

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMÍA
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**



TESIS DE GRADO

**“EFECTO DEL ABONO ORGÁNICO LÍQUIDO AEROBICO EN VICIA
VILLOSA (*Vicia velluda*), PARA LA PRODUCCIÓN DE FORRAJE
BIOHIDROPONICO EN EL CENTRO EXPERIMENTAL DE COTA COTA”**

ISMAEL DEIVETH POMA YUJRA

LA PAZ – BOLIVIA

2020

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMÍA
CARRERA INGENIERIA AGRONÓMICA

**“EFECTO DEL ABONO ORGÁNICO LÍQUIDO AEROBICO EN VICIA
VILLOSA (*Vicia velluda*), PARA LA PRODUCCIÓN DE FORRAJE
BIOHIDROPONICO EN EL CENTRO EXPERIMENTAL DE COTA COTA”**

**TESIS DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO
PARCIAL PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO AGRÓNOMO**

ISMAEL DEIVETH POMA YUJRA

Asesor (es):

Ing. MSc. Rubén Tallacagua Terrazas

Ing. Ph. D. Eduardo Chilon Camacho

Tribunal Examinador

Ing. MSc. Carlos López Blanco

Ing. MSc. Marcelo Tarqui Delgado

Ing. MSc. Bernardo Ticona Contreras

Aprobado:

Presidente Tribunal Examinador:

LA PAZ - BOLIVIA

2020

Dedicatoria

Dedico este trabajo a Dios por haberme dado la fortaleza, sabiduría, siendo una guía en mi camino y por darme la capacidad de lograr mis objetivos.

A mi padre Simón Poma Escobar, que siempre me apoyo incondicionalmente tanto en la parte moral y económicamente para lograr ser un profesional. Por hacer toda clase de sacrificios y trabajar de madrugada, para que nunca me falte nada. Gracias papá, por enseñarme a mirar adelante sin temor.

A mi madre Lurdes Yujra, por darme la vida, por ser una excelente mama estoy muy agradecido contigo, pues eres como un ángel para mí, porque has estado apoyándome en cada etapa de mi vida con tu amor y tus consejos.

A mi hermana Masiel Guissela, por apoyarme, por soportarme, por darme tú comprensión; me siento muy afortunado de tenerte y saber que estarás allí cuando más te necesite

A toda mi familia que con su ejemplo de vida de cada uno de ellos me ha permitido seguir adelante, porque he visto en todos ustedes que el esfuerzo da sus frutos. Y por brindarme sus consejos invaluable que me servirán toda una vida.

A mi querida tía Paulina Poma Escobar que fue como una mama para mí, quien me dio todo su amor, consejos y apoyo incondicional en toda mi vida, te has convertido en un ángel para mí, cuidándome desde donde estas.

Agradecimientos

En primer lugar, a Dios por darme la vida y su bendición para lograr mis metas.

Mi agradecimiento eterno a mi Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía, Carrera de Ingeniería Agronómica, la cual me abrió sus puertas para formarme profesionalmente.

Al Centro Experimental de Cota Cota – Universidad Mayor de San Andrés, por haberme facilitado y brindado sus predios durante todo el tiempo de la realización de este trabajo de investigación.

A mis amados padres y a toda mi familia que estuvieron a mi lado en las buenas y en las malas, apoyándome con todos sus afectos.

A mis asesores Ing. MSc. Rubén Tallacagua Terrazas e Ing. Ph. D. Eduardo Chilon Camacho, personas de gran sabiduría quienes me apoyaron, me ayudaron, me aconsejaron para llevar a cabo esta investigación, concluyéndola de manera satisfactoria. Hoy que culmino esta etapa me siento muy agradecido con ustedes porque también fueron mis docentes en el transcurso de mi carrera, inculcándome todos sus conocimientos, valores y enseñanzas, que me sirvieron de mucho para superarme cada día más.

A mis revisores por brindarme su tiempo, paciencia y conocimiento, que me sirvió de mucho para la finalización de esta investigación.

CONTENIDO

	Pág.
ÍNDICE GENERAL	I
ÍNDICE DE CUADROS.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VII
ÍNDICE DE ANEXOS.....	VIII
RESUMEN.....	IX
SUMMARY	XI

ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Justificación	2
1.2. Objetivos.....	3
1.2.1. Objetivo general.....	3
1.2.2. Objetivos específicos	3
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	4
2.1. Abonos orgánicos	4
2.1.1. Abonos líquidos	4
2.1.1.1. Abonos orgánicos líquidos aeróbicos	4
2.1.1.1.1. AOLA	4
2.1.1.1.2. Aolificación.....	5
2.1.1.1.3. Potencialidad del AOLA	5
2.2. Cultivo de la vicia	5
2.2.1. Taxonomía.....	6
2.2.2. Especies	6
2.2.3. Semilla	6
2.2.4. Raíz	6
2.2.5. Tallos	7
2.2.6. Hojas	7
2.2.7. Flores.....	7

2.2.8. Frutos	8
2.2.9. Fases fenológicas del cultivo	8
2.2.10. Germinación.....	8
2.2.11. Siembra	8
2.2.12. Fecha de siembra	9
2.2.13. Cosecha de semillas	9
2.2.14. Usos	9
2.2.15. Sanidad.....	10
2.3. Hidroponía	10
2.4. Biohidroponía	10
2.5. Forraje verde hidropónico	11
2.5.1. Ventajas y desventajas del forraje hidropónico	12
2.5.1.1. Ventajas	12
2.5.1.2. Desventajas	12
2.5.2. Fisiología de crecimiento del forraje hidropónico	13
2.5.2.1. Absorción de agua	13
2.5.2.2. Movilización de nutrientes	14
2.5.2.3. Crecimiento y diferenciación	14
2.5.2.4. Fotosíntesis.....	15
2.6. Factores a considerar en la producción de forraje hidropónico.....	16
2.6.1. Factores ambientales.....	16
2.6.1.1. Iluminación	16
2.6.1.2. Temperatura.....	17
2.6.1.3. Humedad	17
2.6.1.4. Aereación	18
2.6.2. Densidad de siembra	18
2.6.3. Calidad de la semilla	18
2.6.4. El riego	19
2.6.4.1. Calidad del agua para el riego.....	19
2.6.5. Conductividad eléctrica (CE).....	20
2.7. El forraje verde hidropónico en la alimentación animal	20

2.8.	Análisis bromatológico del forraje verde hidropónico.....	21
2.8.1.	Proteína cruda	21
2.8.2.	Materia seca	22
2.8.3.	Ceniza	22
2.8.4.	Materia orgánica	23
2.9.	El invernadero	23
2.9.1.	Requerimiento del sitio	24
2.9.1.1.	Terreno	24
2.9.1.2.	Ubicación	24
2.9.1.3.	Orientación.....	24
2.9.1.4.	Viento.....	25
2.9.1.5.	Luminosidad.....	26
2.9.1.6.	Altura sobre el nivel del mar	26
2.9.1.7.	Puertas.....	27
2.9.1.8.	Ventanas.....	27
2.9.1.9.	Estructura de soporte	27
2.9.1.10.	Contenedores para la semilla	29
2.10.	Costos para la producción de forraje verde hidropónico.....	29
2.10.1.	Costos fijos de inversión	30
2.10.2.	Costos variables	30
3.	LOCALIZACIÓN	31
3.1.	Ubicación geográfica.....	31
3.2.	Características generales.....	31
3.2.1.	Clima	31
4.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	33
4.1.	Materiales	33
4.1.1.	Material vegetal y biológico.....	33
4.1.2.	Equipos y materiales.....	33
4.1.3.	Material de gabinete	33
4.2.	Método.....	33
4.2.1.	Preparación del ambiente	33

4.2.2. Preparación de bandejas	33
4.2.3. Lavado y desinfección de semillas.....	34
4.2.4. Etapa de imbibición.....	34
4.2.5. Densidad y siembra en bandejas	34
4.2.6. Proceso de pre germinación (fase oscura).....	34
4.2.7. Fase luminosa	34
4.2.8. Toma de datos climáticos	35
4.2.8.1. Registro de temperatura.....	35
4.2.8.2. Registro de humedad relativa.....	36
4.2.9. Riego y fertilización orgánica con AOLA	36
4.2.10. Cosecha y pesaje	37
4.2.11. Análisis bromatológico	37
4.2.12. Evaluación del desarrollo forrajero	37
4.3. Diseño experimental	37
4.3.1. Factor de estudio	38
4.3.2. Croquis del experimento	38
4.4. Variables de respuesta.....	39
4.4.1. Variables agronómicas y de calidad.....	39
4.4.1.1. Altura de planta	39
4.4.1.2. Evaluación nutricional	39
4.4.2. Rendimiento kg/m ²	39
4.4.3. Evaluación económica parcial.....	39
4.4.3.1. Beneficio bruto (BB)	40
4.4.3.2. Beneficio neto (BN)	40
4.4.3.3. Relación beneficio y costo (B/C).....	40
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	42
5.1. Evaluación del comportamiento agronómico y calidad del forraje	42
5.1.1. Análisis de varianza sobre la altura de planta	42
5.1.2. Evaluación de la calidad del forraje.....	44
5.1.2.1. Contenido de proteína cruda	44
5.1.2.2. Contenido de materia seca.....	45

5.1.2.3.	Contenido de ceniza.....	46
5.1.2.4.	Contenido de materia orgánica	47
5.1.3.	Análisis de calidad del fertilizante orgánico.....	48
5.2.	Análisis de productividad del forraje biohidropónico	50
5.2.1.	Análisis de varianza sobre el rendimiento de forraje	50
5.3.	Evaluación económica parcial en la producción del forraje biohidropónico ..	53
5.3.1.	Ajuste del rendimiento	53
5.3.2.	Numero de campañas por año.....	54
5.3.3.	Beneficio bruto.....	54
5.3.4.	Costos totales	55
5.3.5.	Beneficio neto	56
5.3.6.	Relación beneficio/costo	57
6.	CONCLUSIONES	58
7.	RECOMENDACIONES.....	60
8.	BIBLIOGRAFÍA.....	61
9.	ANEXOS.....	69

ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Dosis de semilla según especie	18
Cuadro 2. Dosis de forraje verde hidropónico según especie animal	21
Cuadro 3. Porcentaje de materia seca según el tipo de forraje	22
Cuadro 4. ANVA para la altura del forraje a los 20 días	42
Cuadro 5. Prueba Duncan de altura de planta (cm)	43
Cuadro 6. Resultados obtenidos en laboratorio	44
Cuadro 7. Análisis físico – químico del abono orgánico AOLA	49
Cuadro 8. ANVA del peso fresco de forraje a los 20 días	50
Cuadro 9. Prueba Duncan del peso fresco de la planta.....	51
Cuadro 10. Rendimiento del forraje biohidropónico	52
Cuadro 11. Rendimiento ajustado	54
Cuadro 12. Beneficio bruto.....	55
Cuadro 13. Costos totales por tratamiento	55
Cuadro 14. Beneficio neto para la producción de forraje biohidropónico	66
Cuadro 15. Beneficio/costo (Bs/m ²).....	66

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Orientación de una carpa solar.....	25
Figura 2. Efecto Venturi de circulación del aire durante la ventilación Natural.....	26
Figura 3. Estante para producción de forraje.....	28
Figura 4. Detalle de piso de estructura de soporte	29
Figura 5. Localización del lugar de estudio.....	31
Figura 6. Temperaturas máximas y mínimas registradas durante el desarrollo del forraje.....	35
Figura 7. Humedad registrada en el ambiente durante la investigación.....	36
Figura 8. Croquis del experimento.....	39
Figura 9. Altura del forraje a los 20 días por tratamiento	43
Figura 10. Contenido de proteína cruda por tratamiento	45
Figura 11. Contenido de materia seca por tratamiento	46
Figura 12. Contenido de ceniza por tratamiento	47
Figura 13. Contenido de materia orgánica por tratamiento	48
Figura 14. Rendimiento del forraje por tratamiento.....	53

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO 1. Resultado del análisis físico – químico del abono AOLA	70
ANEXO 2. Resultados análisis bromatológico del forraje	71
ANEXO 3. Fotografías del experimento	79
ANEXO 4. Proceso de obtención del abono orgánico líquido aeróbico AOLA.....	81
ANEXO 5. Registro de temperatura en el ambiente de producción.....	82
ANEXO 6. Registro de humedad relativa en el ambiente de producción.....	83
ANEXO 7. Peso de materia verde en kg/m ²	84
ANEXO 8. Datos de la altura de planta	85
ANEXO 9. Rendimientos de distintas variedades de vicia a campo abierto	86
ANEXO 10. Análisis físico – químico de distintos abonos orgánicos de AOLA	87

RESUMEN

La presente investigación se realizó en el Centro Experimental de Cota Cota, perteneciente a la Facultad de Agronomía de la Universidad Mayor de San Andrés del departamento de La Paz.

Con el objetivo de evaluar dosis de abono orgánico líquido aeróbico (AOLA) con dos variedades, para la producción de forraje de *Vicia villosa*. Se utilizó el Diseño Completamente al Azar (DCA), con tres dosis de AOLA 10%, 20%, 30% y un testigo (con solo agua) sobre dos variedades de *Vicia villosa*.

Las dos variedades de *Vicia villosa* fueron la dasycarpa y roth, las cuales se desinfecto y sometidas a remojo para su imbibición, para luego ser pesadas y sembradas en bandejas de 0,086 m² con una densidad de 2,8 kg/m², el riego con el fertilizante se lo hizo tres veces al día, en horarios de 08:00 am, 12:00 pm y a las 17:00 pm, la cosecha del forraje se lo realizo a los 20 días.

Los resultados obtenidos indican que la mejor dosis es con 30% de AOLA presentando una altura promedio de 22,93 cm, seguido de la dosis 2 con 20,66 cm y dosis 1 con 20,00 cm. Y finalmente el tratamiento testigo al que no se le aplico ninguna dosis de AOLA obtuvo una altura menor al resto con 18,40 cm.

Referente al rendimiento el tratamiento T5 obtuvo en materia fresca 14,04 kg/m² en el análisis de varianza, existiendo diferencias significativas en la aplicación, dosis de AOLA.

Sobre la calidad del forraje verde hidropónico de *Vicia villosa*, no presentaron diferencias significativas en el contenido de proteína cruda con una mínima variación de 50 a 53% para ambas variedades. En el contenido de materia orgánica, T1 y T7 presentaron un porcentaje del 93% en relación a T4 y T6 con un 91%. Para el contenido de ceniza los tratamientos T4 y T6 presentaron un 9 % en relación a T1 y T7 con un 7%. Respecto a la materia seca los tratamientos T2 y T7 presentaron un 14% en comparación con T3 con un 11%.

En base al análisis económico parcial, el beneficio costo calculado se llegó a concluir que el tratamiento T5 es el más rentable con una ganancia de 0,34 Bs por cada boliviano invertido.

SUMMARY

The present investigation was carried out in the Experimental Center of Cota Cota, belonging to the Faculty of Agronomy of the Universidad Mayor de San Andrés in the department of La Paz.

With the objective of evaluating doses of aerobic liquid organic fertilizer (AOLA) with two varieties, for the production of *Vicia villosa* forage. The Completely Random Design (DCA) was used, with three doses of AOLA 10%, 20%, 30% and a control (with only water) on two varieties of *Vicia villosa*.

The two varieties of *Vicia villosa* were *dasycarpa* and *roth*, which were disinfected and subjected to soaking for imbibition, to then be weighed and sown in trays of 0.086 m² with a density of 2.8 kg/m², irrigation with the Fertilizer was done three times a day, at 8:00 am, 12:00 pm and at 5:00 pm, the forage harvest was done after 20 days.

The results obtained indicate that the best dose is with 30% AOLA presenting an average height of 22.93 cm, followed by dose 2 with 20.66 cm and dose 1 with 20.00 cm. And finally, the control treatment to which no dose of AOLA was applied obtained a lower height than the rest with 18.40 cm.

Regarding the performance, the T5 treatment obtained 14.04 kg / m² in fresh matter in the analysis of variance, with significant differences in the application, dose of AOLA.

Regarding the quality of the hydroponic green forage of *Vicia villosa*, there were no significant differences in the crude protein content with a minimum variation of 50 to 53% for both varieties. In the content of organic matter, T1 and T7 presented a percentage of 93% in relation to T4 and T6 with 91%. For the ash content, treatments T4 and T6 presented 9% in relation to T1 and T7 with 7%. Regarding dry matter, treatments T2 and T7 presented 14% compared to T3 with 11%.

Based on the partial economic analysis, the calculated cost benefit was concluded that the T5 treatment is the most profitable with a profit of 0.34 Bs for each Bolivian invested.

1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas agrícolas en el altiplano y valles de Bolivia han experimentado muchos cambios que ponen riesgo la estabilidad en la producción de forrajes para el alimento del ganado, debido al cambio climático, provocando variaciones en el régimen térmico e hídrico que alteran la productividad. Así como también se hace riesgosa la conservación de forrajes en forma de heno o ensilaje, ya que estos están expuestos al aire libre y no se cuenta con almacenes para conservarlos debido al ambiente externo variante en cada época del año (con: lluvias, nevadas o granizadas, sequías, heladas, vientos bruscos, entre otros), haciendo que el forraje pierda en cierta forma su valor nutricional y calidad, importante en la alimentación animal.

Una alternativa de afrontar este problema es a través de alternativas de producción, como el forraje hidropónico o hidroforraje el cual es aplicable independientemente a cualquier escala de producción que se desea.

