteína con un porcentaje de 17.1% y el tratamiento “cebada + agua” el que obtuvo menor contenido de proteína con un porcentaje de 11.2%. El coeficiente de variación (CV) fue de 1.02 y el error estándar de las medias (SY) fue de 0.11 (Figura 4).

**Figura 4:** Contenido de proteína en tratamientos de FVH.



#### 5.4. Contenido de cenizas

Para la variable cenizas, según el ANOVA y la prueba de DUNCAN se encontraron diferencias significativas para todos los tratamientos, siendo el tratamiento “avena + agua” el que obtuvo mayor contenido de cenizas con 9.2% y el tratamiento “cebada + agua” el que obtuvo menor contenido de proteína con 3.98%. El coeficiente de variación (CV) fue de 3.87 y el error estándar de las medias (SY) fue de 0.26 (Figura 5).

**Figura 5:** Contenido de cenizas en FVH

## VI. DISCUSION

### 6.1. Peso fresco

El peso fresco de los diferentes tratamientos tuvieron diferencias significativas en cuanto a las diferentes fuentes de FVH, sobresaliendo el tratamiento de cebada (cebada + agua) con un peso fresco de  $16 \text{ kg/m}^2$ , que es mayor al obtenido por la investigación realizada por Orellana (2015) de  $14.93 \text{ kg/m}^2$ , por otro lado, Salvador et al. (2022) reporta un valor de  $14.5 \text{ kg/m}^2$ , similar al de Orellana (2015), pero, significativamente menor a lo obtenido en este estudio. En el presente estudio el FVH de avena obtuvo el menor peso fresco con  $11.1 \text{ kg/m}^2$ , similar a lo obtenido por Cerillo et al. (2021) de  $10.9 \text{ kg/m}^2$ ; y de menor magnitud a lo obtenido por Morales et al. (2020) de  $13.23 \text{ kg/m}^2$ . En cuanto al FVH de maíz se obtuvo un peso fresco de  $11.2 \text{ kg/m}^2$  que en magnitud es menor al reportado por Ramírez et al. (2017) quienes obtuvieron  $15.28 \text{ kg/m}^2$ . Las diferencias en resultados de los diferentes estudios en relación a los obtenidos en esta investigación podrían atribuirse a un menor porcentaje de germinación en las semillas de maíz y avena; y a la menor adaptación a las condiciones de desarrollo en el invernadero. En cuanto a la producción del FVH no se observó mayor peso fresco utilizando la solución nutritiva + agua a comparación de la aplicación de solamente agua, ya que el rendimiento fue inclusive menor ( $\pm 1 \text{ kg/m}^2$ ) con la utilización de la solución, estos resultados son similares a los obtenidos por Ramírez et al. (2017) en FVH de maíz donde tampoco se encontraron diferencias con un peso fresco de  $15.20 \text{ kg/m}^2$  en el tratamiento solo con agua,  $15.27 \text{ kg/m}^2$  en el tratamiento con una dosis baja de solución nutritiva y  $15.37 \text{ kg/m}^2$  en el tratamiento con una dosis alta de solución nutritiva.

## 6.2.Materia seca

En la variable materia seca en los diferentes tratamientos se obtuvieron diferencias significativas en respuesta a las diferentes fuentes de FVH, siendo el FVH de maíz (maíz + agua) el que mayor rendimiento obtuvo en comparación a las otras fuentes de FVH con 2.8 kg/m<sup>2</sup> de MS, esto es similar a lo obtenido por Aseffa et al. (2020) de 2.7 kg/m<sup>2</sup> de MS, y difiere a lo obtenido por Naik et al. (2016) de 4.7 kg/m<sup>2</sup> de MS, estas diferencias podrían atribuirse a la mayor densidad de siembra utilizada en el estudio realizado por Naik.

En el FVH de cebada se obtuvo un contenido de materia seca de 2.2kg/m<sup>2</sup> menor a lo obtenido por Amaguaña (2012) quien obtuvo 3.1 kg/m<sup>2</sup>, estas diferencias podrían atribuirse a que en este estudio se utilizó una fertilización orgánica. Se observó una ligera relación inversa entre el peso fresco y el porcentaje de materia seca, por lo que a mayor peso fresco el porcentaje de materia seca disminuye. En el FVH de avena se presentó un contenido de materia seca de 2.2 kg/m<sup>2</sup> menor a lo obtenido por Salvador et al. (2022) de 3.8 kg/m<sup>2</sup>, pero, mayor a lo reportado por Morales et al. (2020) de 1.39 kg/m<sup>2</sup>, por lo que se puede decir que se obtuvo un buen contenido de materia seca.

En cuanto a la aplicación de soluciones nutritivas no se obtuvo un mayor contenido de materia seca, obteniendo valores de MS inclusive menores en comparación de la aplicación de solamente agua, estos resultados son similares a los obtenidos por Salvador et al. (2022) quien comparó un tratamiento con solución nutritiva con un testigo (solamente agua), y en donde tampoco se encontraron mayores contenidos de MS, e inclusive se obtuvo menores rendimientos con la utilización de solución nutritiva.

### 6.3. Proteína

En la variable proteína en los diferentes tratamientos se obtuvieron diferencias significativas en respuesta a las diferentes fuentes de FVH, siendo el cultivo de maíz (maíz + agua) el que obtuvo mayor contenido de proteína con 15.3%, similar a lo obtenido por Mejía et al. (2020) quien obtuvo un porcentaje de 15.4% y similar a lo obtenido por Maldonado et al. (2013) quien obtuvo 16.98%. El FVH de cebada fue el que obtuvo menor contenido de proteína con 11.2%, menor a lo obtenido por Amaguaña (2012) quien obtuvo un porcentaje de 18.37%, y similar a lo obtenido por Salvador et al. (2022) quien obtuvo un porcentaje de 11.1%. El FVH de avena obtuvo un porcentaje de proteína del 13.3%, similar a lo obtenido por Cerillo et al. (2012) con 14.88%, y a lo obtenido por Salvador et al. (2022) quien obtuvo 12.7% de proteína. Al igual que la materia seca la proteína tiene una relación inversa con el peso fresco, por lo que, en este estudio, a mayor peso fresco se presentó un menor contenido de proteína.

En cuanto a la utilización de diferentes soluciones nutritivas se encontraron diferencias significativas, debido a que se presentó un mayor contenido de proteína con la aplicación de una solución nutritiva en comparación de la aplicación de solamente agua en el FVH de cebada, avena y maíz (diferencia  $\pm 1\%$ ), siendo el FVH de maíz donde se encontró mayor diferencia (diferencia  $>1\%$ ), esto es similar a lo obtenido por Salvador et al. (2022) en FVH de cebada donde solo se obtuvo diferencias en la variable proteína con la aplicación de una solución nutritiva (diferencia  $>1\%$ ).