El forraje verde hidropónico (FVH) se produce en ausencia del suelo y en condiciones protegidas donde se controlan algunas variables ambientales (como ser: luz, temperatura y humedad). Usualmente se utilizan semillas de maíz, avena, cebada, trigo y sorgo. Con esta producción se obtiene en corto tiempo un alimento de alta sanidad y calidad nutricional para el ganado, en cualquier época del año y localidad geográfica (Porfirio *et al.*, 2013).

Asimismo, se da poca importancia a los abonos orgánicos líquidos en cualquier sistema productivo, en nuestro caso la producción de forraje hidropónico, ya que según FEDEGAN (2017) estos tipos de abonos son ricos en nitrógeno amoniacal, en hormonas o estimuladoras del crecimiento vegetal, vitaminas y aminoácidos, ya que estas sustancias logran regular el metabolismo vegetal. Los fertilizantes orgánicos líquidos son beneficiosos para las plantas, son más fáciles de usar que los productos de abonos sólidos porque alimenta a la planta directamente al regarla y no se tendrá que trabajar en la tierra (AGRICULTURERS, 2014).

Existen 150 especies del género *Vicia*, ya sean anuales o perennes. De las anuales hay varias especies de valor forrajero, pero pocas tienen valor comercial. Todas ellas son de

origen euroasiático. La mayoría son semivolubles, de tallos frágiles. Tienen hojas compuestas con zarcillos terminales, son plantas autógamas, con flores de color azulado integradas en racimo. Las vicias se adaptan a suelos ácidos y climas de fríos a templados (Maddaloni, 1993).

1.1. Justificación

La preocupación constante de los productores es producir forraje de calidad nutritiva y en cantidad para sus animales. Para ello han empleado diferentes técnicas como la fertilización química, enmiendas agrícolas entre otros, sin embargo, estas alternativas se vuelven insostenibles en lo económico, ambiental y productivo. Ya que cada vez más se requieren los fertilizantes sintéticos en los campos para ser productivos, a esto se aumenta la presencia de plagas y enfermedades, dependiendo de estos insumos agrícolas de síntesis química. A esto viene acompañado los fenómenos climáticos.

La producción de forraje biohidropónico es una alternativa más, como alimento para el ganado animal, utilizando el abono orgánico líquido aeróbico en remplazo de los fertilizantes químicos, el cual es más amigable y saludable para el medio ambiente, para el animal. Esta técnica, utiliza menos agua para producir los mismos rendimientos que las especies forrajeras cultivadas a campo abierto. De esta forma se puede satisfacer el requerimiento alimenticio que necesita el ganado animal (conejos, cerdos, cuyes, ovejas y vacas), ya sea para producción de carne y/o leche.

En investigaciones realizadas, referente a forrajes hidropónicos son con cereales o gramíneas (avena, maíz, cebada, sorgo), y no así con leguminosas como la alfa alfa, arveja forrajera, trébol blanco o rojo y vicia villosa. Por lo expuesto la presente investigación evaluó el “Efecto del abono orgánico líquido aeróbico en *Vicia villosa*, bajo la producción de forraje biohidropónico en el Centro Experimental de Cota Cota de la Facultad de Agronomía UMSA con la finalidad de obtener un alimento orgánico, adecuado y disponible en épocas críticas donde se tiene limitaciones disponibles de agua y de tierras laborables y que a la vez son afectadas por los fenómenos climáticos.

Si bien el termino biohidroponía es un concepto nuevo, podemos referirnos a ella como una nueva técnica de cultivo, basada en la producción orgánica sin suelo. El método es

más laborioso que la hidroponía normal, sin embargo, se puede obtener muchos beneficios nutricionales.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Evaluar el efecto de abono orgánico líquido aeróbico en *Vicia villosa* bajo producción biohidropónico, en el Centro Experimental de Cota Cota.

1.2.2. Objetivos específicos

- Evaluar el comportamiento agronómico y la calidad del forraje de las variedades de *Vicia villosa* bajo los tratamientos estudiados.
- Determinar el rendimiento productivo de *Vicia villosa* bajo los tratamientos aplicados.
- Evaluar económicamente parcial la producción de *Vicia villosa*, bajo los diferentes tratamientos.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Abonos orgánicos

Los abonos orgánicos, son aquellos productos que se adquieren u obtienen después de un determinado proceso de descomposición de la materia orgánica; en este proceso los microorganismos son de vital importancia, porque son quienes descomponen la materia orgánica, de tal manera que la planta pueda usarlo para su nutrición (USAID, 2010).

La agricultura orgánica está basada en la ausencia de plaguicidas y el uso de fertilizantes químicos, pero si se aplica practicas fitosanitarias y de producción a partir de procesos y controles naturales y biológicos para obtener mayor calidad nutricional en la producción, con el fin de preservar el ecosistema (Rosas, 2003).

2.1.1. Abonos líquidos

Los abonos líquidos (biofermentos, bioles, entre otros) son aquellas sustancias o productos orgánicos obtenidos mediante procesos de fermentación natural aeróbica o anaeróbica, a partir de remanentes animales (boñiga fresca, cerdaza o gallinaza) y vegetales mezclados con agua, suero, melaza y microorganismos (Garro, 2016).

2.1.1.1. Abonos orgánicos líquidos aeróbicos

Los abonos orgánicos líquidos aeróbicos se obtienen a partir de sustratos orgánicos pre-humificados (como ser el compost, humus de lombriz, entre otros), los cuales son sujetos a un determinado proceso en presencia de oxígeno, para la obtención del abono orgánico líquido. El abono utilizado en esta investigación fue proporcionado por el Laboratorio de Biofertilidad de Suelos, de la materia de Fertilidad de Suelos de la carrera de Ingeniería Agronómica perteneciente a la Facultad de Agronomía de la Universidad Mayor de San Andrés, las características de calidad de este abono se encuentran en el ANEXO 1.

2.1.1.1.1. AOLA

El AOLA es un abono orgánico liquido aeróbico, obtenido de la transformación microbial con presencia de oxígeno, de sustratos pre-humificados tal es el caso del compost, humus, estiércol fermentado y otros tipos de abonos orgánicos sólidos. El proceso metabólico de sustancias orgánicas nutritivas (libres de patógenos extraños), debido a la

intervención y reproducción de bacterias y otros microorganismos en un medio aeróbico, mejoran en la producción de cultivos, la fertilidad de los suelos y en la biorecuperación de suelos contaminados (Chilon, 2015).

2.1.1.1.2. Aolificación

Es el proceso orgánico microbiológico, en la cual se obtienen abonos orgánicos líquidos en condiciones aeróbicas (en presencia de oxígeno), en la cual las bacterias y otros microorganismos realizan la biosíntesis de compuestos, ácidos orgánicos y enzimas de sustancias presentes en sustratos pre-humificados como el compost, humus de lombriz, estiércol descompuesto (Chilon, 2015).

2.1.1.1.3. Potencialidad del AOLA

Según Chilon (2015). El abono orgánico líquido aeróbico, por sus cualidades y características físicas, químicas y biológicas presenta un alto potencial para la producción agrícola, en forma de abono foliar, o riego-orgánico, también actúa como una fuente de sanidad vegetal, y como reforzador orgánico para la biorecuperación de suelos.

2.2. Cultivo de la vicia

La vicia es una leguminosa anual con una alta calidad forrajera, de ciclo otoño – invierno – primavera. Presenta zarcillos por ende puede crecer trepándose a otras plantas. Pueden aportar con nitrógeno al suelo a través de sus nódulos que poseen en la raíz. Así como también pueden adaptarse a diferentes situaciones ambientales (Curiaa, 2017).

Vavilov, (1979) citado por Larrazábal (2012), menciona que, la vicia, en su masa seca, contiene 19 % de proteína, bastante calcio y poca celulosa. 1 kg de masa verde contiene 56 - 78,5 mg de carotina y 1 kg de heno contiene 37 mg.

La vicia tiene un alto valor forrajero de todas las plantas herbáceas leguminosas anuales, ya que su forraje es altamente nutritivo y de fácil asimilación y gustosamente aceptado por cualquier especie de animal doméstico. Su forraje verde, heno y semillas contienen grandes cantidades de proteína digerible, sales minerales y vitaminas. Así, el grano de la vicia se utiliza en forma de harinas o como parte de los forrajes combinados (Ten, 1982; citado por Larrazábal, 2012).

2.2.1. Taxonomía

Según Gómez (2002), la clasificación taxonómica del cultivo de la vicia es la siguiente:

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Fabales

Familia: Fabaceae

Subfamilia: Faboideae

Género: *Vicia*

Especie: *Vicia villosa*

2.2.2. Especies

Entre las especies forrajeras podemos mencionar: vicia común (*Vicia sativa*) de climas templados y húmedos, requiere suelos fértiles; vicia de Hungría (*Vicia Pannonica*) de Europa Central, se adapta a suelos pesados; vicia velluda (*Vicia villosa*) mejor adaptada a las regiones más secas y templadas de suelos arenosos (Maddaloni, 1993).

2.2.3. Semilla

La semilla de forma esférica un poco apretados lateralmente de color negro hasta marrón oscuro con pequeñas manchas claras en su superficie. Peso de 1000 semillas 35 – 75 g. La germinación es hipógea (Vavilov, 1979 y Antony, 1980; citado por Larrazábal, 2012).

2.2.4. Raiz

La vicia forrajera, presenta un sistema radicular pivotante, con un gran número de raíces laterales en las cuales se disponen los nódulos (Vavilov, 1979 y Antony, 1980; citado por Larrazábal, 2012).

La raíz pivotante puede profundizarse a 0,9 - 1,0 m, a veces puede llegar hasta 2 m (Ten, 1982; citado por Larrazábal, 2012).

2.2.5. Tallos

El tallo es delgado, voluble, postrado con pubescencia glabra o débilmente aterciopelada, cuyo corte transversal presenta cuatro ángulos casi no notables. La altura del tallo alcanza 55 – 60 cm, pero en buenas condiciones de cultivo y con tutores sobrepasa los 100 cm. y puede alcanzar los 140 cm (Vavilov, 1979 y Antony, 1980; citado por Larrazábal, 2012)

2.2.6. Hojas

Es una planta anual (en ocasiones perenne), puede llegar hasta los 120 cm. Posee hojas paripinnadas, acabadas en un zarcillo ramificado, con 5 a 8 pares de folíolos estrechamente elípticos (UPNA, S.f.).

Hojas paripinnadas, de 1 a 8 pares de folíolos, pecioladas y con estipulas lanceoladas, las hojas finalizan en un zarcillo ramificado que ayuda a trepar a la planta (Larrazábal, 2012).

Las hojas son complejas, paripinnadas, con los folíolos apicales transformados en zarcillos, el número de folíolos en la hoja es de 4 – 8 pares. Los folíolos son de forma oblonga alargada, casi elíptica, de borde entero y la nervadura central llega hasta el borde del folíolo (Vavilov, 1979 y Antony, 1980; citado por Larrazábal, 2012).

2.2.7. Flores

Las flores son azuladas o violáceas a purpuras, con cáliz giboso en su base. Inflorescencia en racimo con numerosas flores (7 – 22); pedúnculo de longitud igual o mayor que la hoja adyacente (UPNA, S.f.).

Las flores se ubican en las axilas foliares, cuya estructura es característica de las leguminosas, es decir presenta estandarte, alas y quilla. El color de los pétalos es azul violeta con la base blanquecina. La floración se inicia desde las flores iniciales o inferiores y su periodo es prolongado. La polinización ocurre cuando la flor esta aún cerrada (Vavilov, 1979 y Antony, 1980; citado por Larrazábal, 2012).

2.2.8. Fruto

El fruto es en legumbre de forma elíptica (UPNA, s.f.). Alargada, con una pequeña curvatura, de 3 – 5 cm de longitud, con una leve pubescencia y de color marrón oscuro, a veces más claro o gris hasta negro (Vavilov, 1979 y Antony, 1980; citado por Larrazábal, 2012).

El fruto, legumbre, presenta muchas semillas (4 – 7). Peso de 1000 semillas 60 – 100 g. (Ten, 1982; citado por Larrazábal, 2012).

2.2.9. Fases fenológicas del cultivo

Según Larrazábal (2012), las fases fenológicas de la vicia es la siguiente:

- Germinación
- Ramificación
- Floración
- Formación de vainas
- Maduración

2.2.10. Germinacion

Las semillas vicias en lo general pueden germinar a una temperatura de 1 – 3 °C, y las plántulas pueden emerger a 4 – 5 °C y pueden soportar heladas de -5 a -7 °C. La temperatura óptima para la formación de los órganos vegetativos es de 14 – 19 °C, y para la maduración de las semillas es de 16 – 22 °C (Antony, 1980; citado por Larrazábal, 2012).

2.2.11. Siembra

En la actualidad, la siembra de vicia en mezcla con avena u otro verdeo de invierno (centeno, cebada, etc.) es utilizada como forraje y en menor medida destinada a la producción de semillas, que por lo general queda supeditada (sometida) a un rebrote en primavera después del pastoreo (Renzi *et al.*, S.f.).

Ya sea para pastoreo o bien para la producción de semilla se siembra asociándola con un cereal forrajero y respetando su floración; semilla y se resiembra con facilidad (Maddaloni, 1993).

2.2.12. Fecha de siembra

Debido al gran tamaño de la semilla, no es muy exigente en la preparación del suelo, se puede sembrar de 35 a 40 kg/ha a 5 cm. de profundidad asociada con 10 kg/ha de un cereal de invierno, con sembradora de cereales y en línea. A los dos meses de la germinación se puede empezar a pastorear. En zonas con alto déficit hídrico, debe bajarse la densidad de siembra a 25 – 30 kg/ha (Maddaloni, 1993).

2.2.13. Cosecha de semillas

La cosecha debe realizarse en diciembre cuando el mayor número de vainas está de un color amarillo amarronado. En caso de atrasarse en la cosecha, las vainas maduras reventarán afectando así la cantidad de semilla cosechada.

En el momento indicado se corta con guadañadora (cortadora a motor) y cuando la hilera está seca se procede a la trilla con recolector. Para lo cual debe regularse la velocidad del cilindro trillador de modo que no rompa la semilla. El rendimiento medio alto es de 1,5 t/ha.

El mayor aporte de la vicia en el suelo se encuentra en sus raíces, de modo que un cultivo pastoreado o destinado a semilla produce un mejoramiento importante en la fertilidad del suelo (Maddaloni, 1993).

La semilla de *Vicia villosa* luego de cosechada se puede almacenar durante un largo periodo (> 5 años) sin que pierda porcentajes elevados de germinación. Esa semilla se puede destinar a sembrar o inter-sembrar otros lotes dentro del establecimiento (Renzi *et al.*, S.f.).

2.2.14. Usos

Son numerosos los usos que se puede dar al cultivo de vicia, tales como pastoreo directo, heno, ensilaje, cobertura de suelos, abonos verdes o suplemento proteico (Baigorria *et al.*, S.f.).

La vicia es una planta forrajera que contiene un alto valor nutritivo, ideal para el pastoreo de vacas lecheras; su grano puede usarse como base proteica en raciones para animales rumiantes (Maddaloni, 1993).

2.2.15. Sanidad

Los ataques de hongos como Botrytis, pueden producir enfermedades en el cultivo, estos hongos aparecen en inviernos húmedos y muy fríos, pueden llegar a destruir el cultivo, siendo de las más usadas en regiones templadas la vicia pannonica con cierta resistencia a dicha enfermedad (Maddaloni, 1993).

2.3. Hidroponía

Según Beltrano y Gimenez, (2015), la palabra hidroponía deriva del griego HIDRO (agua) y PONOS (labor o trabajo) lo cual significa literalmente trabajo en agua. Sin embargo, en la actualidad se utiliza para referirse al cultivo de plantas sin suelo, a partir de este concepto se desarrollaron técnicas que permitan el apoyo en la utilización de sustratos (medios que sostienen a la planta), o en sistemas que puedan aportar con soluciones de nutrientes estáticos o circulantes.

Hidroponía es la técnica de producción o cultivo sin la necesidad de suelo, en la cual se abastece de agua y nutrientes a través de una solución nutritiva completa y brindándole todas las condiciones necesarias (temperatura y humedad), para un mejor crecimiento y desarrollo de la planta (SOM, S.f.).

2.4. Biohidroponia

Es una alternativa de producción de cultivos en los cuales los nutrimentos, obtenidos de fuentes no sintéticas son agregados en una solución que alimenta a la planta. Este método es más laborioso que la hidroponía normal, sin embargo, es más saludable (AADAA, S.f.).

Referida a una nueva técnica de cultivo, la cual está basada en la producción orgánica (GrowBarato, S.f.). El énfasis en el suelo como base de cultivo orgánico de invernadero es falsa y no hay existe razón para que los nutrientes orgánicos no puedan ser usados en un sistema hidropónico (GroHo, 2020).

La legislación de la Comunidad Europea determina que eco (ecológico), bio (biológico), sostenible y orgánico son sinónimos. Todos designan a aquellos productos que no han sido tratados con ningún tipo de pesticida o producto químico (McBio, S.f.). A la vez la Hidroponía es un método utilizado para cultivar plantas usando soluciones minerales en vez de suelo agrícola. En donde las raíces reciben una solución nutritiva equilibrada disuelta en agua con todos los elementos químicos necesarios esenciales para el desarrollo de la planta (Huete, S.f.).