#### 6.4.Cenizas

En la variable cenizas en los diferentes tratamientos se obtuvieron diferencias significativas en respuesta a las diferentes fuentes de FVH, siendo el FVH de avena (avena + agua) el que obtuvo mayor contenido con un porcentaje de 9.2%, menor a lo obtenido por Salvador et al. (2022) quien obtuvo 11.7%. El FVH de cebada es el que obtuvo un menor contenido de cenizas con un porcentaje de 3.9% mayor a lo obtenido por López (2005) quien obtuvo un porcentaje de 2% y menor a lo obtenido por Birgi et al. (2017) quien obtuvo 7% de cenizas. El FVH de maíz obtuvo un porcentaje de cenizas de 4.1%, menor a lo obtenido por Narváez et al. (2022) con 6.54% y mayor a lo obtenido por Vargas (2008) quien obtuvo 2.41%; todos estos estudios muestran diferentes porcentajes de cenizas probablemente debido al contenido de las diferentes soluciones nutritivas utilizadas.

En cuanto a la utilización de diferentes soluciones nutritivas se presentó un mayor contenido de cenizas con la aplicación de una solución nutritiva en comparación de la aplicación de solamente agua en el FVH de avena y maíz, siendo el tratamiento avena + solución nutritiva el que presentó mayor diferencia (diferencia  $\pm 2\%$ ), similar a lo obtenido por Narváez et al. (2022) en FVH de maíz, (diferencia  $>1\%$ ); Por otro lado, no se encontraron diferencias en el FVH de cebada aplicando solución nutritiva. La diferencia en los tratamientos con solución nutritiva a comparación de los tratamientos con solamente agua podría atribuirse al aporte de minerales de la solución aplicada.

## VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 7.1. Conclusiones

- En la variable peso fresco ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ) los mejores tratamientos fueron “cebada + solución nutritiva” ( $16.52 \text{ kg}/\text{m}^2$ ) y “cebada + agua” ( $15.95 \text{ kg}/\text{m}^2$ ), el de menor peso fresco fue el tratamiento fue el de “maíz + solución nutritiva” ( $10.24 \text{ kg}/\text{m}^2$ ).
- En la variable materia seca el tratamiento “maíz + agua” obtuvo el mayor contenido ( $2.8 \text{ kg}/\text{m}^2$ ) y el tratamiento “avena + solución nutritiva” obtuvo el menor ( $1.9 \text{ kg}/\text{m}^2$ ).
- En la variable proteína el tratamiento “maíz + solución nutritiva” fue el mejor (17.1%) y el de menor contenido de proteína fue el de “cebada + agua” (11.2%).
- En la variable cenizas el tratamiento “avena + agua” obtuvo el mayor porcentaje (9.2%), y el tratamiento “cebada + agua” obtuvo el menor (3.98 %).
- Al evaluar diferentes fuentes de forraje verde hidropónico se encontró que la cebada presentó una mayor producción en peso fresco ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ). El maíz presentó un mayor porcentaje de materia seca y proteína, y la avena obtuvo un mayor porcentaje de cenizas.
- El uso de una solución nutritiva en el riego del FVH tuvo un impacto positivo en cuanto al contenido de proteína y cenizas en cebada y maíz, pero, no tuvo influencia en la productividad del forraje (peso fresco y materia seca).

## 7.2. Recomendaciones

- Se recomienda que en las condiciones utilizadas y con la productividad obtenida en este estudio la cebada podría ser la mejor opción a ensayar como fuente para la producción de forraje verde hidropónico en la alimentación de ganado lechero en el Cantón Sigchos, debido al notable mejor rendimiento a comparación del maíz y la avena.
- Si se recomienda utilizar solución nutritiva en condiciones similares a las utilizadas en este estudio ya que aunque no mejoró la productividad, si se mejora la calidad nutricional del forraje verde hidropónico (en maíz y cebada), lo cual es importante en la alimentación de ganado lechero.
- Se recomienda mejorar las condiciones del invernadero para que las fuentes de FVH avena y maíz puedan adaptarse de mejor manera ya que poseen un mejor contenido nutricional que la cebada y pueden ser efectivas para la alimentación de ganado lechero.
- Se recomienda realizar una prueba de germinación antes de la siembra y buscar variedades que se adapten de mejor manera, ya que se observó una mejor germinación en cebada a comparación de avena y maíz.