Por tanto, se podría definir a la biohidroponia al método de cultivo sin suelo, la cual utiliza agua y nutrientes minerales, por medio de una solución nutritiva orgánica (como el AOLA, biol, humus líquido, te de estiércol) libre de pesticidas y/o productos químicos.

2.5. Forraje verde hidropónico

El forraje verde hidropónico (FVH), consiste en la germinación de granos (semillas de cereales o de leguminosas) y su posterior crecimiento bajo ciertas condiciones ambientales controladas (luz, temperatura y humedad) en ausencia de suelo o tierra. Por lo general se utilizan semillas de avena, cebada, maíz, trigo y sorgo (Jaume y Pereira, 2014).

La producción de Forraje Verde Hidropónico (FVH) consiste en la germinación de semillas, especialmente de gramíneas, para generar un alimento verde con alto contenido de humedad y rico en vitaminas y minerales (Aguirre *et al.*, 2014). El procedimiento es básicamente poner a germinar las semillas en una cámara de pre germinado (bajo un sistema controlado de temperatura y humedad) hasta que estén en condiciones de pasarlas a las bandejas, para su terminación y posterior cosecha (Cordes y Brunetti, S.f.).

El forraje verde hidropónico (FVH) es una tecnología de producción de biomasa vegetal la cual se obtiene a partir del crecimiento inicial de las plantas en los estados de germinación y crecimiento temprano de plántulas con la utilización de semillas viables. El FVH o "green fodder hydroponics" es un pienso o forraje vivo, la cual tiene una alta digestibilidad, calidad nutricional y es muy apto para la alimentación animal (Valdivia, 1996).

2.5.1. Ventajas y desventajas del forraje hidropónico

2.5.1.1. Ventajas

Según Jaume y Pereira (2014) las ventajas que se tiene en la producción de forraje verde hidropónico son las siguientes:

- Menores o iguales costos de alimentación para el ganado.
- Alta digestibilidad.
- Alto contenido proteico.
- Se produce en espacios reducidos.
- Mejora la condición corporal del animal y la fertilidad.
- Rápida ganancia de peso, mejor conversión alimenticia.
- Es un alimento muy apetecible por parte del animal, presentando un buen sabor y una agradable textura.
- Contiene además enzimas digestivas que ayudan a una mejor asimilación del resto de la ración.
- Tiene un importante aporte de vitaminas al animal, como, por ejemplo: Vit. E; Complejo B. A la vez, el FVH es generador de vitaminas esenciales como la Vit. A y la Vit. C.
- El consumo de FVH tiene un efecto de ensalivación por parte del animal, lo cual le permite digerir con mayor facilidad el resto del alimento.
- Inocuidad: El FVH producido en condiciones adecuadas, representa un forraje limpio e inocuo sin la presencia de plagas y enfermedades.

2.5.1.2. Desventajas

Según Jaume y Pereira (2014), las desventajas que se presenta en la producción de forraje verde hidropónico son las siguientes:

- Desinformación y falta de capacitación en la producción de FVH.
- Actividad continua y exigente en cuidados, por lo que la falta de conocimientos e información pueden representar desventajas para los productores.
- Costos de instalación.

- Bajo contenido de materia seca, lo que se resuelve agregando diversos rastrojos o alimento concentrado para complementar la ración en la alimentación del ganado.
- Es bajo en contenido de fibra, por este motivo se recomienda como suplemento alimenticio y no como dieta completa para alimentar a los animales.
- Se debe complementar la ración con alimentos ricos en fibra, y podemos hacerlo con: paja de maíz, paja de cereal, alfalfa seca, ensilados, heno entre otros.

2.5.2. Fisiología de crecimiento del forraje hidropónico

2.5.2.1. Absorción de agua

El agua es el componente esencial y mayoritario de las plantas, puede representar entre el 60 y 90% del peso fresco, según el tejido que se considere. En las plantas el agua cumple las siguientes funciones: es el sostén o soporte de la planta, permite el crecimiento de las células, facilita el enfriamiento de las hojas, es el vehículo para el traslado de nutrientes por el xilema y de fotoasimilados por el floema, y principalmente es el medio en el que se desarrollan todas las reacciones químicas.

A pesar del alto contenido de agua que tienen los tejidos vegetales, las moléculas de agua permanecen en la planta, a veces sólo minutos. El agua fluye continuamente desde el suelo o la solución nutritiva, a través de la planta hasta perderse en la atmósfera (Beltrano y Gimenez, 2015).

La absorción o imbibición es un fenómeno de difusión. Se produce por diferencias del potencial hídrico entre la semilla y la solución de imbibición. Caracterizada por un aumento de volumen de la sustancia o cuerpo que imbebe y está íntimamente relacionada con las propiedades de los materiales coloidales de la semilla. Cuando el agua penetra en la semilla, una fracción ocupa los espacios libres y otra se une químicamente a las sustancias que componen las semillas (Villavicencio, 2014).

Bidwell (1993), citado por López (2005), fase inicial en la cual se inicia la actividad vital de la semilla, se reanuda el metabolismo, donde se necesitan condiciones adecuadas de humedad, temperatura y oxígeno. Reunidos estos factores, la semilla va aumentando de volumen por la absorción del agua, el embrión se hincha, se reblandecen las cubiertas

protectoras y las reservas alimenticias comienzan una serie de reacciones químicas y biológicas que hacen que el embrión se desarrolle.

2.5.2.2. Movilización de nutrientes

Las plantas suelen absorber los nutrientes por las raíces, aunque también pueden absorber alguna cantidad a través de las hojas si se aplican en solución (fertilización foliar). Los nutrientes entran a la planta en forma de iones, partículas ultramicroscópicas que llevan cargas eléctricas. Cuando los iones poseen cargas eléctricas positivas se llaman cationes; calcio (Ca^{++}), potasio (K^+), amonio (NH_4^+), magnesio (Mg^{++}). Los iones con cargas eléctricas negativas se llaman aniones e incluyen; fosfato (H_2PO_4 o HPO_4^-), el nitrato (NO_3) o el sulfato (SO_4^-).

Las sales inorgánicas absorbidas por la raíz en forma de aniones y cationes, son transportadas por el xilema en forma ascendente junto con el agua. En esta corriente ascendente del xilema también se produce una difusión lateral de los nutrientes hacia el floema, que transporta sustancias orgánicas. Cuando los nutrientes llegan a las células de las hojas se combinan con las sustancias orgánicas y se mueven hacia arriba y hacia abajo, a los distintos órganos de la planta a través del floema (UAAAN, 2011).

Bidwell (1993), citado por López (2005), en esta fase los cotiledones se van reduciendo mientras la nueva planta consume sus reservas, pues el alimento almacenado en ellos es digerido por la acción del agua, se descompone mediante la respiración, o se usa en el desarrollo de nuevas estructuras. Los alimentos almacenados en los cotiledones generalmente se encuentran en cantidades suficientes para sostener el crecimiento de la plántula hasta cuando ésta pueda empezar a fabricar su propio alimento.

2.5.2.3. Crecimiento y diferenciación

Uno de los aspectos más fascinantes de los organismos vivos es su capacidad para crecer y desarrollarse. La síntesis continua de macromoléculas a partir de iones y moléculas pequeñas no sólo conduce a la formación de células más grandes sino también más complejas. Más aún, no todas las células crecen y se desarrollan de igual forma, lo que resulta en una planta madura compuesta por numerosos tipos de células (Courtis, 2014).

Podemos definir el crecimiento como el aumento irreversible de volumen de una célula, tejido, órgano o individuo, generalmente acompañado de un aumento de masa. Para que exista crecimiento no basta con que se haya producido división celular, dado que la simple división de una célula no constituye aumento de volumen o masa. El proceso de crecimiento incluye tres fases: división celular (mitosis y citocinesis), expansión de las células resultantes y diferenciación ulterior (Lallana, 2004).

Durante el crecimiento la división celular es seguida por la expansión celular, en forma tal que, rápidamente las células hijas alcanzan el tamaño de la célula madre, como es en el caso de las células altamente vacuoladas, producto de la división de células meristemáticas. Este aumento de volumen y masa es seguido por cambios permanentes en la forma y en la organización interna de las células. Este proceso se denomina diferenciación y ocurre tanto a nivel celular como tisular (Courtis, 2014).

Bidwell (1993), citado por López (2005), la diferenciación es un proceso mediante el cual se forman y reproducen las diferentes clases de células. En una planta el crecimiento y la diferenciación transcurren paralelamente y por ello, parecería tratarse de un solo proceso que llamamos desarrollo. Una vez que han aparecido las raicillas y las primeras hojas, la planta está capacitada para obtener los nutrientes del medio externo y demás elementos para la fabricación de su propio alimento (fotosíntesis), motivo por el cual se debe exponer a condiciones óptimas de luminosidad, oxigenación y nutrición.

2.5.2.4. Fotosíntesis

Bidwell (1993), citado por López (2005), la fotosíntesis es el resultado de la absorción de energía por acción de la clorofila. La energía lumínica entra dentro de un sistema biológico. La conversión de energía luminosa en energía química tiene lugar solamente con la presencia de la clorofila. El resultado de ésta clase de síntesis es la formación de muchos compuestos de varios átomos de Carbono. La hoja es el órgano encargado del proceso de la fotosíntesis, que es su función primaria. Para el desarrollo de este proceso se necesita la clorofila presente en los cloroplastos; se ha establecido que el mesófilo o lamina foliar es el tejido en el cual se verifica la fotosíntesis, con el paso de la luz solar por el tejido superior de la hoja. Del mismo modo es necesaria el agua en la planta y el anhídrido de carbono del aire, que penetra a través del estoma.

2.6. Factores a considerar en la producción de forraje hidropónico

2.6.1. Factores ambientales

Dentro de los factores ambientales a tomar en cuenta para la producción de forraje verde hidropónico son las siguientes:

2.6.1.1. Iluminación

Si no existiera luz dentro de los recintos para la producción de forraje verde hidropónico, la función fotosintética no podría ser cumplida por las células verdes de las hojas y por lo tanto no existiría producción de biomasa. La radiación solar es por lo tanto básica para el crecimiento vegetal, a la vez que promotora de la síntesis de compuestos (por ejemplo: vitaminas), los cuales serán de vital importancia para la alimentación animal (Herrera y Nuñez, 2007).

La semilla para la producción de forraje verde hidropónico necesita estar en obscuridad para que germine, al comienzo del ciclo de producción y hasta el cuarto o quinto día debe estar en un ambiente de luz muy tenue, pero con riego. Después de esto se exponen a la acción de la luz, no le debe dar la luz directa del sol ya que produce quemaduras en la plántula (Morales, 2013).

En ausencia de luz la fotosíntesis se ve afectada negativamente, por lo que la radiación solar es básica para el crecimiento vegetal, y, en consecuencia, en el rendimiento final. En términos generales, un invernadero con cubierta plástica que proporcione 50 % de sombreo es suficiente para la producción de FVH (Porfirio *et al.*, 2013).

Según López (2005), cuando la producción de forraje verde hidropónico es exclusivamente en recintos cerrados sin luz natural, se tiene que pensar en una iluminación artificial en base a tubos fluorescentes bien distribuidos y encendidos durante 12 a 15 horas como máximo. Para el cálculo de dicha iluminación debe considerarse que el forraje verde hidropónico sólo requiere una intensidad lumínica de 1.000 a 1.500 microwatts/cm² en un tiempo aproximado de 12 a 14 horas diarias de luz. El uso de la luz solar es siempre más recomendable, por lo que se debe agudizar el ingenio para lograr un máximo aprovechamiento de la luz solar y por consecuencia, lograr menores costos de producción.

2.6.1.2. Temperatura

La temperatura afecta directamente las funciones de fotosíntesis, respiración, permeabilidad de la membrana celular, absorción de agua y nutrientes, transpiración y actividades enzimáticas. Reacciones biológicas de gran importancia no pueden desarrollarse si la temperatura está por debajo de 0 °C, o por encima de 50 °C. El límite inferior corresponde al punto de congelación del agua y el superior a la desnaturalización de las proteínas (OASIS, S.f.).

Rojas (2009), citado por Ramírez (2016). La temperatura que requieren las diversas especies vegetales, es difícil de establecer de forma estándar, pero en general pueden germinar en diferentes rangos de temperatura (0 hasta 45 °C).

Valdivia (1997), citado por López (2005). La temperatura es uno de los factores más importantes en la producción de forraje verde hidropónico. Esto implica efectuar un debido control sobre la regulación de la misma. El rango óptimo para producción de forraje verde hidropónico se sitúa siempre entre los 18 – 26 °C. La variabilidad de las temperaturas óptimas tanto para la germinación y el posterior crecimiento de los granos en forraje verde hidropónico es muy diverso. Es así que los granos de avena, cebada, y trigo, entre otros, requieren de temperaturas bajas para germinar. El rango de ellos oscila entre los 18 °C a 21°C. Sin embargo, el maíz necesita de temperaturas óptimas que varían entre los 25 °C y 28 °C.

La temperatura debe de mantenerse dentro de un rango de 18 – 26 °C para una óptima producción de forraje verde hidropónico. Además, para la germinación el rango oscila entre 18 – 21 °C, con diferentes requerimientos según la especie (Sánchez, 2002).

2.6.1.3. Humedad

La humedad ambiental en la producción de forraje verde hidropónico afecta el metabolismo de la planta, si la humedad es demasiado alta el intercambio gaseoso queda limitado y se reduce la transpiración y por consiguiente la absorción de nutrientes, y si la humedad es baja se cierran los estomas de la planta y se reduce la tasa de fotosíntesis. Una humedad alta también provoca la presencia de enfermedades de tipo fungosas (OASIS, S.f.).

Como el cultivo de forraje verde hidropónico es un cultivo a raíz desnuda, es decir sin sustrato, se deberá de producirlo en un ambiente con una humedad entre el 60 y 80 % para evitar de esta manera que las raíces se sequen, esta humedad se consigue con la frecuencia de los riegos y de la evapotranspiración de las plantas. Es de vital importancia que la humedad no exceda el 80 % ya que provocaría la proliferación de enfermedades por hongos. Y una humedad baja provoca la desecación del ambiente y disminución en la producción por deshidratación del cultivo (Morales, 2013).

2.6.1.4. Aereación

En la zona radicular de la planta se debe tener muy buena oxigenación, ya que los pelos radiculares requieren de O₂ para realizar sus procesos fisiológicos (OASIS, S.f).

2.6.2. Densidad de siembra

Las densidades optimas por metro cuadrado oscilan entre 2 y 4 kilos de semilla, en donde las capas no deben ser superiores a los 1,5 cm de espesor (Villavicencio, 2014).

Cuadro 1. Dosis de semilla según especie

Especie	Dosis (kg/m²)
Avena	2 – 3
Cebada	2 – 3
Trigo	2,2 – 3,3
Maíz	4
Sorgo	2,5

Fuente: Villavicencio, (2014).

2.6.3. Calidad de la semilla

En todo cultivo es imprescindible e importante tener en cuenta la calidad de la semilla para el éxito del mismo, desde un punto de vista sustentable, es imposible obtener una buena cosecha si no se parte de una semilla de calidad. La semilla es el material de partida para la producción y es condición indispensable que tenga una buena respuesta bajo las condiciones de siembra y que produzca una plántula vigorosa a los fines de alcanzar el máximo rendimiento (Lovey, 2008).

Rojas (2009), citado por Ramírez (2016). Para la producción de forraje verde hidropónico es necesario una buena selección de las semillas o granos que logren una buena germinación y la obtención de un producto óptimo y a bajo costo para la alimentación de los animales.

También es importante no descuidar la calidad de la semilla y su porcentaje de germinación, el cual no debe ser inferior al 75 % para así de esta forma evitar pérdidas en los rendimientos de producción del forraje verde hidropónico (FAO, 2016).

Valdivia (1997), citado por López (2005). Se deben utilizar semillas de alto porcentaje de germinación, el productor de FVH deberá tener presente que el porcentaje mínimo de germinación de la semilla debe ser en lo posible mayor o igual a 70 – 75 %; que la semilla a utilizar debe estar limpia y tratada con una solución de hipoclorito de sodio al 1 %.

2.6.4. El riego

Si bien las unidades hidropónicas no están en contacto con la tierra, estas pueden desarrollarse porque reciben una nutrición óptima con las condiciones adecuadas. La diferencia es la disponibilidad y cantidad de sales absorbidas por las raíces en determinado medio u otro. Existen tres formas de suministro de nutrientes a las plantas a través del riego: humedeciendo el sustrato en el que se encuentran, colocando las raíces directamente en la solución nutritiva y la última aplicándole en forma de spray, mediante un pulverizador, directamente sobre las raíces (Errecart, 2011).

2.6.4.1. Calidad del agua para el riego

La calidad del agua de riego es otro de los factores singulares en la producción de forraje verde hidropónico. La condición básica es que el agua debe ser potable. Su origen puede ser de pozo, de lluvia o agua corriente de cañerías. Si el agua disponible no es potable, tendremos problemas sanitarios y nutricionales para el forraje verde hidropónico (Herrera y Núñez, 2007).

El valor de pH del agua de riego debe oscilar entre 5.5 y 6.0 y salvo raras excepciones como son las leguminosas, que pueden desarrollarse hasta con pH cercano a 7.5, el resto de las semillas empleadas en la producción de FVH, no se comportan eficientemente por

arriba de 7. Para favorecer la disponibilidad y absorción de los nutrimentos se recomienda que el pH de agua de riego sea de 5.5 a 6.5 (Porfirio *et al.*, 2013).