## VIII. ANEXOS

### 8.1.ANEXO A: INVERNADERO ARTESANAL



### 8.2.ANEXO B: SIEMBRA Y GERMINACION



### 8.3. ANEXO B1: PESADO DE LOS GRANOS (AVENA Y CEBADA)



### 8.4. ANEXO B2: EXTRACCION DE IMPUREZAS



### 8.5.ANEXO B3: REPOSO EN SOLUCION DE CAL + AGUA (MAIZ)



### 8.6.ANEXO B4: LAVADO Y DESINFECCION DE BANDEJAS



**8.7.ANEXO B5: CUBRIMIENTO CON PLASTICO NEGRO PARA PROMOVER LA GERMINACION (IZQ); GRANOS GERMINADOS (DER)**



**8.8.ANEXO C: CRECIMIENTO Y DESARROLLO (DIA 8)**



**8.9. ANEXO C1: SOLUCION NUTRITIVA A Y B (IZQ); RIEGO CON BOMBA (DER)**



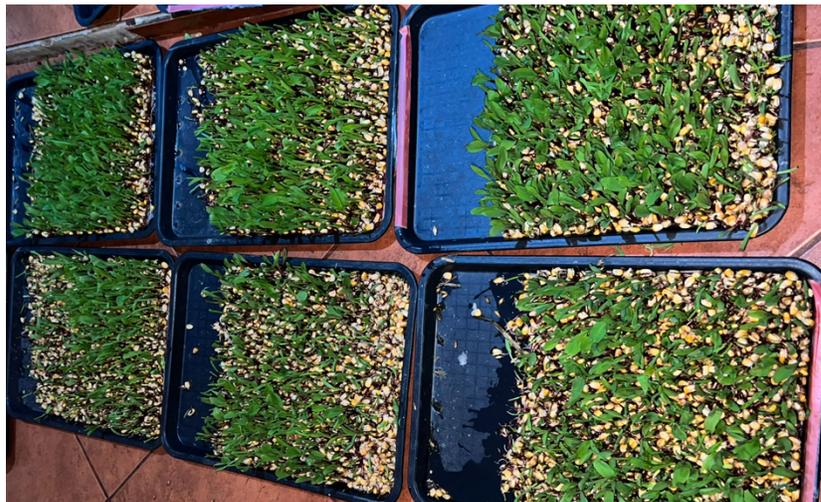
**8.10. ANEXO D: COSECHA Y EXTRACCION DE MUESTRAS (FVH DE CEBADA DIA 14)**



**8.11. ANEXO D1: FVH DE AVENA DIA 14**



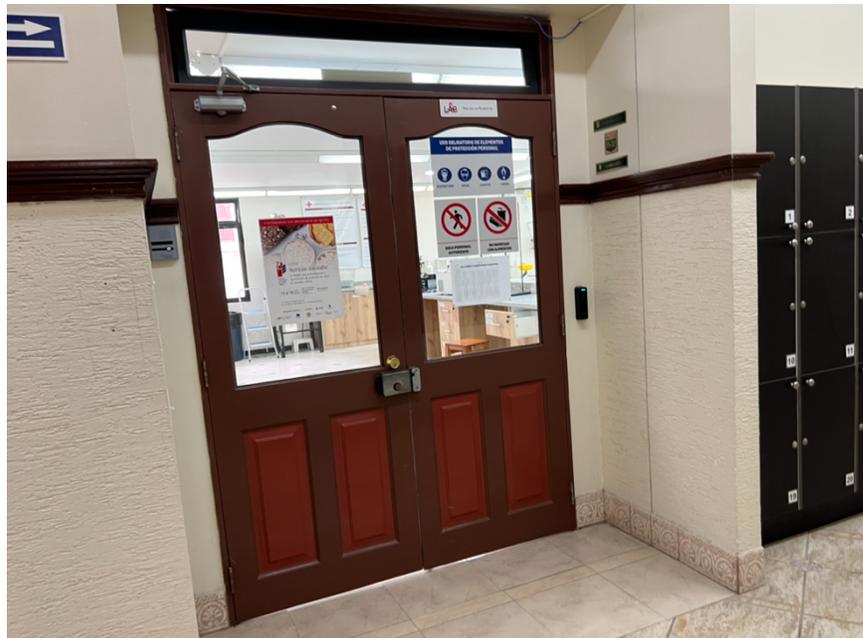
**8.12. ANEXO D2: FVH DE MAIZ DIA 14**



### 8.13. ANEXO D3: RECOLECCION DE MUESTRAS



### 8.14. ANEXO E: ANALISIS DE LABORATORIO (LABORATORIO ING. ALIMENTOS USFQ)



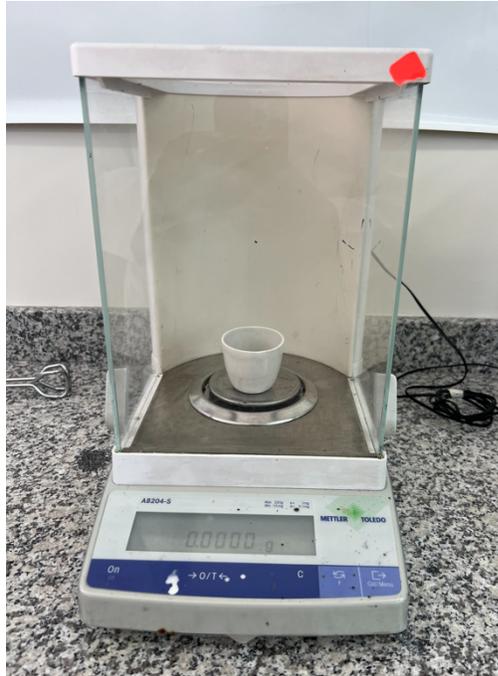
**8.15. ANEXO E1: DETERMINACION DEL PESO FRESCO (CEBADA)**



**8.16. ANEXO E2: TRITURACION DE LA MUESTRA**



**8.17. ANEXO E3: PESAJE DE LA MUESTRA PARA DETERMINACION DE MATERIA SECA**



**8.18. ANEXO E4: MUESTRAS EN CRISOLES DENTRO DEL HORNO DE 100°C**

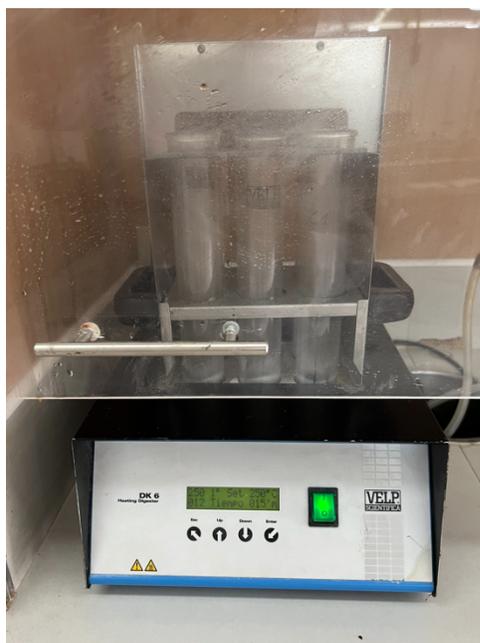


**8.19. ANEXO E5: ESTUFA 100°C (IZQ); MUFLA 600°C (DER)****8.20. ANEXO E6: DESECADOR CON LAS MUESTRAS DE FVH**

**8.21. ANEXO E7: MUESTRAS EN LA PLANCHA DE CALENTAMIENTO Y AGITACION**



**8.22. ANEXO E8: MUESTRAS EN EL DIGESTOR DE PROTEINA (METODO KJELDAHL)**



**8.23. ANEXO E9: DESTILADOR DE PROTEINA (METODO KJELDAHL)**



**8.24. ANEXO F: ANALISIS DE VARIANZA ANOVA Y PRUEBA DE RANGO MULTIPLE DE DUNCAN**

**8.25. ANEXO F1: ANALISIS DE VARIANZA ANOVA(PESO FRESCO)**

<b>ANOVA</b>					
<b>DCA CON ARREGLO FACTORIAL 3X2</b>					
<b>Fuente de variacion</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Cuadrados medios</b>	<b>Fcalculada</b>	<b>Ftabular</b>
<b>Total</b>	23	157.07	6.83		
<b>Tratamientos</b>	5	153.23	30.65	143.36 *	2.77
<b>A (cultivos)</b>	2	150.70	75.35	352.48 *	3.56
<b>B (sustrato)</b>	1	0.12	0.12	0.56 NS	4.41
<b>AxB</b>	2	2.41	1.20	5.63 *	3.56
<b>Error experimental</b>	18	3.85	<b>0.21</b>		
<b>FC</b>	3872.23				

## 8.26. ANEXO F2: PRUEBA DE RANGO MULTIPLE DE DUNCAN (PESO FRESCO)

Medias							
	a3b2	a2b1	a2b2	a3b1	a1b1	a1b2	
	6	3	4	5	1	2	
	10.235	11.145	11.145	11.2125	15.96	16.515	
<b>Rango</b>	d	bc	bc	b	a	a	
Valores para medias							
			2	3	4	5	6
Valores para medias y GL error	<b>RMD</b>		2.971	3.117	3.21	3.274	3.32
	RMD x SY	<b>RMS</b>	0.687	0.721	0.742	0.757	0.768

Comparaciones							
<b>2y6</b>	16.515	10.235	igual	6.28	>	0.768	Diferencias significativas
<b>2y3</b>	16.515	11.145	igual	5.37	>	0.757	Diferencias significativas
<b>2y4</b>	16.515	11.145	igual	5.37	>	0.742	Diferencias significativas
<b>2y5</b>	16.515	11.2125	igual	5.3025	>	0.721	Diferencias significativas
<b>2y1</b>	16.515	15.96	igual	0.555	<	0.687	No hay diferencias significativas
<b>1y6</b>	15.96	10.235	igual	5.725	>	0.757	Diferencias significativas
<b>1y3</b>	15.96	11.145	igual	4.815	>	0.742	Diferencias significativas
<b>1y4</b>	15.96	11.145	igual	4.815	>	0.721	Diferencias significativas
<b>1y5</b>	15.96	11.2125	igual	4.7475	>	0.687	Diferencias significativas
<b>5y6</b>	11.2125	10.235	igual	0.9775	>	0.742	Diferencias significativas
<b>5y3</b>	11.2125	11.145	igual	0.0675	<	0.721	No hay diferencias significativas
<b>5y4</b>	11.2125	11.145	igual	0.0675	<	0.687	No hay diferencias significativas
<b>4y6</b>	11.145	10.235	igual	0.91	>	0.721	Diferencias significativas
<b>4y3</b>	11.145	11.145	igual	0	<	0.687	No hay diferencias significativas
<b>3y6</b>	11.145	10.235	igual	0.91	>	0.687	Diferencias significativas

## 8.27. ANEXO F3: ANALISIS DE VARIANZA ANOVA (MATERIA SECA)

ANOVA					
DCA CON ARREGLO FACTORIAL 3X2					
Fuente de variacion	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Fcalculada	Ftabular
Total	23.00	2.49	0.11		
Tratamientos	5.00	2.16	0.43	23.82 *	2.77
A (cultivos)	2.00	1.41	0.71	38.86 *	3.56
B (sustrato)	1.00	0.70	0.70	38.74 *	4.41
AxB	2.00	0.05	0.02	1.33 NS	3.56
Error experimental	18.00	0.33	0.02		
FC	121.31				

## 8.28. ANEXO F4: PRUEBA DE RANGO MULTIPLE DE DUNCAN (MATERIA SECA)

Medias							
	a1b2	a1b1	a2b2	a2b1	a3b2	a3b1	
	4	2	3	1	6	5	
	1.87	2.00	2.20	2.24	2.36	2.82	
Rango	e	d	bcd	bc	b	a	
Valores para medias							
Valores para medias y GL error	RMD	2.971	3.117	3.21	3.274	3.32	
	RMD x SY	RMS	0.200	0.210	0.216	0.221	0.224

Comparaciones							
5y4	2.82	1.87	igual	0.947911	>	0.224	Diferencias significativas
5y2	2.82	2.00	igual	0.810556	>	0.221	Diferencias significativas
5y3	2.82	2.20	igual	0.612341	>	0.216	Diferencias significativas
5y1	2.82	2.24	igual	0.574545	>	0.210	Diferencias significativas
5y6	2.82	2.36	igual	0.455365	>	0.200	Diferencias significativas
6y4	2.36	1.87	igual	0.492547	>	0.221	Diferencias significativas
6y2	2.36	2.00	igual	0.355191	>	0.216	Diferencias significativas
6y3	2.36	2.20	igual	0.156976	<	0.210	No hay diferencias significativas
6y1	2.36	2.24	igual	0.11918	<	0.200	No hay diferencias significativas
1y4	2.24	1.87	igual	0.373367	>	0.216	Diferencias significativas
1y2	2.24	2.00	igual	0.236011	>	0.210	Diferencias significativas
1y3	2.24	2.20	igual	0.037796	<	0.200	No hay diferencias significativas
3y4	2.20	1.87	igual	0.335571	>	0.210	Diferencias significativas
3y2	2.20	2.00	igual	0.198215	<	0.200	No hay diferencias significativas
2y4	2.00	1.87	igual	0.137355	<	0.200	No hay diferencias significativas

## 8.29. ANEXO F5: ANALISIS DE VARIANZA ANOVA (PROTEINA)

ANOVA					
DCA CON ARREGLO FACTORIAL 3X2					
Fuente de variacion	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Fcalculada	Ftabular
Total	23.00	69.40	3.02		
Tratamientos	5.00	68.54	13.71	286.37 *	2.77
A (cultivos)	2.00	62.13	31.07	648.99 *	3.56
B (sustrato)	1.00	1.06	1.06	22.17 *	4.41
AxB	2.00	5.35	2.67	55.85 *	3.56
Error experimental	18.00	0.86	0.05		
FC	11115.51				

### 8.30. ANEXO F6: PRUEBA DE RANGO MULTIPLE DE DUNCAN (PROTEINA)

Medias						
	a1b1	a1b2	a2b2	a2b1	a3b1	a3b2
	1	2	4	3	5	6
	19.553	20.305	20.476	21.341	23.037	24.412
Rango	e	d	d	c	b	a
Valores para medias		2	3	4	5	6
Valores para	RMD	2.971	3.117	3.21	3.274	3.32
RMD x SY	RMS	0.325	0.341	0.351	0.358	0.363

Comparaciones							
6y1	24.412	19.553	igual	4.859	>	0.363	Diferencias significativas
6y2	24.412	20.305	igual	4.107	>	0.358	Diferencias significativas
6y4	24.412	20.476	igual	3.936	>	0.351	Diferencias significativas
6y3	24.412	21.341	igual	3.071	>	0.341	Diferencias significativas
6y5	24.412	23.037	igual	1.375	>	0.325	Diferencias significativas
5y1	23.037	19.553	igual	3.484	>	0.358	Diferencias significativas
5y2	23.037	20.305	igual	2.732	>	0.351	Diferencias significativas
5y4	23.037	20.476	igual	2.561	>	0.341	Diferencias significativas
5y3	23.037	21.341	igual	1.696	>	0.325	Diferencias significativas
3y1	21.341	19.553	igual	1.788	>	0.351	Diferencias significativas
3y2	21.341	20.305	igual	1.036	>	0.341	Diferencias significativas
3y4	21.341	20.476	igual	0.865	>	0.325	Diferencias significativas
4y1	20.476	19.553	igual	0.923	>	0.341	Diferencias significativas
4y2	20.476	20.305	igual	0.171	<	0.325	No hay diferencias significativas
2y1	20.305	19.553	igual	0.752	>	0.325	Diferencias significativas

## 8.31. ANEXO F7: ANALISIS DE VARIANZA ANOVA (CENIZAS)

ANOVA					
DCA CON ARREGLO FACTORIAL 3X2					
Fuente de variacion	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Fcalculada	Ftabular
Total	23.00	142.19	6.18		
Tratamientos	5.00	137.23	27.45	99.61*	2.77
A (cultivos)	2.00	127.50	63.75	231.37*	3.56
B (sustrato)	1.00	0.04	0.04	0.14 NS	4.41
AxB	2.00	9.69	4.84	17.58*	3.56
Error experimental	18.00	4.96	0.28		
FC	4407.21				

## 8.32. ANEXO F8: PRUEBA DE RANGO MULTIPLE DE DUNCAN (CENIZAS)

	Medias						
	a1b1	a3b1	a1b2	a3b2	a2b2	a2b1	
	1	5	2	6	4	3	
	11.515	11.610	11.639	12.974	15.920	17.649	
<b>Rango</b>	de	de	d	c	b	a	
	<b>Valores para medias</b>		2	3	4	5	6
	Valores para	<b>RMD</b>	2.971	3.117	3.21	3.274	3.32
	RMD x SY	<b>RMS</b>	0.780	0.818	0.843	0.859	0.871