El pH permite conocer el grado de disponibilidad de los nutrientes minerales en la solución nutritiva, por lo tanto, su disponibilidad para las plantas. Lo que indica además es importante mantener el pH de la solución nutritiva en un rango ligeramente ácido, de 6.0 a 6.5 dentro de una escala de 0 a 14 y por último indica que este parámetro no es de consideración para la producción de FVH ya que el periodo de producción es muy corto, apenas 10 días. El valor de pH del agua de riego debe oscilar entre 5,2 y 7 y salvo raras excepciones como son las leguminosas, que pueden desarrollarse hasta con pH cercano a 7.5, el resto de las semillas utilizadas (cereales mayormente) usualmente en FVH, no se comportan eficientemente por encima del valor 7. (Herrera y Núñez, 2007).

2.6.5. Conductividad eléctrica (CE)

La conductividad eléctrica (CE) del agua indica cual es la concentración de sales en una solución. Su valor se expresa en deciSiemens por metro ($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$) y se mide con un conductímetro previamente calibrado. Un rango óptimo de CE de una solución nutritiva estaría en torno a 1.5 a 2.0 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$. Por lo tanto, aguas con CE menores a 1.0 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ serían aptas para preparar la solución nutritiva (Porfirio *et al.*, 2013).

Un rango óptimo de CE de una solución nutritiva estaría en torno de 1,5 a 2,0 mS/cm . Por lo tanto, aguas con CE menores a 1,0 serían las más aptas para preparar nuestra solución de riego. Debe tenerse presente también que el contenido de sales en el agua no debe superar los 100 miligramos de carbonato de calcio por litro y que la concentración de cloruros debe estar entre 50 – 150 miligramos por litro de agua. La CE de la solución no debe exceder de 2,0 dS/m , de lo contrario las plantas podrían ser afectadas por toxicidad, principalmente en cultivos sensibles a sales, como el FVH (Herrera y Núñez, 2007).

2.7. El forraje verde hidropónico en la alimentación animal

Los usos del forraje verde hidropónico son muy diversos, en la cual es utilizada comúnmente como alimento para distintos animales (FAO, 2001). En el cuadro 2 se puede apreciar las dosis requeridas de forraje hidropónico por cada especie animal

independientemente del tipo de forraje que se le ha de suministrar estos pueden ser cebada, maíz, avena entre otros.

Cuadro 2. Dosis de forraje verde hidropónico según especie animal.

Especie animal	Dosis de FVH (kg/100 kg PV)	Observaciones
Vaca lechera	1 – 2	Suplementar con paja de cebada y otras fibras.
Vacas secas	0,5	Suplementar con fibra de buena calidad.
Vacunos de carne	0,5 – 2	Suplementar con fibra normal.
Cerdos	2	Crecen más rápido y se reproducen mejor.
Aves	25 kg de FVH/100 kilos de alimento seco.	Mejoran el factor de conversión.
Caballos	1	Agregar fibra y comida completa. Mejoran performance en caballos de carrera, paso y tiro.
Ovejas	1 – 2	Agregar fibra.
Conejos	0,5 – 2 (*)	Suplementar con fibra y balanceados.

Fuente: Pérez. 1987; Bravo. 1988; Sánchez. 1997; Arano. 1998.

(* = conejos en engorde aceptaron hasta 180 – 300 gr FVH/día (10 – 12 % del peso vivo); ingesta de las madres en lactancia = hasta 500 gr FVH/día).

2.8. Análisis bromatológico del forraje verde hidropónico

2.8.1. Proteína cruda

La determinación de proteína está basada en el método Kjendahl que mide el contenido de nitrógeno total de un determinado alimento, este método asume que todo el nitrógeno está en forma de proteína sin considerar que alguna proporción de nitrógeno este asociado a otros compuestos como ser amidas, urea, lignina y otros (Tallacagua, S.f.).

Se obtiene a partir del contenido de nitrógeno total de un alimento multiplicado por el factor 6,25, porque las proteínas en promedio tienen 16 % de nitrógeno. El factor 6,25 surge de la relación 100/16. El valor de PC incluye la proteína verdadera y otros compuestos nitrogenados no proteicos obtenidos por el método Kjeldahl (Mieres, 2004).

2.8.2. Materia seca

La humedad es un indicador del agua que contiene un alimento y es medido como la pérdida que sufre después de haber sido sometido una determinada técnica de secado. El residuo después de extraer toda el agua es la materia seca, tal como lo cita Tallacagua (S.f.).

El porcentaje de materia seca se refiere a la cantidad de alimento menos el agua contenida en dicho alimento, por tanto, si una muestra de alimento "X" es sometido a un calor moderado (típicamente 65 °C por 48 horas) de tal manera que toda el agua se evapore, lo que queda o resta es la porción de materia seca de ese alimento (Ramírez, 2011).

Es la resultante de la extracción del agua que contienen las plantas al estado fresco o verde. El porcentaje de materia seca depende del estado fenológico de las plantas, condiciones ambientales y procesamiento o conservación del forraje (Demagnet, S.f.).

Cuadro 3. Porcentaje de materia seca según el tipo de forraje

Tipo de Forraje	% MS
Forraje verde	8 - 16
Soling	16 - 24
Ensilaje corte directo	20 - 28
Ensilaje premarchito	25 - 35
Henilaje	35 - 45
Heno	85 - 95

Fuente: Demagnet, (S.f.).

2.8.3. Ceniza

Ceniza es equivalente a contenido (cantidad) de minerales. Que se obtiene por incineración de la muestra a 550 °C en una mufla u horno durante 3 horas. Puede incluir contaminación con tierra si se toma mal la muestra (Mieres, 2004).

Es el residuo mineral calcinado resultante de sortear la muestra a una temperatura de unos 600 °C tal como lo cita, Lima (2004).

Las cenizas están representadas como el contenido en minerales del alimento. Los minerales, junto con el agua, son los únicos componentes de los alimentos que no se pueden oxidar en el organismo para producir energía (Márquez, 2014).

Ceniza es el residuo inorgánico que se obtiene después de incinerar completamente el alimento en un horno llamado mufla, a 500 – 600 °C. Valores muy altos de ceniza en un alimento pueden estar indicando contaminación con tierra o algún otro tipo de adulteración (INTA y EEA Balcarce, 2014).

2.8.4. Materia orgánica

Según Mieres (2004), el contenido de materia orgánica resulta de restar el contenido de cenizas totales al contenido de materia seca.

$$\text{MO \%} = \text{MS \%} - \text{Ceniza \%}$$

Según Márquez (2014), la materia orgánica está comprendida por los nutrientes (proteínas, carbohidratos y lípidos) que se pueden quemar (oxidar) en el organismo para así obtener energía, y se calcula como la diferencia entre el contenido en materia seca del alimento y el contenido en cenizas.

Restando al contenido de materia seca la cantidad de cenizas, se obtiene la materia orgánica (INTA y EEA Balcarce, 2014).

2.9. El invernadero

El invernadero es una construcción donde la cubierta o techo es de un material que deja pasar la luz solar, en la cual facilita la acumulación de calor durante el día y desprendiéndolo lentamente durante la noche, cuando las temperaturas descienden drásticamente. De esta manera se evitan las pérdidas de los cultivos ocasionadas por las heladas, así como por las bajas temperaturas.

El invernadero permite controlar el ambiente interno, modificando el clima y creando las condiciones para el desarrollo de los cultivos en cualquier época de año. De esta manera, las temperaturas al interior del invernadero durante la noche siempre serán mayores que las de afuera (Estrada, 2012).

2.9.1. Requerimiento del sitio

Los requerimientos a tomar en cuenta para la construcción de un invernadero, tienen las siguientes características:

2.9.1.1. Terreno

Terrenos con pendientes de 0.5 a 2 % son ideales para poder construir sin necesidad de nivelar camas de siembra. Podemos construir invernaderos con pendiente más pronunciada hasta un 15 % a lo ancho o a lo largo del terreno, pero se deberán nivelar las camas de siembra para uniformizar el riego (Medina y Lardizabal, 2011).

2.9.1.2. Ubicación

Según Estrada (2012). Los invernaderos pueden construirse en cualquier sitio, con las siguientes características:

- Que reciba por lo menos 5 horas diarias de luz solar.
- Que exista disponibilidad de agua en forma permanente y de buena calidad.
- Que se encuentre protegido de los vientos y el ingreso de animales.
- Que no sea una zona susceptible de inundaciones.
- Que el suelo no esté contaminado
- Que el terreno se encuentre aplanado.

2.9.1.3. Orientación

El invernadero debe tener una orientación de Este a Oeste en su parte longitudinal para que tenga mucho mayor tiempo de exposición al sol. El techo debe tener la caída al norte, la puerta se coloca al lado donde existe menor cantidad de vientos (Estrada, 2012).

Figura 1. Orientación de una carpa solar



Fuente: Estrada, (2012).

El ángulo del talud del techo debe estar entre 25° y 30° . Esta inclinación permitirá una máxima exposición a la radiación, y por otro lado el desalojo de una posible acumulación de nieve (Miserendino y Astorquizaga, 2014).

2.9.1.4. Viento

Estructuras de madera resisten menos a vientos fuertes que las estructuras de hierro, por tanto, se debe de conocer bien la zona y ubicar el invernadero donde el viento fuerte no sea un problema constante.

El invernadero debe de orientarse con la ventana cenital a favor del viento predominante. Si la ventana cenital queda expuesta al viento, esta fuerza se introduce adentro del invernadero y puede debilitar y romper la estructura.

La orientación del invernadero estará en función de la dirección de la ventana con relación al viento. La orientación del viento ayuda a ventilar el invernadero ya que acumulamos calor, esto es el “efecto invernadero” donde el calor se nos acumula adentro. Debido a esto debemos de orientar la ventana cenital a favor del viento para crear el efecto chimenea que nos ayuda a ventilar (Medina y Lardizabal, 2011).

Figura 2. Efecto Venturi de circulación del aire durante la ventilación natural



Fuente: Medina y Lardizabal, (2011).

Las flechas de color azul representan el aire fresco del ambiente externo y las rojas el aire caliente del invernadero. Esto ocurre debido a que el aire caliente siempre está en la parte superior del invernadero, permitiendo su extracción con facilidad usando este método

2.9.1.5. Luminosidad

Las plantas son máquinas que convierten sol en comida por lo cual requieren alta cantidad de luz solar para desarrollarse adecuadamente, en zonas altas donde hay bastante nubosidad se las debe de evitar ya que no solo restringen la cantidad de luz, sino que aumenta la humedad relativa provocando la proliferación de enfermedades y mala polinización. En zonas boscosas, con árboles altos que generen sombra y que sean de hoja ancha, los cuales suelen tener musgos que casi siempre están asociados a zonas con alta nubosidad o neblina restringen el número de horas luz. De aquí la importancia de mantener siempre los plásticos limpios ya que solamente dejan pasar un 85% de luz solar, y si a esto le sumamos el porcentaje de sombra proveniente de árboles, neblina y plásticos sucios, lo que queda para producción de las plantas es mínimo y los rendimientos disminuyen considerablemente (Medina y Lardizabal, 2011).

2.9.1.6. Altura sobre el nivel del mar

Las temperaturas adecuadas para la producción de cultivos en invernadero se obtienen a partir de los 1,000 m.s.n.m. hasta los 2,000 m.s.n.m. Sin embargo, se pueden construir

invernaderos a alturas menores, y para alturas mayores se debe tomar en cuenta que por cada 100 metros que ganemos de altura, la temperatura baja 0.6 °C.

Conforme la temperatura aumenta, deberemos invertir en sistemas caros para enfriar el invernadero como por ejemplo el uso de mallas sombra de 30 - 40 %, mallas de sombreo refractivas (o pantallas aluminet), extractores de aire, nebulizadores, paredes húmedas, etc. Es más barato comprar un terreno que tenga las condiciones de altura para tener temperaturas más bajas y no gastar en mallas de sombreo (Medina y Lardizabal, 2011).

2.9.1.7. Puertas

Conviene que faciliten el paso a los medios de transporte con apertura hacia fuera. Lo más habitual para puertas de grandes dimensiones es que sean corredizas. En ciertos casos puede pensarse en dos tipos de puerta: una grande para medios mecánicos y otra más pequeña para el paso del personal (Beltrano y Gimenez, 2015).

2.9.1.8. Ventanas

Es otro elemento importante y depende, en gran parte, del material de la estructura. Su importancia en el desarrollo de la actividad del invernadero radica en dos puntos: que cierren bien, cuando debe mantenerse el calor y que se puedan abrir mucho cuando se requiere una buena ventilación. Cuanto más simple y más barata es la construcción de una cobertura, más complicada suele ser la apertura y cierre correcto de las ventanas.

Un aspecto fundamental en cuanto al dimensionamiento de las ventanas, respecto al resto de la estructura es su función en cuanto a la ventilación del invernadero que permite la renovación del aire interior, imprescindible en toda construcción. En la mayoría de los casos permite equilibrar la temperatura con el exterior cuando la interior sea excesiva, así como cubrir deficiencias de CO₂ y humedad relativa (Beltrano y Gimenez, 2015).

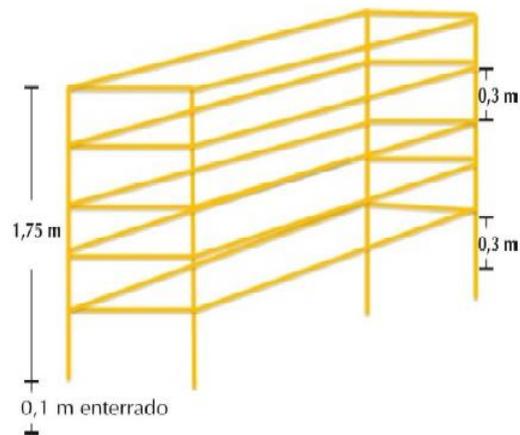
2.9.1.9. Estructura de soporte

La estructura de soporte o estantes son infraestructuras que soportan los contenedores o charolas en las cuales se va a cultivar el forraje y estas pueden ser fabricados de madera, metal o PVC, su altura debe permitir un manejo óptimo de los contenedores o charolas, los estantes deben tener una pendiente transversal para facilitar el drenaje y

evitar encharcamientos en las charolas que puedan provocar la pudrición de la semilla o de la planta (Morales, 2013).

Corresponde a armazones de madera o metal con cuatro o cinco pisos de alto, donde se ubican las bandejas con las semillas. Las dimensiones deben asegurar un manejo cómodo del sistema, dejando pasillos entre módulos de 1 m. La Figura 3, muestra una estantería de madera de 1,75 m de altura y 0,1 m enterrado para dar firmeza a la estructura, considera 4 pisos útiles separados 0,3 m entre sí, construida con listones de madera de 2 x 2", con capacidad para soportar 48 bandejas plásticas de 0,4 x 0,35 m (Villavicencio, 2014).

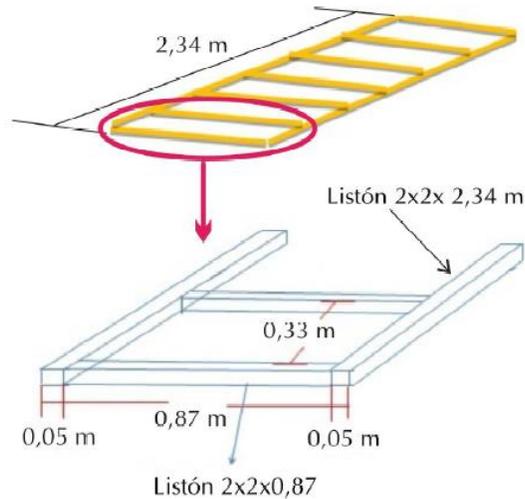
Figura 3. Estante para producción de forraje



Fuente: Villavicencio, (2014).

La Figura 4, muestra un detalle de cada piso de 2,34 m de largo, y 0,97 m de ancho, con listones de 0,87 m separados a 0,33 m uno de otro para sostener las bandejas sobre las cuales se siembra la semilla.

Figura 4. Detalle de piso de estructura de soporte.



Fuente: Villavicencio, (2014).

2.9.1.10. Contenedores para la semilla

Son recipientes que son utilizados para colocar las semillas para el desarrollo del cultivo, el material del cual están fabricados puede ser de cualquier tipo y origen (Morales, 2013).

Los recipientes para contener las semillas pueden ser de variados tipos, como bandejas metálicas galvanizadas, bandejas plásticas de casino, cajas plásticas recubiertas con polietileno, y otros. El tipo de contenedor dependerá del nivel de capital disponible y de la posibilidad de obtenerlo fácilmente a nivel local (Villavicencio, 2014).

2.10. Costos para la producción de forraje verde hidropónico

La producción de forraje verde hidropónico no tiene una situación de mercado tan extendida como el resto de otros cultivos sin tierra, como, por ejemplo: lechuga, tomate, berro, etc. Esta particular situación de comercialización está presente en la mayoría de los países Latinoamericanos y del Caribe (FAO, 2001).

Según Herrera y Nuñez (2007), en el momento de determinar el costo, para producir cada kilogramo de forraje verde hidropónico, se debe tomar en cuenta que este dependerá directamente de dos factores muy importantes: precio de la semilla y el rendimiento de la

misma. También cabe señalar que el costo de la semilla interviene en los costos de producción en un 85 % mientras que la solución nutritiva representa solo un 4 %.