Comparaciones								
<b>3y1</b>	17.649	11.515	igual	6.134	>	0.871	Diferencias significativas	
<b>3y5</b>	17.649	11.61	igual	6.039	>	0.859	Diferencias significativas	
<b>3y2</b>	17.649	11.639	igual	6.01	>	0.843	Diferencias significativas	
<b>3y6</b>	17.649	12.974	igual	4.675	>	0.818	Diferencias significativas	
<b>3y4</b>	17.649	15.92	igual	1.729	>	0.780	Diferencias significativas	
<b>4y1</b>	15.92	11.515	igual	4.405	>	0.859	Diferencias significativas	
<b>4y5</b>	15.92	11.61	igual	4.31	>	0.843	Diferencias significativas	
<b>4y2</b>	15.92	11.639	igual	4.281	>	0.818	Diferencias significativas	
<b>4y6</b>	15.92	12.974	igual	2.946	>	0.780	Diferencias significativas	
<b>6y1</b>	12.974	11.515	igual	1.459	>	0.843	Diferencias significativas	
<b>6y5</b>	12.974	11.61	igual	1.364	>	0.818	Diferencias significativas	
<b>6y2</b>	12.974	11.639	igual	1.335	>	0.780	Diferencias significativas	
<b>2y1</b>	11.639	11.515	igual	0.124	<	0.818	No hay diferencias significativas	
<b>2y5</b>	11.639	11.61	igual	0.029	<	0.780	No hay diferencias significativas	
<b>5y1</b>	11.61	11.515	igual	0.095	<	0.780	No hay diferencias significativas	

### 8.33. ANEXO G: DATOS OBTENIDOS PARA CADA VARIABLE

### 8.34. ANEXO G1: DATOS OBTENIDOS DE PESO FRESCO

PESO FRESCO					
CODIGO	Peso bandeja	Peso bandeja + forraje	Peso fresco por bandeja (kg)	Peso por kg de semilla	Peso por m2 (kg)
C1	0.4	2.78	2.38	5.950	16.03
C2	0.4	2.87	2.47	6.175	16.63
C3	0.4	2.73	2.33	5.825	15.69
C4	0.4	2.7	2.3	5.750	15.49
CS1	0.4	3	2.6	6.500	17.51
CS2	0.4	2.87	2.47	6.175	16.63
CS3	0.4	2.74	2.34	5.850	15.76
CS4	0.4	2.8	2.4	6.000	16.16
A1	0.4	2.08	1.68	4.200	11.31
A2	0.4	2.11	1.71	4.275	11.52
A3	0.4	1.99	1.59	3.975	10.71
A4	0.4	2.04	1.64	4.100	11.04
AS1	0.4	2.04	1.64	4.100	11.04
AS2	0.4	2.1	1.7	4.250	11.45
AS3	0.4	2.07	1.67	4.175	11.25
AS4	0.4	2.01	1.61	4.025	10.84
M1	0.4	2.04	1.64	4.100	11.04
M2	0.4	2.09	1.69	4.225	11.38
M3	0.4	2.11	1.71	4.275	11.52
M4	0.4	2.02	1.62	4.050	10.91
MS1	0.4	1.84	1.44	3.600	9.70
MS2	0.4	1.91	1.51	3.775	10.17
MS3	0.4	2	1.6	4.000	10.77
MS4	0.4	1.93	1.53	3.825	10.30

## 8.35. ANEXO G2: DATOS OBTENIDOS DE MATERIA SECA

MATERIA SECA					
CODIGO	Peso crisol vacio	Peso muestra	Peso final muestra + crisol	PORCENTAJE DE MATERIA SECA	MATERIA SECA (KG/M2)
C1	17.7692	2.7633	18.1676	14.42	2.31
C2	15.8990	2.7875	16.2868	13.91	2.31
C3	20.4886	2.7467	20.8779	14.17	2.22
C4	17.1689	2.7685	17.5467	13.65	2.11
CS1	27.4506	2.7510	27.8008	12.73	2.23
CS2	19.6673	2.7585	20.0032	12.18	2.03
CS3	16.9409	2.7601	17.2821	12.36	1.95
CS4	19.7374	2.7465	20.0460	11.24	1.82
A1	20.3377	2.7571	20.8631	19.06	2.16
A2	16.8211	2.7899	17.4014	20.80	2.40
A3	19.7421	2.7820	20.2829	19.44	2.08
A4	17.0254	2.7775	17.5733	19.73	2.18
AS1	19.3288	2.7616	19.8213	17.83	1.97
AS2	17.3360	2.7534	17.7811	16.17	1.85
AS3	17.7496	2.7573	18.2045	16.50	1.86
AS4	28.9975	2.7740	29.4563	16.54	1.79
M1	18.8379	2.7662	19.5202	24.67	2.72
M2	19.6065	2.7861	20.3290	25.93	2.95
M3	26.4209	2.7470	27.1223	25.53	2.94
M4	17.7383	2.7334	18.4010	24.24	2.64
MS1	18.9868	2.7780	19.5987	22.03	2.14
MS2	18.4215	2.7486	19.0802	23.96	2.44
MS3	19.8217	2.7576	20.4510	22.82	2.46
MS4	20.3880	2.7674	21.0346	23.36	2.41

## 8.36. ANEXO G3: DATOS OBTENIDOS DE PROTEINA

PROTEINA					
CODIGO	Peso muestra proteina	ML	%N	FACTOR	Porcentaje de Proteina (%)
C1	0.499	3.5	1.95504340	5.83	11.3979
C2	0.4994	3.3	1.84185020	5.83	10.7380
C3	0.501	3.5	1.94723883	5.83	11.3524
C4	0.5024	3.5	1.94181261	5.83	11.3208
CS1	0.504	3.8	2.10156082	5.83	12.2521
CS2	0.505	3.7	2.04220460	5.83	11.9061
CS3	0.5028	3.7	2.05114026	5.83	11.9581
CS4	0.4988	3.7	2.06758886	5.83	12.0540
A1	0.5004	4.2	2.33948838	5.83	13.6392
A2	0.5007	4	2.22674919	5.83	12.9819
A3	0.4981	4.1	2.29433177	5.83	13.3760
A4	0.5004	4	2.22808417	5.83	12.9897
AS1	0.4997	3.8	2.11964510	5.83	12.3575
AS2	0.5016	3.7	2.05604729	5.83	11.9868
AS3	0.5023	3.8	2.10867341	5.83	12.2936
AS4	0.5018	3.8	2.11077452	5.83	12.3058
M1	0.4996	4.4	2.45481716	6.25	15.3426
M2	0.4938	4.4	2.48365057	6.25	15.5228
M3	0.5024	4.3	2.38565549	6.25	14.9103
M4	0.4949	4.4	2.47813023	6.25	15.4883
MS1	0.4973	4.9	2.74641729	6.25	17.1651
MS2	0.503	4.9	2.71529486	6.25	16.9706
MS3	0.4901	4.9	2.78676457	6.25	17.4173
MS4	0.4987	4.8	2.68281529	6.25	16.7676