Según la FAO (2001), los costos para la producción de forraje verde hidropónico, pueden dividirse en dos grupos:

2.10.1. Costos fijos de inversión

Está compuesta de aquellos elementos imprescindibles a comprar, para llevar adelante un determinado proyecto. Por lo tanto, se define a los Costos Fijos de producción, como aquellos costos que hacen referencia al equipamiento para la producción del forraje verde hidropónico (estructura y mano de obra del invernadero, estructura para la producción del forraje, bandejas, mallas de sombra y equipos complementarios).

2.10.2. Costos Variables

Definido como costos variables de un cultivo, son aquellos gastos operacionales o de funcionamiento, que se encuentran en directa relación a la cantidad de metros cuadrados que cultivemos. Fundamentalmente estos son bienes que no se recuperan, sino que se transforman conjuntamente con la semilla germinada en nuestro producto final (semillas, solución nutritiva, mano de obra).

Según Castro (2007), una metodología para determinar el presupuesto parcial, como herramienta útil para determinar las implicaciones económicas y bajo condiciones de manejo agro ecológico, serian utilizando las siguientes fórmulas: ingreso bruto, ingreso neto y relación beneficio costo.

3. LOCALIZACIÓN

3.1. Ubicación geográfica

El presente trabajo de investigación se realizó en el Centro Experimental de Cota Cota dependiente de la Facultad de Agronomía de la Universidad Mayor de San Andrés, ubicada a 15 km al sudeste de la ciudad de La Paz. Geográficamente se ubica a 16°32' Latitud Sur y 68°03' Longitud Oeste a una altitud de 3445 msnm (Bosque *et al.*, 2015).

Figura 5. Localización del lugar de estudio



Fuente: Google Earth, (2020).

3.2. Características generales

La región geográfica del campus de Cota Cota corresponde a las cabeceras de los valles secos andinos de La Paz en transición a la puna. La zona está en contacto entre dos tipos de regiones bio geográficas, en la cual se encuentran elementos de flora y fauna de ambas regiones, haciendo que la zona sea relativamente diversa (Villagómez *et al.*, 2009).

3.2.1. Clima

Presenta una precipitación fluctuante entre 600 – 800 mm/año, con una temperatura media de 11,5 °C. estas características lo ubican como cabecera de valle lo cual es

representativo para gran parte de los valles del departamento de La Paz (Bosque *et al.*, 2015).

La zona de Cota Cota es semiárida por su ubicación geográfica, presenta lluvias orográficas, vientos secos y cálidos que bajan del altiplano. Tienen un clima medianamente templado, en el transcurso del día la temperatura varía, en promedio anual para días cálidos la temperatura alcanza hasta los 20 grados. Con frecuencia se dan heladas leves, las cuales se registran con mayor incidencia en los meses de mayo a agosto (Villagómez *et al.*, 2009).

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Materiales

4.1.1. Material vegetal y biológico

Para realizar el estudio se utilizó 5,8 kg de semilla de *Vicia villosa*, con las siguientes variedades 2,9 kg de la variedad Dasycarpa y 2,9 kg de la variedad Roth, adquiridas de la empresa productora de semilla SEFO SAM del departamento de Cochabamba.

4.1.2. Equipos y materiales

Se utilizó un mesón de 2,90 m x 1,50 m, cuatro nebulizadores de riego manual, 24 bandejas de 0,35 m x 0,245 m con una altura de 0,125 m, cuatro botellas de plástico (2 L), 1 bidón (5 L), cinco metros de plástico negro, letreros de identificación, marbetes, regla, vaso de plástico, malla sarán, vernier digital, balanza analítica (precisión de 0,1 g), papel madera, 1 litro de hipoclorito de sodio y agua en cantidad a disposición, hidrómetro y colador (cernidor).

4.1.3. Material de gabinete

Se utilizaron hojas de registro, computadora, cámara fotográfica, cuaderno de campo, reglas y lapiceros.

4.2. Método

4.2.1. Preparación del ambiente

Se hizo el acondicionamiento y limpieza del invernadero para evitar la presencia de plagas y enfermedades. Asimismo, se hizo reparaciones y el colocado de malla sarán, instalación eléctrica y otros.

4.2.2. Preparación de bandejas

Se realizó el forrado de las bandejas con plástico negro en la base para que la luz solar no dañe las semillas.

Se desinfecto las charolas con hipoclorito de sodio al 1 %, luego se enjuagaron con agua limpia con el fin de evitar residuos de cloro que puedan limitar el desarrollo de la semilla.

4.2.3. Lavado y desinfección de semillas

Se lavó las semillas de vicia con abundante agua eliminando residuos y partículas extrañas. Las semillas seleccionadas se desinfectaron con hipoclorito de sodio al 1 % por un tiempo de 1 minuto, luego se lavó las semillas con bastante agua para eliminar el exceso de cloro.

El tiempo de exposición de las semillas en la solución de hipoclorito, no debe ser menor a 30 segundos ni exceder los 3 minutos ya que afectaría a la viabilidad de la semilla.

4.2.4. Etapa de imbibición

Se procedió con el remojo de las semillas de vicia en agua limpia por un tiempo de 24 horas logrando su completa imbibición y activación de los procesos fisiológicos de germinación. En este proceso de remojo a las 12 horas se procedió a escurrir el agua con el fin de oxigenar las semillas por un lapso de 1 hora y volviendo a sumergirlas en agua para continuar con el proceso de imbibición.

4.2.5. Densidad y siembra en bandejas

Se sembró las semillas en las bandejas preparadas, mediante distribución uniforme sin dejar espacios libres, la cantidad de semilla pesada fue de 244,8 gramos.

Se aplicó una densidad de siembra de $2,8 \text{ kg/m}^2$ que es un promedio calculado en base a otras densidades de siembra de diferentes cultivos en hidroponía como la avena, cebada trigo maíz y sorgo.

4.2.6. Proceso de pre germinación (fase oscura)

Las bandejas sembradas se taparon con plástico negro por un tiempo de 5 días donde el porcentaje de germinación fue de 90 a 95 %. En esta etapa la cubierta de la semilla se rompe, reanudando el crecimiento embrionario.

4.2.7. Fase luminosa

Después de la germinación de semillas en la fase oscura, estas se sometieron a una iluminación difusa y no directa a la luz solar, en esta fase se evidenció el inicio del desarrollo y crecimiento de las plántulas de vicia.

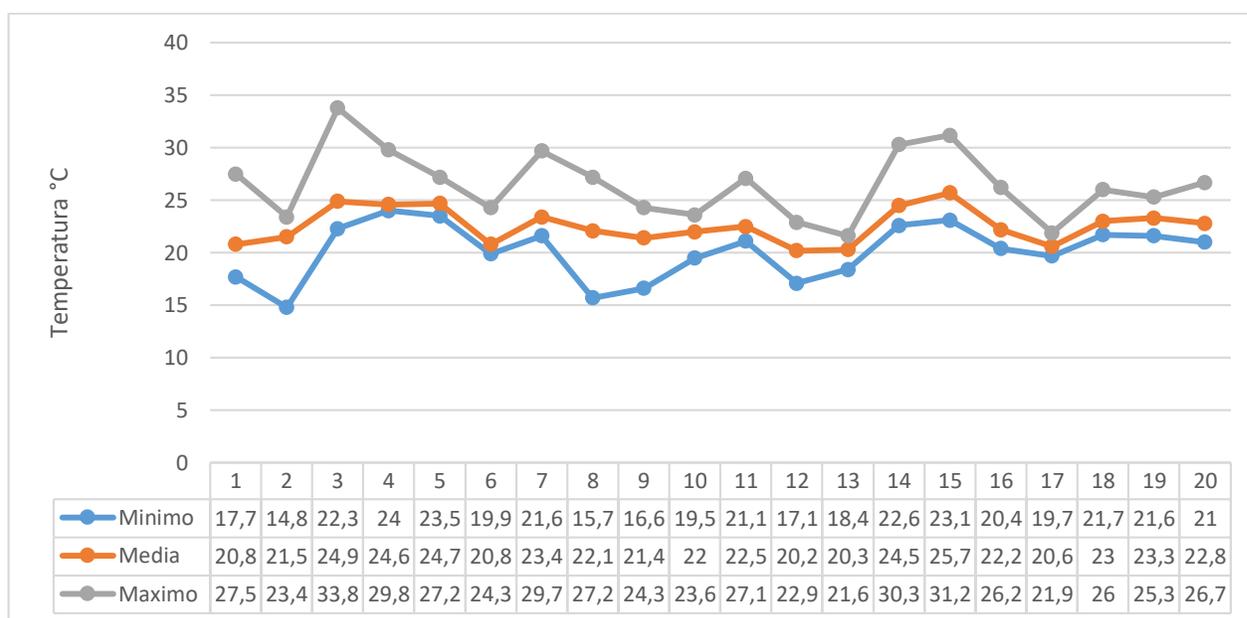
4.2.8. Toma de datos climáticos

Dentro el comportamiento agro climatológico las características tomadas en la producción del forraje biohidropónico fueron la temperatura y la humedad relativa, como factores climáticos más importantes en la producción de forraje con vicia.

4.2.8.1. Registro de temperatura

Las temperaturas registradas del ambiente hidropónico durante el proceso de estudio se detallan en la figura 6.

Figura 6. Temperaturas máximas y mínimas registradas durante el desarrollo del forraje



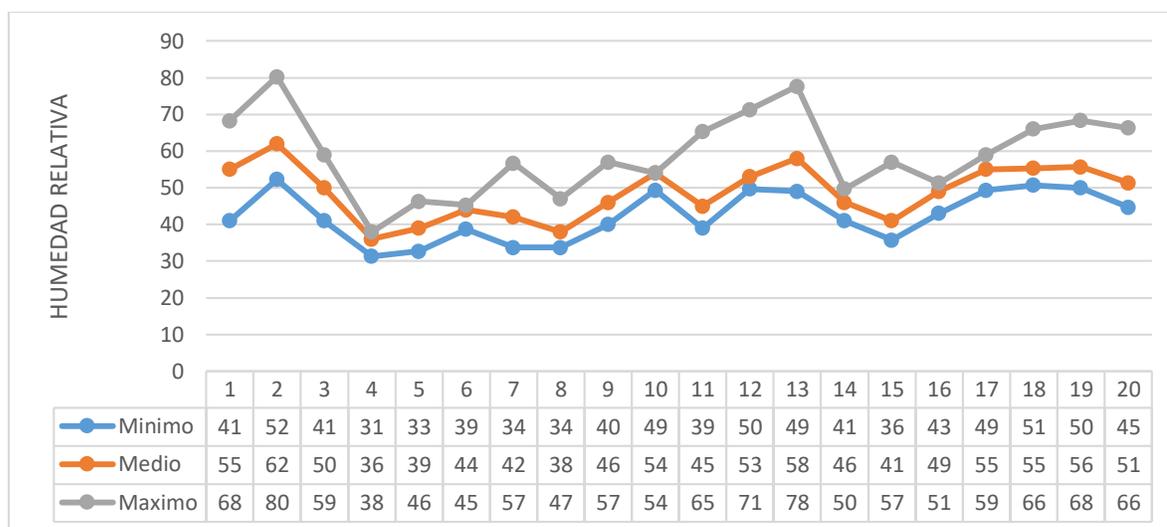
Las temperaturas registradas en la carpa solar, pueden ser consideradas relativamente homogéneas. Siendo el promedio para las temperaturas máximas de 26,5 °C, el promedio para las temperaturas mínimas de 20,1 °C y la temperatura media fue de 22,6 °C.

De acuerdo a Quispe (S.f.), las temperaturas para producir forraje verde hidropónico deben fluctuar entre los 18 – 26 °C. Por tanto, las temperaturas registradas en el ambiente de producción están dentro de los parámetros exigidos.

4.2.8.2. Registro de humedad relativa

De la misma manera se registraron los datos de humedad relativa en el ambiente de producción. La humedad máxima promedio registrada fue de 59 %, la humedad media con 49 % y la humedad relativa mínima de 42 %. Los valores obtenidos de la humedad relativa se observan en la figura 7.

Figura 7. Humedad registrada en el ambiente durante la investigación.



Los valores de humedad relativa registrados son menores a lo reportado por Morales (2013), quien indica que la humedad debe estar entre los rangos de 60 y 80 % para la producción de forraje verde hidropónico, por consiguiente, se tuvo falencia en este factor climático en la producción de forraje biohidropónico con las variedades de vicia.

4.2.9. Riego y fertilización orgánica con AOLA

La aplicación del fertilizante orgánico AOLA se lo hizo en toda la etapa de producción del forraje (13 días), y dos días antes de la cosecha se realizó la aplicación con solo agua con fin de eliminar restos del fertilizante en la raíz

El riego se aplicó tres veces al día con los siguientes horarios: 8:00 am, 12:00 pm y 5:00 pm respectivamente, tomando en cuenta la demanda de agua que requieren las plantas, (fase de desarrollo) influenciadas por la temperatura y la humedad del ambiente.

4.2.10. Cosecha y pesaje

Transcurridos 20 días se procedió con la cosecha y pesaje de la producción de forraje de las unidades experimentales donde se determinó el rendimiento de materia verde.

4.2.11. Análisis bromatológico

Se hizo el muestreo del forraje de vicia producido de los diferentes tratamientos, en sobres preparados de madera, remitiéndose al Laboratorio de Calidad Ambiental (LCA), de la Facultad de Ciencias Puras y Naturales UMSA con el fin de determinar la calidad del forraje obtenido.

4.2.12. Evaluación del desarrollo forrajero

➤ Altura de planta

Utilizando el método de observación directa y periódica, se realizó las mediciones de altura de planta del forraje con la utilización de una regla y vernier digital.

➤ Rendimiento del forraje

Realizada la cosecha del forraje hidropónico, se pesó cada unidad experimental. Para este proceso se utilizó una balanza analítica.

4.3. Diseño experimental

En el presente estudio se utilizó el Diseño Completamente al Azar con arreglo bi factorial, evaluando tres dosis de abono orgánico líquido aeróbico y un testigo (agua) con dos variedades forrajeras de vicia, con 8 tratamientos y 3 repeticiones, haciendo un total de 24 unidades experimentales.

El modelo lineal aditivo es el siguiente:

$$Y_{ijk} = u + \alpha_i + \alpha_j + \alpha\beta_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

Dónde:

Y_{ijk} = Una observación

u = Media poblacional

α_i = Efecto del i-ésimo nivel del factor A (**Variedades**)

β_j = Efecto del j-ésimo nivel del factor B (**Dosis de abono líquido, AOLA**)

$\alpha\beta_{ij}$ = Efecto del i-ésimo nivel del factor A (**Variedades**) con el j-ésimo nivel del factor B (**Dosis de abono líquido**), (interacción A x B)

ϵ_{ijk} = Error experimental **Factor de estudio**

4.3.1. Factor de estudio

En el presente estudio, los factores de estudio tomados en cuenta fueron:

Factor A: Variedades de *Vicia villosa*

V1: Variedad Dasycarpa

V2: Variedad Roth

Factor B: Dosis de abono líquido

D 1: Dosis 1 (10 % de AOLA/ 80 % H₂ O)

D 2: Dosis 2 (20 % de AOLA/ 70 % H₂ O)

D 3: Dosis 3 (30 % de AOLA/ 60 % H₂ O)

D 4: Testigo (Sin dosis del abono orgánico líquido aeróbico)

Tratamientos

T1 = V1D1 = Variedad Dasycarpa, con dosis 1 (10 % de AOLA/ 90 % H₂ O)

T2 = V2D1 = Variedad Roth, con dosis 1 (10 % de AOLA/ 90 % H₂ O)

T3 = V1D2 = Variedad Dasycarpa, con dosis 2 (20 % de AOLA/ 80 % H₂ O)

T4 = V2D2 = Variedad Roth, con dosis 2 (20 % de AOLA/ 80 % H₂ O)

T5 = V1D3 = Variedad Dasycarpa, con dosis 3 (30 % de AOLA/ 70 % H₂ O)

T6 = V2D3 = Variedad Roth, con dosis 3 (30 % de AOLA/ 70 % H₂ O)

T7 = V1D4 = Variedad Dasycarpa, sin dosis de fertilizante líquido

T8 = V2D4 = Variedad Roth, sin dosis de fertilizante líquido

4.3.2. Croquis del experimento

En la figura 8. Se muestra la distribución de los tratamientos del arreglo experimental.

Figura 8. Croquis del experimento

	A	B	C	D	E	F	G	H
I	T ₈	T ₇	T ₄	T ₅	T ₃	T ₅	T ₁	T ₈
II	T ₆	T ₃	T ₆	T ₇	T ₁	T ₈	T ₂	T ₄
III	T ₄	T ₂	T ₅	T ₇	T ₂	T ₁	T ₆	T ₃

4.4. Variables de respuesta

4.4.1. Variables agronómicas y de calidad

4.4.1.1. Altura de planta

La medida se realizó desde el cuello hasta el ápice de la planta, en unidades de centímetros, con la ayuda de una regla milimetrada. La toma de medidas se la realizó cada cinco días hasta los veinte días.

4.4.1.2. Evaluación nutricional

Una vez realizada la cosecha se llevaron las muestras de cada tratamiento al Laboratorio de Calidad Ambiental (LCA), del Instituto de Ecología de la Facultad de Ciencias Puras y Naturales, tomando en cuenta los siguientes parámetros: Materia Seca, Materia Orgánica, Cenizas y Proteína Cruda.

4.4.2. Rendimiento kg/m²

El rendimiento de la materia verde (kg/m²) se la obtuvo después cosechada el forraje biohidropónico que fue a los veinte días, se pesó el forraje directamente en la balanza digital registrando el peso obtenido de cada tratamiento.