## 8.37. ANEXO G4: VALORES TRANSFORMADOS A ARCO SENO (PROTEINA)

	<b>REPETICIONES</b>				
<b>Tratamientos</b>	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>	<b>R4</b>	
<b>a1b1</b>	19.733	19.130	19.688	19.661	
<b>a1b2</b>	20.487	20.188	20.233	20.312	
<b>a2b1</b>	21.674	21.117	21.448	21.126	
<b>a2b2</b>	20.583	20.259	20.522	20.540	
<b>a3b1</b>	23.058	23.201	22.714	23.177	
<b>a3b2</b>	24.479	24.327	24.669	24.174	

## 8.38. ANEXO G5: DATOS OBTENIDOS DE CENIZAS

CENIZAS				
CODIGO	Peso crisol vacio	Peso muestra	Peso final muestra + crisol	Porcentaje de cenizas (%)
C1	35.818	2.7866	35.9291	3.987
C2	34.0127	2.7882	34.1227	3.945
C3	37.0609	2.7666	37.1731	4.056
C4	38.6616	2.7972	38.7717	3.936
CS1	39.1035	2.7859	39.2013	3.511
CS2	36.2038	2.7508	36.3259	4.439
CS3	32.0193	2.7533	32.1514	4.798
CS4	30.9715	2.7806	31.0715	3.596
A1	35.9238	2.7823	36.1648	8.662
A2	36.3685	2.7608	36.6163	8.976
A3	34.4998	2.7461	34.7517	9.173
A4	36.0006	2.7477	36.2749	9.983
AS1	36.4841	2.7853	36.7113	8.157
AS2	36.5666	2.7405	36.7774	7.692
AS3	35.8386	2.7869	36.0341	7.015
AS4	38.4301	2.7513	38.6299	7.262
M1	40.3247	2.7281	40.429	3.823
M2	36.6268	2.7512	36.7455	4.314
M3	38.065	2.7786	38.1808	4.168
M4	39.3163	2.7569	39.4242	3.914
MS1	35.1849	2.7667	35.3201	4.887
MS2	19.8262	2.7304	19.9572	4.798
MS3	20.8693	2.7402	21.0149	5.313
MS4	19.1704	2.7518	19.3126	5.168

**8.39. ANEXO G6: VALORES TRANSFORMADOS A ARCO SENO  
(CENIZAS)**

Tratamientos	REPETICIONES			
	R1	R2	R3	R4
<b>a1b1</b>	11.522	11.464	11.624	11.449
<b>a1b2</b>	10.798	12.164	12.656	10.937
<b>a2b1</b>	17.114	17.438	17.627	18.416
<b>a2b2</b>	16.598	16.100	15.353	15.631
<b>a3b1</b>	11.271	11.982	11.783	11.405
<b>a3b2</b>	12.776	12.656	13.323	13.143

**8.40. ANEXO 67: FORMULA UTILIZADA PARA TRANSFORMACION A  
ARCO SENO**

$$ASENO = \sqrt{\frac{\%CENIZAS}{100}} \times \frac{180}{3.1416}$$

**Fuente:** Segnini, 2008

## IX. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- AGRICULTURESRS. (2014). Orígenes y uso del forraje verde hidropónico. Obtenido de:  
<https://agriculturers.com/origenes-y-uso-del-forraje-verde-hidroponico/>
- Amaguaña, F (2012). Evaluación de los forrajes hidropónicos de cebada y trigo en condiciones de fertilización orgánica y mineral en la alimentación de cuyes. *Universidad de Nariño*.  
Recuperado de: <https://core.ac.uk/download/pdf/147430612.pdf>
- AOAC (2012). Official methods of analysis. Washington D.C: Association of Analytical Chemists.  
Recuperado de: <https://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/8246/1/142645.pdf>
- Assefa et al. (2020). EFFECT OF VARIETY AND SEED RATE ON HYDROPONIC MAIZE FODDER BIOMASS YIELD, CHEMICAL COMPOSITION, AND WATER USE EFFICIENCY. *Biotechnology in Animal Husbandry* 36 (1), 87-100. Recuperado de:  
<https://istocar.bg.ac.rs/wp-content/uploads/2020/04/08.BAH-20-1-2-9.12-2019.-Assefa-et-al..pdf>
- Beita et al. (2020). Suplementación de vacas lecheras en producción con un complejo de vitaminas B recubierto1. *Universidad de Costa Rica*. Recuperado de:  
[https://www.mag.go.cr/rev\\_meso/v32n01\\_236.pdf](https://www.mag.go.cr/rev_meso/v32n01_236.pdf)
- Bertsch, G (2019). Cereales alternativos en alimentación animal. *Veterinaria Digital*. Recuperado de: <https://www.veterinariadigital.com/articulos/cereales-alternativos-en-alimentacion-animal/>

- Bravo, L (2017). Las familias trabajan para elevar la producción de leche. *Revista Lideres*.  
Recuperado de: <https://www.revistalideres.ec/lideres/intercultural-familias-cotopaxi-produccion-leche.html>
- Birgi et al. (2017). El forraje verde hidropónico como una alternativa productiva en Patagonia Sur: Productividad y calidad nutricional de dos variedades de cebada (*Hordeum vulgare*). *RIA. Revista de Investigaciones Agropecuarias*, vol. 44, núm. 3, pp. 316-323. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/journal/864/86458368004/html/>
- Casa, C (2008). Efecto de la utilización de forraje verde hidropónico de avena, cebada y maíz y trigo en la alimentación de cuyes. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.  
Recuperado de: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/1724/1/17T0809.pdf>
- Castro et al. (2019). Evaluación de la producción de forraje verde hidropónico de maíz para la alimentación de vacas lechera. *Revista Electrónica de Veterinaria*, 20(2), 1-15.
- Cerillo, et al. (2012). PRODUCCIÓN DE BIOMASA Y VALOR NUTRICIONAL DEL FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO DE TRIGO Y AVENA. *INTERCIENCIA*.  
Recuperado de: <https://www.interciencia.net/wp-content/uploads/2018/01/906-c-BERNAL-8.pdf>
- Chapman et al. (2008). Pasture intake and milk production of dairy cows rotationally grazing on multi-species swards. Elsevier. Vol.10. Pages 1448-1456. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1751731116000331>
- Chavarría et al. (2018). El forraje verde hidropónico (FVH), de maíz como alternativa alimenticia y nutricional para todos los animales de la granja. Universidad Nacional autónoma de Nicaragua. Recuperado de:

<http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/394/3941755005/html/index.html#:~:text=Hay%20que%20recordar%20que%20para,producci%C3%B3n%20del%20forraje%20y%20agua>.