4.4.3. Evaluación económica parcial

Realizado con la finalidad de identificar la dosis de abono orgánico líquido aeróbico más beneficioso en términos económicos.

4.4.3.1. Beneficio bruto (BB)

También llamado ingreso bruto, es el rendimiento ajustado, multiplicado por el precio del producto.

$$\mathbf{BB = R \times PP}$$

Donde:

BB = Beneficio Bruto (Bs)

R = Rendimiento Ajustado (Bs)

PP = Precio del Producto (Bs)

4.4.3.2. Beneficio neto (BN)

El beneficio neto es el valor de todos los beneficios brutos en la producción (BB), menos los costos de producción (CP).

$$\mathbf{BN = BB - CP}$$

Donde:

BN = Beneficio Neto (Bs)

BB = Beneficio Bruto (Bs)

CP = Costos de Producción (Bs)

4.4.3.3. Relación beneficio y costo (B/C)

La relación beneficio/costo sirve para medir la capacidad que tiene la aplicación de un tratamiento alternativo y generar rentabilidad por cada unidad monetaria gastada (Arias, 1996).

$$\mathbf{B/C = BB / CP}$$

Donde:

B/C = Beneficio Costo (Bs)

BB = Beneficio Bruto (Bs)

CP = Costos de Producción (Bs)

Por tanto:

Cuando el valor de B/C es $> a 1$ = Es rentable

Cuando el valor de B/C es $= a 1$ = No hay perdidas

Cuando el valor de B/C es $< a 1$ = No es rentable

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Evaluación del comportamiento agronómico y calidad del forraje

5.1.1. Análisis de varianza sobre la altura de planta

El resultado obtenido en el análisis de varianza se detalla en el siguiente cuadro:

Cuadro 4. ANVA para la altura del forraje a los 20 días

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fc.	Pr-F	Sig.
Variedad	1	3,14	3,14	2,11	0,1656	NS
Dosis	3	63,74	21,25	14,29	0,0001	**
V*D	3	1,04	0,35	0,23	0,8723	NS
Error	16	23,79	1,49			
Total	23	91,72				
CV (%) = 5,95						

** Altamente significativo * Significativo NS No significativo

Mediante los datos obtenidos del ANVA (cuadro 4) se llega a la siguiente conclusión:

Los resultados obtenidos para la altura de planta señalan que no existe diferencia estadísticamente lo que quiere decir que el comportamiento de altura de planta en la variedad es similar u homogénea.

En el caso de las dosis el resultado obtenido fue altamente significativo lo que indica que la altura de planta con la dosis de abono orgánico AOLA influye sobre el desarrollo de la planta Ya que, en el experimento, al visualizar los datos en estudio había diferencias notables, así como también estadísticamente, obteniéndose en promedio 23,5 cm con la mayor altura y la altura menor de 18,2 cm.

En la interacción de variedad y dosis fue no significativo lo que significa que son independientes, por tanto, no dependen el uno del otro.

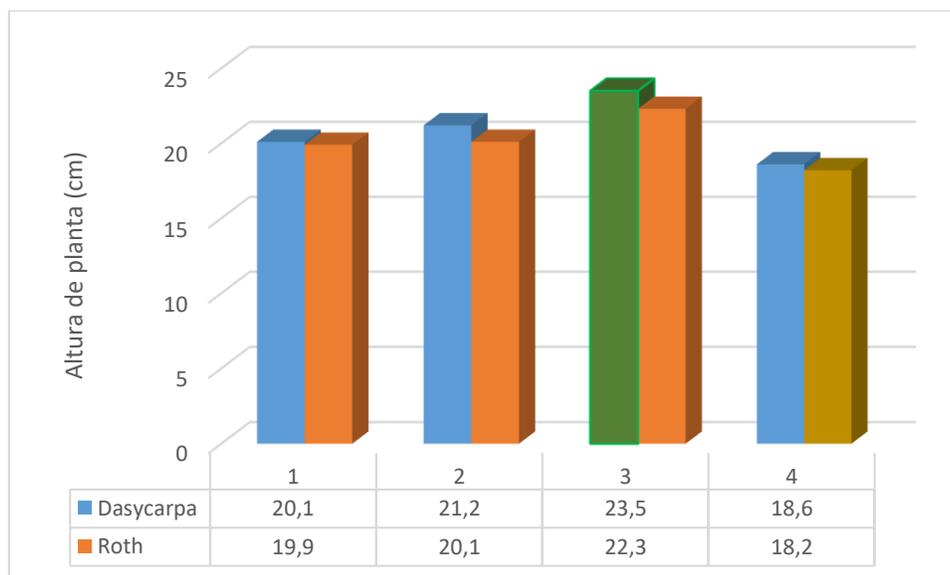
Referente al coeficiente de variación (CV), con valor de 5,95 %, que está dentro del rango menor a 12 %, lo cual indica que se tuvo un buen manejo de las unidades experimentales.

Cuadro 5. Prueba Duncan de altura de planta (cm)

Dosis	Promedio de altura (cm)	Prueba de Duncan (P 0,05)
Dosis 3	22,93	A
Dosis 2	20,66	B
Dosis 1	20,00	B
Testigo	18,40	C

El cuadro 5 muestra a detalle la prueba de medias Duncan ($p < 0,05$) de altura de planta de las dosis estudiadas. Por ende, la dosis 3 con altura de 22,93 cm es la que se diferencia del resto de las dosis ya que presenta una altura mayor, la dosis 1 con altura 20,00 cm y la dosis 2 con altura 20,66 cm presentan alturas similares estadísticamente, el testigo es estadísticamente inferior a las demás dosis con una altura de 18,40 cm.

Figura 9. Altura del forraje a los 20 días por tratamiento



D 1: Dosis 1 (10 % de AOLA/ 80 % H₂ O), **D 2: Dosis 2** (20 % de AOLA/ 70 % H₂ O) **D 3: Dosis 3** (30 % de AOLA/ 60 % H₂ O) **D 4: Testigo** (Sin dosis del abono orgánico líquido aeróbico)

En la figura 9, se observa que el tratamiento 5 (dosis al 30 %, variedad dasycarpa) es la que obtuvo una mayor altura con 23,5 cm y la que presentó menor tamaño en altura fue el tratamiento 8 (testigo, variedad roth) con un promedio de altura de 18,2 cm.

5.1.2. Evaluación de la calidad del forraje

Conocer la composición nutritiva de los alimentos es de vital importancia en la formulación de raciones que puedan cubrir los requerimientos de los animales. De esta manera se aprovecha los alimentos disponibles eficientemente, evitando pérdidas alimenticias y baja producción animal que afecten la economía del productor (Tallacagua, s.f.).

En el cuadro 6, se observa los datos obtenidos del análisis de laboratorio del forraje biohidropónico de la *Vicia villosa* en sus variedades respectivas, bajo la interacción de AOLA con diferentes dosis

Cuadro 6. Resultados obtenidos en laboratorio

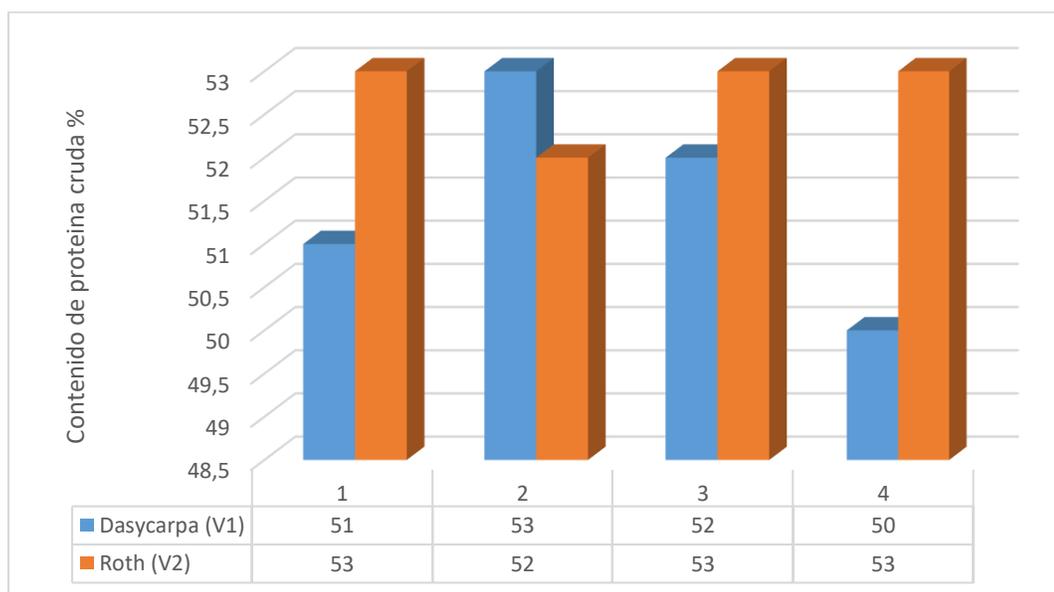
Variedades	Tratamiento	Dosis	Proteína Cruda %	Ceniza %	Materia Seca %	Materia Organica %
V1	T1	D1	51	7	13	93
	T3	D2	53	8	11	92
	T5	D3	52	8	12	92
	T7	D4	50	7	14	93
V2	T2	D1	53	8	14	92
	T4	D2	52	9	12	91
	T6	D3	53	9	13	91
	T8	D4	53	8	13	92

El análisis correspondiente en cuanto a los parámetros nutricionales es el siguiente:

5.1.2.1. Contenido de proteína cruda

El contenido en proteína más alto en promedio fueron para las dosis D2 (dosis 20 %) y D3 (dosis 30 %) con un valor de 52,5 % para ambas variedades y el que reporto menor cantidad de proteína fue para la dosis D4 (sin dosis) con 51,5 %, para ambas variedades, como se muestra en la figura 10.

Figura 10. Contenido de proteína cruda por tratamiento



D 1: Dosis 1 (10 % de AOLA/ 80 % H₂ O), **D 2: Dosis 2** (20 % de AOLA/ 70 % H₂ O) **D 3: Dosis 3** (30 % de AOLA/ 60 % H₂ O) **D 4: Testigo** (Sin dosis del abono orgánico líquido aeróbico)

El porcentaje de proteína cruda mayor a un 7 %, es considerado optimo la cual corresponde a la necesidad mínima para el mantenimiento del peso corporal del animal (Atanacio, 2015).

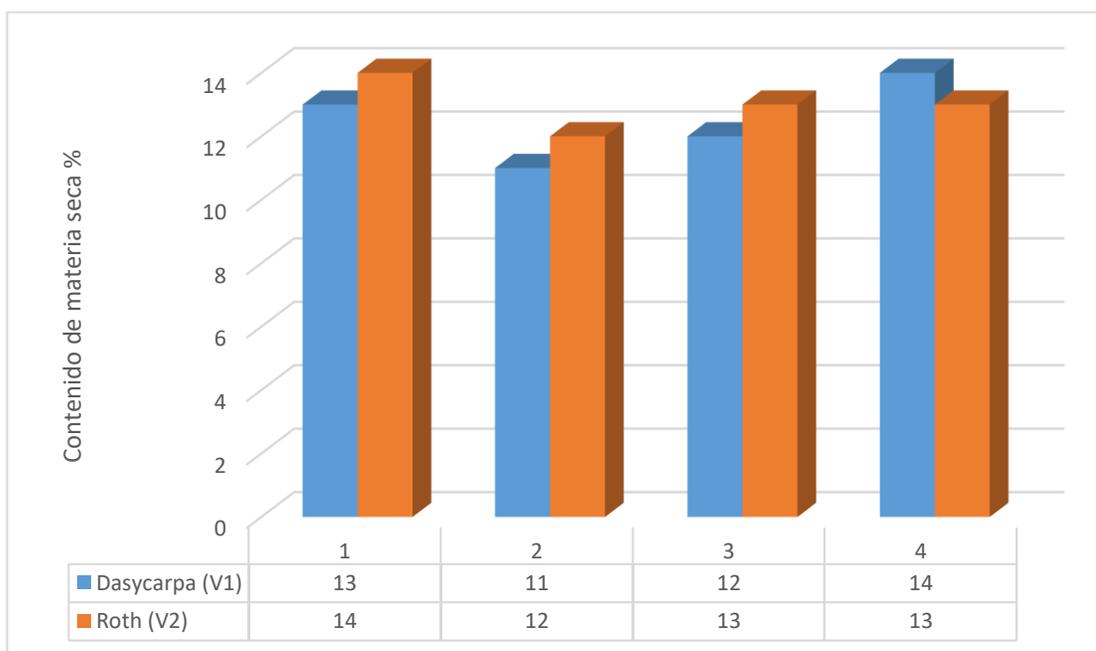
Analizando el contenido de proteína cruda obtenido en el forraje biohidroponico de *Vicia villosa* para las dos variedades es similar con una mínima variación con 50 a 53 %, lo que da a entender que el efecto de las diferentes dosis de AOLA sobre las variedades de vicia villosa son similares con alta calidad nutritiva.

A la misma vez el contenido de proteína obtenida, es mayor a la que reportan Atanacio (2015) que obtuvo un 15,12 % de proteína con la aplicación de AOLA para FVH en Avena, de la variedad criolla con la dosis 3 (V2D3). Y a la de Flores (2019) con un 12,15 % de proteína con aplicación de AOLA para FVH en Cebada, de la variedad criolla, Testigo (V2T).

5.1.2.2. Contenido de materia seca

El contenido de materia seca de cada tratamiento se la puede observar en la figura 11.

Figura 11. Contenido de materia seca por tratamiento



D 1: Dosis 1 (10 % de AOLA/ 80 % H₂ O), **D 2: Dosis 2** (20 % de AOLA/ 70 % H₂ O) **D 3: Dosis 3** (30 % de AOLA/ 60 % H₂ O) **D 4: Testigo** (Sin dosis del abono orgánico líquido aeróbico)

Los más altos valores de materia seca lo presentan los tratamientos T2 y T7 con un valor de 14 %, en comparación al resto de los tratamientos y el que menor porcentaje de materia seca presento fue el tratamiento T3 con un 11 %.

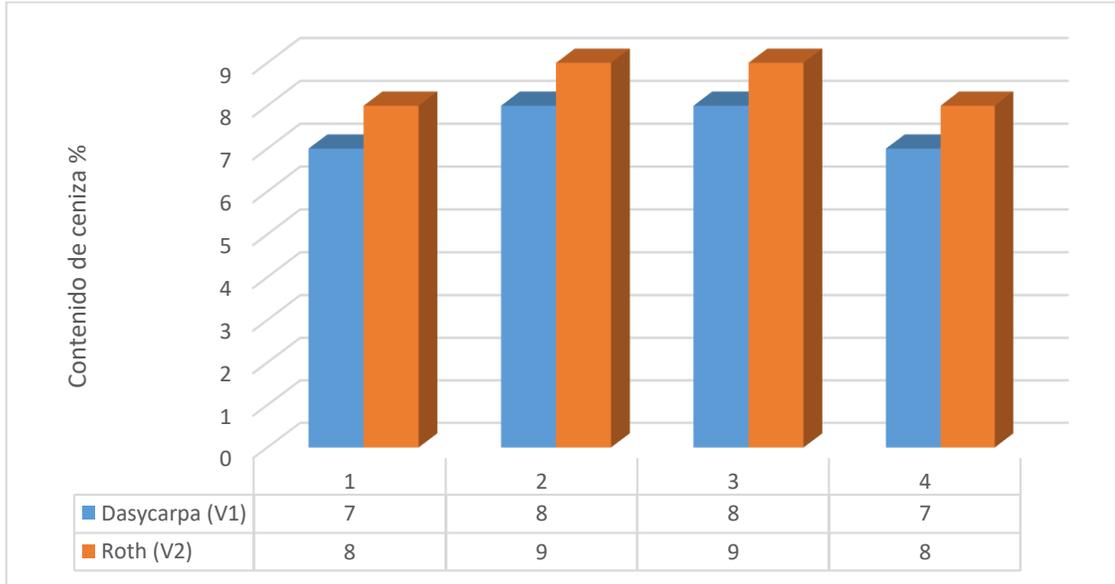
El contenido de materia seca es menor a los reportados por Flores (2019), que realizo en su investigación la utilización de AOLA para producir FVH en cebada con un valor obtenido de 15,98 % para la variedad criolla, Dosis 2 (V2D2).

Sin embargo, el porcentaje de materia seca obtenida en todos los tratamientos, está dentro de los parámetros que indica Demanet (s.f.) en la cual da a conocer que los rangos de materia seca que debe tener un forraje verde debe de estar entre 8 % a 16 %.

5.1.2.3. Contenido de ceniza

En la figura 12 se muestra que los tratamientos que mostraron menor porcentaje de ceniza fueron el T1 y T7 con un valor del 7 %, a comparación del resto de los tratamientos que obtuvieron un porcentaje mayor a este.