Estrada, C (2022). En el último mes costos de los concentrados y alimentos para animales subieron 5%. Revista LR La Republica. Recuperado de:

<https://www.larepublica.co/empresas/costos-de-los-concentrados-y-alimentos-para-animales-subieron-5-en-el-ultimo-mes-3320264>

Fallas, J (2012). Análisis de varianza. *UCIPFG*. Recuperado de:

[https://www.ucipfg.com/Repositorio/MGAP/MGAP-05/BLOQUE-ACADEMICO/Unidad-2/complementarias/analisis\\_de\\_varianza\\_2012.pdf](https://www.ucipfg.com/Repositorio/MGAP/MGAP-05/BLOQUE-ACADEMICO/Unidad-2/complementarias/analisis_de_varianza_2012.pdf)

FAO (2001). Forraje verde hidropónico manual técnico. *Mejoramiento de la disponibilidad de alimentos en los Centros de Desarrollo Infantil del INNFA*". Recuperado de:

<https://www.fao.org/3/ah472s/ah472s00.pdf>

FAO. (2016). Dairy and dairy products. *OECD FAO*. Recuperado de:

<https://www.fao.org/3/bo101e/bo101e.pdf>

FAO et al. (2018). El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo. *Fomentando la resiliencia climática en aras de la seguridad alimentaria y la nutrición*. FAO, Roma.

Recuperado de: <https://www.fao.org/3/I9553ES/i9553es.pdf>

FAO. (2019). Milk and milk products. *Animal production and Health division*. Recuperado de:

<https://www.fao.org/dairy-production-products/products/en/>

FAO (2021). La importancia de la alimentación en el ganado vacuno. *Revista con sentido Vacuno*.

Recuperado de: <https://www.blog.consentidovacuno.es/posts/la-importancia-de-la-alimentacion-en-el-ganado-vacuno.aspx>

FAO (2023). Composición de la leche. *Portal lácteo*. Recuperado de: <https://www.fao.org/dairy-production-products/products/composicion-de-la-leche/es/>

- García, E. (2018). Caracterización y uso de la cebada (*Hordeum vulgare*) en la alimentación animal. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 29(3), 1153-1163. Disponible en: [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1682-34192018000301153&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1682-34192018000301153&lng=es&tlng=es).
- González et al. (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. *Universidad Nacional Agraria Facultad de ciencia animal*. Recuperado de: <https://repositorio.una.edu.ni/2777/1/tnf04g643t.pdf>
- Gresta, F., Lombardo, G. M., & Siracusa, L. (2013). Hydroponic fodder production for dairy cattle: Nutritive value of wheat and barley sprouts. *Italian Journal of Animal Science*, 12(3), e52. doi: 10.4081/ijas.2013.e52
- Heublein et al. (2017). Impact of cow strain and concentrate supplementation on grazing behaviour, milk yield and metabolic state of dairy cows in an organic pasture-based feeding system. *National Library of medicine*. Recuperado de: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5488762/>
- Hydroenvironment. (2017). Que es el forraje verde hidropónico? Obtenido de [http://hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main\\_page=page&id=125-127](http://hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=page&id=125-127)
- Hills et al. (2015). An evaluation of the likely effects of individualized feeding of concentrate supplements to pasture-based dairy cows. *Tasmanian Institute of Agriculture*. Recuperado de: [https://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302\(15\)00015-6/pdf](https://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302(15)00015-6/pdf)
- Huang et al. (2020). Content analysis of vitamins, dietary fibers and amino acids in a wide collection of barley (*Hordeum vulgare* L.) from Tibet, China. *National Library of Medicine*. Recuperado de: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7392089/>

- INEN (2020). La producción de leche en Ecuador. *Veterinaria digital*. Recuperado de:  
<https://www.veterinariadigital.com/articulos/la-produccion-de-leche-en-ecuador/>
- Escobosa et al. (2009). Producción de leche con ganado bovino. *Facultad de medicina veterinaria y zootecnia*. Recuperado de:  
[http://www.ucv.ve/fileadmin/user\\_upload/facultad\\_agronomia/Requerimientos\\_de\\_Vacunos\\_de\\_Leche.pdf](http://www.ucv.ve/fileadmin/user_upload/facultad_agronomia/Requerimientos_de_Vacunos_de_Leche.pdf)
- INTAGRI (2017). Solución nutritiva y su monitoreo mediante análisis químico completo. *Serie Horticultura Protegida*. Núm. 27. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 3 p.  
Recuperado de <https://www.intagri.com/articulos/horticultura-protegida/solucion-nutritiva-y-su-monitoreo-mediante-analisis-quimico-completo>
- Jiménez et al. (2020). Producción de forrajes de avena y trigo bajo sistemas hidropónico y convencional. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*. Recuperado de:  
[http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0122-87062020000300013&script=sci\\_arttext&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0122-87062020000300013&script=sci_arttext&tlng=es)
- Juárez et al. (2013). Producción de forraje verde hidropónico. *Revista Nueva época* año 4. No.13.  
Recuperado de:  
<http://dspace.uan.mx:8080/bitstream/123456789/2126/1/Produccion%20de%20forraje%20verde%20hidroponico.pdf>
- Karaki (2011). Utilization of treated sewage wastewater for green forage production in a hydroponic system. *Food agric*. 23(1) 80-94. Recuperado de:  
<https://www.ejfa.me/index.php/journal/article/view/1058/773>
- Leng, R. A. (2015). The potential of feeding supplements to increase the productivity of grazing livestock. *Animal Production Science*, 55(7), 783-798. doi: 10.1071/AN14574. Recuperado

de:

[http://204.9.55.82/pub/misc/cd3wd/1004/\\_ag\\_dairy\\_cows\\_feeding\\_unfao\\_en\\_lp\\_105810\\_.pdf#page=121](http://204.9.55.82/pub/misc/cd3wd/1004/_ag_dairy_cows_feeding_unfao_en_lp_105810_.pdf#page=121)

Liu, K., Chen, Y., Min, B., & Wang, Z. (2017). Nutrient content and microbiological safety of hydroponic sprouts grown using reclaimed water. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(11), 3664-3670. doi: 10.1002/jsfa.8272

Lomeli et al. 2000. Evaluación de tres niveles de fertilización en forraje verde hidropónico de cebada. *Universidad Politécnica Salesiana*. Recuperado de:

<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/8154/1/UPS-CT004907.pdf>

López, L (2005). "Producción de Forraje Verde Hidropónico". *Centro de investigación en química aplicada*. Recuperado de:

<https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1025/403/1/Luis%20Angel%20Lopez%20Martinez.pdf>

Maldonado et al. (2013). Nutrición mineral de forraje verde hidropónico. *Rev. Chapingo Ser.Hortic vol.19 no.2*. Recuperado de:

[https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1027-152X2013000200007#:~:text=La%20especie%20es%20otro%20factor,maíz%20y%209.17%20%25%20en%20arroz](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1027-152X2013000200007#:~:text=La%20especie%20es%20otro%20factor,maíz%20y%209.17%20%25%20en%20arroz)

Martínez et al. (2012). Determinación de proteínas de un alimento por el método Kjeldahl.