Figura 12. Contenido de ceniza por tratamiento



D 1: Dosis 1 (10 % de AOLA/ 80 % H₂O), **D 2: Dosis 2** (20 % de AOLA/ 70 % H₂O) **D 3: Dosis 3** (30 % de AOLA/ 60 % H₂O) **D 4: Testigo** (Sin dosis del abono orgánico líquido aeróbico)

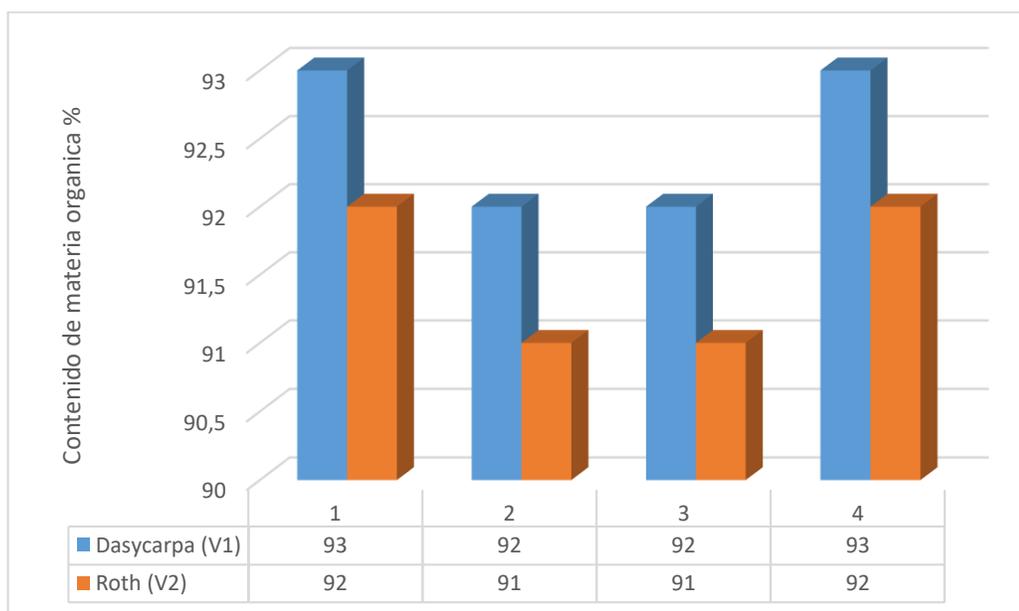
El contenido de ceniza en mayor porcentaje fue de 9 %, para los tratamientos T4 y T6, el cual es alto a comparación de lo que reportan Flores (2019) que obtuvo un 5 % en cultivo de cebada (Variedad IBTA 80, Dosis 2) y Atanacio (2015) con 2,9 % en cultivo de avena (Variedad criolla, Dosis 2), en la cual ambos utilizaron AOLA para producir forraje hidropónico.

Si bien la determinación del contenido de ceniza es con el objetivo principal de evaluar el contenido de minerales, esta no contribuye a dar energía. Por ende, mientras más cenizas hay, quedan menos elementos con valor energético tal como lo cita Atanacio (2015).

5.1.2.4. Contenido de materia orgánica

En la figura 13 se puede apreciar los valores obtenidos de materia orgánica por cada tratamiento, en la cual los valores más altos de materia orgánica corresponden a los tratamientos T1 y T7 con un valor de 93 % y los tratamientos T4 y T6 presentaron un valor bajo de 91 % en comparación al resto de los tratamientos.

Figura 13. Contenido de materia orgánica por tratamiento



D 1: Dosis 1 (10 % de AOLA/ 80 % H₂ O), **D 2: Dosis 2** (20 % de AOLA/ 70 % H₂ O) **D 3: Dosis 3** (30 % de AOLA/ 60 % H₂ O) **D 4: Testigo** (Sin dosis del abono orgánico líquido aeróbico)

La mayor cantidad de materia orgánica encontrada en el forraje verde biohidropónico de la vicia fue para los tratamientos T1 y T7 con 93 %, superior en la que reporta Flores (2019) que obtuvo un valor de 92,3 % (Variedad IBTA 80, Dosis 3) e inferior al 98 % (Variedad criolla, Testigo) en el cultivo de avena que lo reporto Atanacio (2015), ambos utilizaron AOLA en la producción de forraje hidropónico.

5.1.3. Análisis de calidad del fertilizante orgánico AOLA

De acuerdo a resultados del Laboratorio de Calidad Ambiental los valores de nitrógeno, fósforo y potasio (NPK) de la composición físico – químico del fertilizante orgánico AOLA se muestra en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Análisis físico – químico del abono orgánico AOLA

Parámetro	Resultado	Unidades
Nitrógeno total	20	mg/l
Fosforo total	16	mgP-PO ₄ /l
Conductividad eléctrica	1506	µS/cm
Potasio	345	mg/l
pH	9,7	-

El nitrógeno es contenido en la molécula de clorofila, por lo que una deficiencia va a resultar en una condición clorótica en la planta. El nitrógeno es también un constituyente estructural de las paredes celulares (Rodríguez, 1998).

Chilon (1997) citado por Atanacio (2015), indica que el porcentaje de nitrógeno mayor a 0,2 % es considerado alto, por tanto, el suelo y el cultivo pueden verse favorecidos en su estructura y fertilidad, dando un mayor rendimiento del cultivo. La cantidad de nitrógeno obtenido en el análisis del abono AOLA es de 20 mg/l lo que está dentro los parámetros exigidos para su uso.

Adams, (1986) citado por Rodríguez (1998), indica que el fósforo se considera como un elemento nutritivo mayor o igual que el N y K, sin embargo, en la mayoría de las plantas se presenta en menores cantidades que estos. El fósforo es un constituyente de compuestos de la planta tal como enzimas, proteínas y es un componente estructural de fosfoproteínas, fosfolípidos y ácidos nucleicos, por lo tanto, juega un papel importante en la vida de las plantas e importante también en el crecimiento reproductivo, la división celular, síntesis de azúcar, grasas y proteínas.

Incrementa también la resistencia a enfermedades. Una buena fertilización con Fósforo ha sido asociada con un incremento del crecimiento de las raíces (Rodríguez, 1989; Tisdale y Nelson, 1991 citado por Rodríguez, 1998).

En cuanto a la conductividad eléctrica del abono orgánico líquido aeróbico (AOLA) utilizado, está dentro de los parámetros que indica Porfirio *et al.*, (2013), donde da a conocer que los rangos óptimos de una solución nutritiva deben de estar entre los 1500 a 2000 µS/cm de conductividad eléctrica.

El potasio es absorbido como ión "K". La forma asimilable para las plantas del total del potasio es generalmente pequeña. A diferencia de otros elementos no forma parte de los componentes de la planta. Sus funciones son más bien de naturaleza catalítica. El potasio se enlaza iónicamente a la piruvato quinasa que es esencial en la respiración y en metabolismo de carbohidratos. Es un constituyente de la fotosíntesis bajo condiciones de baja intensidad (Tisdale y Nelson, 1991; Wallace, 1961 citado por Rodríguez, 1998).

El potasio difiere de los elementos anteriores en que no forma parte estructural de la planta, su función más bien es activando enzimas que actúan en el metabolismo de la planta. Se han detectado más de 50 enzimas que dependen o son estimuladas por este elemento (UAAAN, 2011).

En el cuadro 4 se puede apreciar que el valor del pH obtenido fue de 9,7 que es alto a comparación de lo que reporta Flores (2019), sin embargo, Zohary y Hopf (2000), indican que las exigencias del pH del cultivo de la vicia tienen un requerimiento de pH entre 5,5 y 8.

Asimismo, las vicias pueden adaptarse a un rango de pH en el suelo, los cuales fluctúan de desde 5 a 9. A pesar de esta aceptación de pH del cultivo de la vicia, la nodulación y el crecimiento son óptimos a pH neutros a alcalinos con un rango de 6 a 8 así como la cita Segura (2015).

5.2. Análisis de productividad del forraje biohidropónico

5.2.1. Análisis de varianza sobre el rendimiento de forraje

En el cuadro 8 se muestra los resultados obtenidos del rendimiento del forraje verde hidropónico.

Cuadro 8. ANVA del peso fresco de forraje a los 20 días

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fc.	Pr-F	Sig.
Variedad	1	1,57	1,57	3,75	0,0708	NS
Dosis	3	16,41	5,47	13,09	0,0001	**
V*D	3	0,45	0,15	0,36	0,7829	NS
Error	16	6,69	0,42			
Total	23	25,11				
CV (%) = 5,20						

** Altamente significativo * Significativo NS No significativo

Los resultados en el ANVA para el rendimiento, señala que no existe diferencia estadística, que quiere decir que el rendimiento del forraje en las variedades es similar u homogénea.

En el efecto de la dosis el resultado fue altamente significativo, lo que da a entender que utilizar diferentes dosis de fertilizante orgánico AOLA influye en el rendimiento del forraje.

En la interacción de los factores variedad y dosis fue no significativo esto indica que la acción conjunta de ambos factores no logra permitir diferencias estadísticamente.

El coeficiente de variación fue de 5,2 %, menor a 12 %. Lo que nos da a conocer que los datos son confiables y que el manejo de las unidades experimentales fue manejado eficazmente.

Cuadro 9. Prueba Duncan del peso fresco de la planta

Dosis	Promedio de peso fresco de forraje (kg)	Prueba de Duncan (P 0,05)	
Dosis 3	13,67	A	
Dosis 2	12,54	B	
Dosis 1	12,13	B	C
Dosis 4	11,38	C	

El cuadro 9 muestra la prueba de medias de Duncan ($p < 0,05$) del peso fresco en kg/m^2 de las dosis estudiadas. En tal sentido, estadísticamente la dosis 3 presento una mayor rendimiento que el resto con un valor de $13,67 \text{ kg/m}^2$, las dosis 2 y 1 son similares estadísticamente obteniéndose los siguientes rendimientos consecutivos de $12,54 \text{ kg/m}^2$ y $12,13 \text{ kg/m}^2$ de igual forma las dosis 1 y 4 presentan rendimientos similares estadísticamente con $12,13 \text{ kg/m}^2$ y $11,38 \text{ kg/m}^2$ consecutivamente, siendo este último el que tienen el menor rendimiento en comparación a los demás tratamientos al cual no se le aplico ninguna dosis de fertilizante.

El rendimiento obtenido de $13,67 \text{ kg/m}^2$ es superior a las demás variedades de vicia como se muestra en el ANEXO 9, que los mismos fueron producidos a campo abierto tanto en

valles como en el altiplano, incluso se superó a la vicia sativa que obtuvo los mejores resultados con 9,8 kg/m² producido en el Valle del Mantaro como lo cita Zarate (1986).

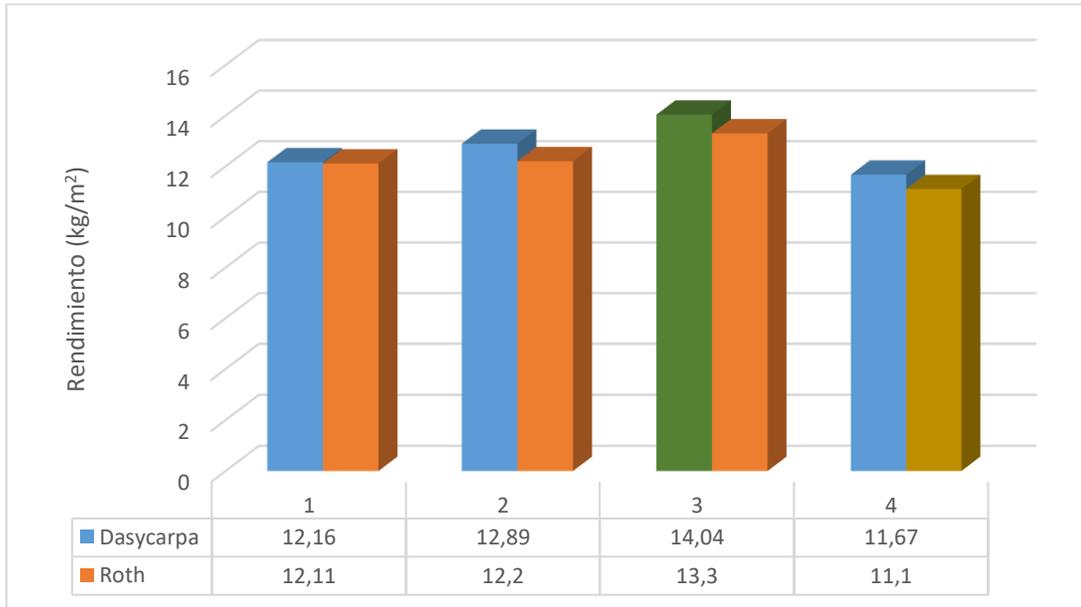
El rendimiento del forraje verde hidropónico se lo determino pesando el forraje en fresco de cada bandeja de 0,086 m² y se lo expreso en kilogramos. Para lo cual el rendimiento está definido como la masa (o peso) de un producto cualquiera por unidad de superficie, en el cuadro 10 se muestra los rendimientos obtenidos del forraje de vicia producidos por tratamiento durante el periodo de investigación en la cual el mayor rendimiento fue de 14,04 kg/m².

Cuadro 10. Rendimiento del forraje biohidropónico

Variedades	Tratamiento	Dosis	Densidad kg/0,0858 m ²	Peso MV kg/0,0858 m ²	Peso MV kg/m ²	Conversión Grano: FVH
Variedad 1 Dasycarpa	T1	D1	0,2402	1,05	12,16	1: 4,35
	T3	D2	0,2402	1,11	12,89	1: 4,61
	T5	D3	0,2402	1,21	14,04	1: 5,02
	T7	D4	0,2402	1,00	11,67	1: 4,18
Variedad 2 Roth	T2	D1	0,2402	1,04	12,11	1: 4,33
	T4	D2	0,2402	1,05	12,2	1: 4,37
	T6	D3	0,2402	1,14	13,3	1: 4,76
	T8	D4	0,2402	0,96	11.1	1: 3,98

En el cuadro se puede observar que el tratamiento T5 de la variedad dasycarpa, alcanzo un mayor valor en conversión de semilla a forraje verde biohidropónico, el cual indica que por 1 kg de semilla se obtuvo un peso de 5,02 kg de forraje y el valor más bajo corresponde al tratamiento 8 de la variedad roth con un valor de conversión de 1:3,98 el cual nos da a conocer que por 1 kg de semilla se obtuvo 3,98 kg de forraje verde hidropónico.

Figura 14. Rendimiento del forraje por tratamiento



D 1: Dosis 1 (10 % de AOLA/ 80 % H₂ O), **D 2: Dosis 2** (20 % de AOLA/ 70 % H₂ O) **D 3: Dosis 3** (30 % de AOLA/ 60 % H₂ O) **D 4: Testigo** (Sin dosis del abono orgánico líquido aeróbico)

De acuerdo a la figura 14 se llega a concluir que el tratamiento T5 (dosis al 30 %, variedad dasycarpa) presenta mayor rendimiento en materia fresca de 14,04 kg/m², y el menor rendimiento en materia de peso fresco fue el tratamiento 8 (testigo) con 11,1 kg/m².

5.3. Evaluación económica parcial en la producción de forraje biohidropónico

Realizar una evaluación económica en cualquier tipo de negocio económico productivo es de vital importancia para lograr el éxito, con esto podemos determinar los beneficios que se lograrán en un futuro próximo, en nuestro caso es la producción de forraje hidropónico orgánico de *Vicia villosa*.

5.3.1. Ajuste del rendimiento

El rendimiento debe de ser ajustado para cada variedad y dosis de abono orgánico en la investigación realizada con un beneficio medio reducido del 10 %, con la finalidad de mostrar la diferencia entre la ventaja experimental entre dos variedades con distintas dosis de abono orgánico, en una producción comercial.

Cuadro 11. Rendimiento ajustado

Rendimientos	Tratamientos							
	Variedad Dasycarpa				Variedad Roth			
	D1	D2	D3	D4	D1	D2	D3	D4
	T1	T3	T5	T7	T2	T4	T6	T8
Rendimiento promedio Kg/m ²	12,16	12,89	14,04	11,67	12,11	12,2	13,3	11,1
Rendimiento ajustado (-10%)	10,94	11,60	12,64	10,50	10,90	10,98	11,97	9,99

En el cuadro 11, se muestra el rendimiento ajustado para todo el ensayo, donde se puede observar que existe mayor rendimiento promedio de la variedad dasycarpa con la aplicación de la dosis 3 obteniendo un rendimiento de 12,64 kg/m², seguido por la dosis 4 con un rendimiento de 9,99 kg/m² de la variedad roth, estos datos obtenidos son ajustados al –10% del total del rendimiento obtenido.

5.3.2. Numero de campañas por año

Si tomamos en cuenta la utilización del terreno y las instalaciones del sistema hidropónico para la producción de forraje biohidropónico para un sistema intensivo, el mismo puede reportar mayor número de cosechas al año, por ende, mayor producción.

Un factor determinante para la producción de forraje hidropónico es el tiempo desde el desarrollo hasta la cosecha, el tiempo para el presente trabajo de investigación fue de 20 días, esto sería 18 cosechas por año que puede realizarse para la obtención de un alto ingreso económico.

5.3.3. Beneficio bruto

Para determinar el ingreso bruto este se lo determino multiplicando el rendimiento ajustado, por el precio promedio de kilogramo de forraje verde hidropónico, y para calcular el beneficio bruto anual se multiplico el beneficio bruto de una cosecha, por la cantidad de cosechas obtenidas en un año.