Valoración con un ácido fuerte. *Universidad Politécnica de Valencia*. Recuperado de:

<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/16338/Determinaci%C3%B3n%20de%20proteinas.pdf>

Mejía et al. (2020). Exploración para la producción de forraje verde hidropónico de maíz y sorgo para la alimentación de ganado lechero: *Revisión de Literatura. Escuela Agrícola*

*Panamericana Zamorano*. Recuperado de:

<https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/580adc07-0cef-4213-812a-66450d2a742a/content>

Meléndez et al. (2019). Avances sobre nutrición y fertilidad en ganado lechero. *DIALNET*.

Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6130153>

MICROTECH (2023). Bioestimulante de crecimiento. Microtech aprendiendo de la naturaleza.

Recuperado de: <https://www.microtech.bio>

Morales et al. (2019). Urea (NBPT) una alternativa en la fertilización nitrogenada de cultivos

anuales. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. Volumen 10, numero 8. Recuperado de:

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7230619>

Naik et al. (2016). Effect of feeding hydroponics maize fodder replacing maize of concentrate

mixture partially on digestibility of nutrients and milk production in lactating cows. *ICAR-*

*Research Complex for Goa, Old Goa, Goa 403 402 Indi*. Recupérate de:

<https://krishi.icar.gov.in/jspui/bitstream/123456789/10355/3/EffectoffeedingHMFreplacingmaizeofCMpartiallyondigestibilityofnutrientsandmilkproductioninlactatingcows.pdf>

Narvaez et al. (2022). Forraje verde hidropónico y organopónico de maíz como suplemento

nutricional para ovinos del Piedemonte Amazónico. *RIAA, ISSN-e 2145-6453, Vol 13*.

Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8202373>

Núñez et al. (2021). Forrajes hidropónicos: una alternativa para la alimentación de animales

domésticos. *Journal of the Selva Andina Animal Science*. Vol 8. Recuperado de:

<http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/198/1982165011/html/index.html>

Ordoñez et al. (2018). Soluciones nutritivas para el germinado hidropónico de *Hordeum vulgare*.

*Revista de investigaciones veterinarias del Perú*. Recuperado de:

[http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1609-91172018000200001](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1609-91172018000200001)

- Orellana, E (2015). Evaluación de tres niveles de fertilización en forraje verde hidropónico de cebada. Universidad Politécnica Salesiana. Recuperado de:  
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/8154/1/UPS-CT004907.pdf>
- Pérez-Montoya, A., & Romero-Romero, S. (2019). Forraje verde hidropónico: una alternativa de alimentación para el ganado. REDVET. Revista electrónica de veterinaria, 20(10), 1-18.
- Ramírez et al. (2017). Efecto de la nutrición mineral sobre la producción de forraje verde hidropónico de maíz. Agronomía Costarricense, vol. 41, núm. 2, pp. 79-91, 2017.  
Recuperado de:  
<https://www.redalyc.org/journal/436/43654191005/html/#:~:text=La%20aplicación%20de%20solución%20nutritiva%20no%20afectó%20la%20composición%20mineral,solución%20nutritiva%20como%20fuente%20fertilizante>
- Restrepo, L. F., López, A. M., & Murgueitio, E. (2010). El uso de suplementos alimenticios para la producción de leche en zonas tropicales. Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria, 11(2), 143-152
- Rivera et al. (2010). Producción de forraje verde hidropónico de maíz (*Zea mays* L.) en condiciones de iluminación deficiente. Universidad de los Andes. Recuperado de:  
<https://ve.scielo.org/pdf/zt/v28n1/art05.pdf>
- Romero et al. (2009). Producción de Forraje Verde Hidropónico y su Aceptación en Ganado Lechero. *Acta Universitaria*. Recuperado de:  
<https://www.redalyc.org/pdf/416/41611810002.pdf>
- Rouyaka et al. (2022). Hydroponic Fodder Production: An Alternative Solution for Feed Scarcity. *Ege University Agriculture Faculty*. Recuperado de:

[https://www.researchgate.net/publication/363515955\\_Hydroponic\\_Fodder\\_Production\\_An\\_Alternative\\_Solution\\_for\\_Feed\\_Scarcity](https://www.researchgate.net/publication/363515955_Hydroponic_Fodder_Production_An_Alternative_Solution_for_Feed_Scarcity)

Salvador et al. (2022). Efecto de la aplicación de soluciones nutritivas en la calidad bromatológica del forraje verde hidropónico de *Avena sativa* y *Hordeum vulgare*. *Programa mexicano del Carbono*. Recuperado de: <https://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v40/2395-8030-tl-40-e996.pdf>

Morales, D (2020). Producción de forrajes de avena y trigo bajo sistemas hidropónico y convencional. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*. Recuperado de: [http://www.scielo.org.co/pdf/ccta/v21n3/es\\_0122-8706-ccta-21-03-1386.pdf](http://www.scielo.org.co/pdf/ccta/v21n3/es_0122-8706-ccta-21-03-1386.pdf)

Segnini, S (2008). Transformación de datos. *Fundamentos de bioestadística*. Recuperado de: [http://webdelprofesor.ula.ve/ciencias/segninis/Docencia/ANEXO\\_B\\_Transformacion\\_2008.pdf](http://webdelprofesor.ula.ve/ciencias/segninis/Docencia/ANEXO_B_Transformacion_2008.pdf)

Sottysiak et al. (2010). The effects of social hierarchy in a dairy cattle herd on milk yield. *Polish journal of natural sciences*. Recuperado de: [http://www.uwm.edu.pl/polish-journal/sites/default/files/issues/articles/soltysik\\_and\\_nogalski\\_2010.pdf](http://www.uwm.edu.pl/polish-journal/sites/default/files/issues/articles/soltysik_and_nogalski_2010.pdf)

Spínola, M (2013). Análisis exploratorio de los datos. Estadística Básica. Recuperado de: [https://www.ucipfg.com/Repositorio/MGAP/MGAP-05/BLOQUE-ACADEMICO/Unidad-3/Analisis\\_exploratorio\\_de\\_los\\_datos.pdf](https://www.ucipfg.com/Repositorio/MGAP/MGAP-05/BLOQUE-ACADEMICO/Unidad-3/Analisis_exploratorio_de_los_datos.pdf)

Tubón, M. (2013). “Utilización de forraje hidropónico más balanceado comercial como alimento en la crianza de cuyes a partir de la tercera hasta la decima tercera semana de edad”.

Universidad Técnica de Ambato. Recuperado de:

<https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/6480/1/Tesis%2008%20Medicina%20Veterinaria%20y%20Zootecnia%20-CD%20196.pdf>

Vargas, C (2008). Comparación productiva de forraje verde hidropónico de maíz, arroz y sorgo negro forrajero. *Agronomía Mesoamericana*. Recuperado de:

<https://www.redalyc.org/pdf/437/43711425008.pdf>

Vélez, A (2020). Dosis de zeatina como estimulante de crecimiento y su efecto en el maíz forrajero hidropónico. Escuela superior politécnica agropecuaria de Manabí. Recuperado de:

<https://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/1239/1/TTMZ4.pdf>