Cuadro 12. Beneficio bruto

Rendimientos	Tratamientos							
	Variedad Dasycarpa				Variedad Roth			
	D1	D2	D3	D4	D1	D2	D3	D4
	T1	T3	T5	T7	T2	T4	T6	T8
Rendimiento promedio Kg/m ²	12,16	12,89	14,04	11,67	12,11	12,2	13,3	11,1
Rendimiento ajustado (-10%)	10,94	11,6	12,64	10,5	10,9	10,98	11,97	9,99
Precio (Bs/kg)	4	4	4	4	4	4	4	4
Beneficio bruto (Bs/m ²)	43,76	46,40	50,56	42,00	43,60	43,92	47,88	39,96
Beneficio bruto/Año	787,68	835,20	910,08	756,00	784,80	790,56	861,84	719,28

En el cuadro 12 se observa que el tratamiento T5 (variedad dasycarpa, dosis de AOLA al 30 %) presenta un mayor ingreso bruto, con un monto de 910,08 Bs/año y el que menor beneficio bruto presentó fue el tratamiento 8 (variedad roth al que no se le aplicó fertilizante) con una suma de 719,28 Bs/año.

5.3.4. Costos totales

Los costos totales son la suma de los costos de producción (o variables) con los costos fijos. Como se muestra en el cuadro 13.

Cuadro 13. Costos totales por tratamiento

ITEMS	18 ciclos por años (20 días/año)								
	Costo (Bs/m ²)	Variedad Dasycarpa				Variedad Roth			
		D1	D2	D3	D4	D1	D2	D3	D4
		T1	T3	T5	T7	T2	T4	T6	T8
Costos fijos									
Hidrometro		0,0850	0,0850	0,0850	0,0850	0,0850	0,0850	0,0850	0,0850
Bandejas		0,0480	0,0480	0,0480	0,0480	0,0480	0,0480	0,0480	0,0480
Balanza Analítica		0,0001	0,0090	0,0090	0,0090	0,0090	0,0090	0,0090	0,0090
Atomizadores		0,0120	0,0120	0,0120	0,0120	0,0120	0,0120	0,0120	0,0120
Forro Negro		0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28
Estructura del ambiente hidropónico	60	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6

Construcción de estantes de producción	80	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Total costos fijos		1,83	1,83	1,83	1,83	1,83	1,83	1,83	1,83
Costos variables									
Semilla		13,46	13,46	13,46	13,46	13,46	13,46	13,46	13,46
Fertilizante liquido		1,4	2,8	4,2	0	1,4	2,8	4,2	0
Hipoclorito de sodio		0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
Mano de obra		18,00	18,00	18,00	18,00	18,00	18,00	18,00	18,00
Total, costos variables		33,06	34,46	35,86	31,66	33,06	34,46	35,86	31,66
Costos totales		34,89	36,29	37,69	33,49	34,89	36,29	37,69	33,49

D 1: Dosis 1 (10 % de AOLA/ 80 % H₂ O), **D 2: Dosis 2** (20 % de AOLA/ 70 % H₂ O) **D 3: Dosis 3** (30 % de AOLA/ 60 % H₂ O) **D 4: Testigo** (Sin dosis del abono orgánico liquido aeróbico)

5.3.5. Beneficio neto

El beneficio neto refleja los ingresos obtenidos luego de restarle los costos totales como se muestra a continuación en el cuadro 14.

Cuadro 14. Beneficio neto para la producción de forraje biohidropónico

ITEMS	Tratamientos							
	Variedad Dasycarpa				Variedad Roth			
	D1	D2	D3	D4	D1	D2	D3	D4
	T1	T3	T5	T7	T2	T4	T6	T8
Beneficio bruto (Bs/m ²)	43,76	46,40	50,56	42,00	43,60	43,92	47,88	39,96
Beneficio bruto/Año	787,68	835,20	910,08	756,00	784,80	790,56	861,84	719,28
Total costos	34,89	36,29	37,69	33,49	34,89	36,29	37,69	33,49
Beneficios netos	8,87	10,11	12,87	8,51	8,71	7,63	10,19	6,47

Realizando el análisis económico entre las variedades se indica los siguientes resultados, el tratamiento T5 (variedad dasycarpa, dosis de AOLA al 30 %), obtuvo un beneficio neto de 12,87 Bs/m², superando al resto de los tratamientos.

5.3.6. Relación beneficio/costo

La relación beneficio/costo es aquella relación entre los beneficios brutos sobre los costos de producción, en el cuadro 15 se detallan la relación B/C por cada tratamiento.

Cuadro 15. Beneficio/costo (Bs/m²)

ITEMS	Tratamientos							
	Variedad Dasycarpa				Variedad Roth			
	D1	D2	D3	D4	D1	D2	D3	D4
	T1	T3	T5	T7	T2	T4	T6	T8
Beneficio bruto (Bs/m ²)	43,76	46,4	50,56	42	43,6	43,92	47,88	39,96
Total costos	34,89	36,29	37,69	33,49	34,89	36,29	37,69	33,49
Beneficio/costo	1,25	1,28	1,34	1,25	1,25	1,21	1,27	1,19

En base a los análisis de relación beneficio/costo y en base a los costos totales de producción por año y tratamiento se puede llegar a concluir que si existe una inversión aceptable.

En el cuadro 15 se observa las diferencias que existe en los ingresos de producción del forraje biohidropónico por cada tratamiento, apreciándose notables diferencias. Sin embargo, se puede obtener rentabilidad en ambas variedades, pero la que más alta rentabilidad muestra es la variedad dasycarpa a comparación de la variedad roth que presenta una baja rentabilidad en base a las dosis aplicadas del fertilizante orgánico.

Como ambas variedades son certificadas y las mismas presentaron un B/C positivo, se puede recomendar a un productor que utilice la variedad dasycarpa con una dosis del 30 % de abono líquido aeróbico (tratamiento 5), que obtuvo un valor de Bs 1,34 seguido del tratamiento 3 (variedad dasycarpa, dosis al 20 %) con Bs 1,28 estos datos obtenidos nos indican que es rentable ya que los valores son mayores a 1.

6. CONCLUSIONES

En base a los objetivos planteados y los resultados obtenidos, después de haber realizado los análisis e interpretación de los datos obtenidos se llegó a las siguientes conclusiones:

- El ANVA de altura de planta nos muestra que hay un efecto altamente significativo para el factor niveles de dosis, para el factor interacción variedad por dosis no se obtuvo un efecto significativo y para el factor variedad no hubo significancia entre las variedades. En la evaluación de los promedios por análisis Duncan (0,05), el promedio de mayor altura presento la dosis 3 con 22,93 cm, seguido de las dosis 2 y 1 con 20,66 y 20,00 cm, respectivamente. Y por último el tratamiento 4 testigo, que presento una altura menor al resto con 18,40 cm.
- En cuanto al análisis de calidad del forraje biohidropónico de vicia villosa en el contenido de proteína cruda, para ambas variedades es similar con una mínima variación de 50 a 53%.
- El mayor contenido de materia orgánica lo presentaron los tratamientos T1 y T7 con un porcentaje del 93%. En el contenido de ceniza el T4 y T6 registro 9%. Y un mayor contenido de materia seca lo presento el T2 y T7 con un 14 %.
- En el rendimiento de materia verde, el ANVA nos muestra que existe una alta significancia para el factor dosis, en la evaluación de los promedios por la prueba Duncan (0,05), el mayor rendimiento obtenido fue con la dosis 3 con 13,67 kg y el menor lo presento el testigo con 11,38 kg que es significativamente menor al resto de los tratamientos.
- En el análisis económico preliminar, con los resultados obtenidos del beneficio/costo se llega a concluir que el tratamiento 5 (dosis al 30% con AOLA, variedad dasycarpa) es el más rentable registrando una ganancia del 0,34 Bs por

cada boliviano que se invierte, esto es debido al costo de la semilla que de una manera significativa influye en los costos de producción.

7. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar más investigaciones aplicando otras dosis de abono orgánico líquido aerobico (AOLA) en el cultivo de *Vicia villosa* para de esta forma ver los efecto y ventajas que puedan presentar.
- Realizar otras investigaciones con distintos niveles de densidad para la semilla de *Vicia villosa* con la variedad dasycarpa la cual obtuvo mejores rendimientos.
- Aplicar otros tipos de abonos orgánicos líquidos para la producción de forraje biohidropónico para este tipo de cultivo y ver los efectos positivos o negativos que se puedan tener en cuanto al rendimiento y en la calidad nutricional.
- El fertilizante orgánico AOLA es unan buena alternativa para su utilización en plantas ya sea para forraje o para grano, lo cual ayuda al desarrollo y crecimiento de la planta proveyéndole de nutrientes.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Adams, P. 1986. *Mineral nutrition. In the tomato crop*, Por Atherton, J. G. y Rudich (eds) Chapman and hall pp. 230-234.
- Aguirre, A. Mora, D. Silva, L. y Olguin, J. (2014). *Poroduccion de Forraje Verde Hidroponico (FVH)*. Chile. s.e.
- Antony A. y Pilov A. 1980. *Cultivo de Leguminosas Para Forraje y Semillas*. Edit. La Espiga. Moscú.
- Arano, C. 1998. *Forraje Verde Hidropónico y Otras Técnicas de Cultivos sin Tierra*. Editado por el propio autor. Provincia de Buenos Aires, Argentina.
- Arias, J. 1996. *Producción Postcosecha, Procedimiento y Comercialización de cultivos de hortaliza, Oficina regional FAO para América Latina y Caribe*. Santiago, Chile.
- Atanacio, M. 2015. *Evaluación de tres dosis de abono líquido y dos variedades de avena (Avena sativa), en la producción de forraje verde hidropónico en la ciudad de La paz*. Tesis de grado. Para optar el título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía. La Paz, Bolivia. 82 p.
- Baigorria, T.; Gómez, D.; Cazorla, C. y Lardone, A. s.f. *Bases para el manejo de vicia como antecesor del cultivo de maíz*. Laboulaye, Argentina. 1 – 12 p.
- Beltrano, J. y Gimenez, D. (2015). *Cultivo en hidroponia*. 1ra ed. Ed. Edulp. Buenos Aires, Argentina. 180 p.
- Bidwell, S. 1993. *Fisiología Vegetal*. AGT Editores. 784 p.
- Bosque, H.; Taboada, G.; Fernandez, C.; Chipana, R.; Mamani, F.; Aparicio, J.; Cespedes, R.; Manzaneda, F.; Poma, E. y Mena, F. 2015. *Memoria institucional*. Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía. LA PRIMERA S.R.L. ARTES GRAFICAS. La Paz, Bolivia. 134 p.
- Bravo, R. 1988. *Niveles de Avena Hidropónico en la Alimentación de Conejos Angora*. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales de la Universidad de Concepción, Sede Chillan. Chile.

- Carrasco, K. 2017. *Efecto de tres niveles de abono orgánico líquido aeróbico (AOLA) en la producción del cultivo de espinaca (Spinacea oleracea l.) en la Estación Experimental de Cota-Cota La Paz*. Tesis de grado. Para optar el título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía. La Paz, Bolivia. 103 p.
- Castro, R. 2007. *Manual de Hidroponía*. La Paz, Bolivia. Editorial, Torre. P, 27.
- Cordes, G. y Brunetti, A. (s.f.). *Desarrollo de la producción de forraje verde hidropónico (FVH)*. Argentina. s.e.
- Courtis, A. (2014). *Crecimiento y Desarrollo. Catedra de Fisiología Vegetal, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura*. Mexico. 16 p.
- Chilon, E. 1997. *fertilidad de suelos y nutrición de plantas*. La Paz, Bolivia. CIAT, UMSA, EMI. 244 p.
- Chilon, E. y Chilon, J. 2015. *Potencialidades para la agricultura y la preservación del medio ambiente del Abono Orgánico Líquido Aeróbico (AOLA)*. s.e.
- Errecart, N. 2011. *Contenido de nitratos, oxalatos, vitamina C y grado de aceptación en Cultivo sin suelo de espinaca vs. Cultivo en suelo*. Universidad FASTA, Facultad de Ciencias Médicas. Mar de plata, Argentina. 105 p.
- Estrada, J. (2012). *Preparación y reducción de riesgos en respuesta a los eventos climáticos extremos y los problemas de disponibilidad de agua en comunidades vulnerables del altiplano de Bolivia y Peru*. Guia para la construcción de invernaderos o fitotoldos. Bolivia. 79 p.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2001. *Manual Técnico "Producción de Forraje verde hidropónico"*. Primera edición. Santiago, Chile. 55 p.
- Flores, S. 2019. *Aplicación de abono orgánico líquido aeróbico en la producción de forraje verde hidropónico en dos variedades de cebada (Hordeum vulgare L.) en el Centro Experimental de Cota Cota*. Tesis de grado. Para optar el título de ingeniero

- Agrónomo. Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía. La Paz, Bolivia. 97 p.
- Garro, J. 2016. *El suelo y los abonos orgánicos*. Diseño gráfico y diagramado: Handerson Bolivar Restrepo. Impresiones el Unicornio. San José, Costa Rica. 106 p.
- Gómez, B. 2002. *La flor del Páramo V, Catálogo Ilustrado*. Editorial.- Ponferrada: Instituto Leones de Cultura. ISBN 84-95702-17-7. León, España. 260 p.
- Herrera, E. y Nuñez, W. (2007). *Producción y uso de forraje verde hidropónico de cebada, maíz amarillo*, Universidad Nacional del Centro del Perú, Facultad de Zootecnia, Tesis de Grado. Huancayo, Peru. 135 p.
- INTA y EEA Balcarce. 2014. *Nutrición Animal Aplicada. Área de Investigación en Producción Animal Grupo de Nutrición Animal*. Buenos Aires, Argentina. 159 p.
- Jaume, A. Pereira, C y Pereira, S. (2014). *Produccion de forraje verde hidropónico*. Argentina. 146 p.
- Lallana, V. (2004). *Crecimiento vegetal*. Catedra de fisiología vegetal. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Entre Rios. Oro Verde, Parana. 21 p.
- Larrazábal, M. 2012. *Cultivo asociado de centeno (Secale cereale L.) y vicia (Vicia sativa L.) para forraje*. Tesis de grado. Para obtener el título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional del Centro del Perú, Facultad de Agronomía. Jauja, Perú. 55 p.
- Lima, E. 2004. *Análisis bromatológico de cinco forrajeras introducidas para determinar su aporte en la alimentación del ganado*. Tesis de grado. Para optar el título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía. La Paz, Bolivia. 107 p.
- López, A. 2005. *Producción de forraje verde hidropónico*. Centro de investigación en química aplicada. Saltillo, Coahuila. 57 p.

- Maddaloni, J. (1993). *Las vicias*. Buenos Aires, Argentina 1 - 2 p.
- Márquez, B. 2014. *Refrigeración y congelación de alimentos: Terminología, Definiciones y Explicaciones*. Universidad Nacional de San Agustín, Facultad de Ingeniería de Procesos, Escuela Profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias. Examen de Suficiencia Profesional. Para optar el Título Profesional de: Ingeniera en Industrias Alimentarias. Arequipa, Perú. 63 p.
- Medina, M. y Lardizabal, R. (2011). *Construcción de invernadero de bajo costo*. Honduras. 30 p.
- Mieres, J. 2004. *Guía para la alimentación de rumiantes*. Unidad de Agronegocios y Difusión del INIA. Montevideo, Uruguay. 84 p.
- Mita, E. 2016. *Efecto del abono orgánico líquido aeróbico en la producción del Cultivo de Quirquiña (Porophyllum ruderale), en invernadero en la Estación Experimental de Patacamaya*. Tesis de grado. Para optar el título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía. La Paz, Bolivia. 74 p.
- Morales, S. (2013). *Producción de forraje verde hidropónico como alternativa de suplemento para ganado caprino durante la época seca en la región Lagunera*. Universidad autónoma Agraria "Antonio Narro", División de Carreras Agronómicas. Toluca, Mexico. 43 p.
- Perez, N. 1987. *Efecto de la Sustitución de Concentrado por Forraje Obtenido en Condiciones de Hidroponía en una Crianza Artificial de Terneros*. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales de la Universidad de Concepción, Sede Chillan. Chile.
- Porfirio, J. Morales, H. Sandoval, M. Gomez, A. Cruz, E. Juarez, C. Aguirre, J. Alejo, G. y Ortiz, M. (2013). *Producción de forraje verde hidropónico*. Fuente nueva época. Mexico. 26 p.
- Ramirez, C. 2016. *"Efecto de la nutrición sobre la calidad del Forraje Verde Hidropónico en la zona de Alajuela, Costa Rica"*, Universidad de Costa Rica, Facultad de Ciencias Agroalimentarias, Tesis de Grado. Costa Rica. 81 p.

- Renzi, J.; Vasicek, J.; Reinoso, O. y Bruna, M. S.f. *Resiembra natural de "vicia villosa" en el Sudoeste semiárido*. Buenos Aires, Argentina. 1 – 3 p.
- Rodríguez, C. 1998. *Efecto del nitrógeno, fosforo y potasio en el crecimiento y producción de plántulas de tomate (Lycopersicon esculentum mili) var. floradade*. Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Agronomía, Subdirección de Estudios de Postgrado. Tesis. Para obtener el grado de maestro en ciencias. San Nicolás de los Garza, México. 87 p.
- Rodríguez, S. 1989. *Fertilizantes y nutrición vegetal*. AGT editor S.A.
- Rojas, M. 2009. *Evaluación de los parámetros de producción y calidad nutricional de forraje verde hidropónico de avena y trigo producidos de manera artesanal en el Zoológico de Buin, Chile*. Trabajo de Grado para optar por el título de Zootecnista. Universidad de la Salle. Bogotá, Colombia.
- Rosas, M. (2003). *Agricultura Orgánica Práctica: tecnologías para la agricultura del futuro*. Bogotá: ICA. 286 p.
- Sánchez, A. 1996 – 1997. *Informes Técnicos de Estadía. Informes Internos de la Dirección Nacional de Empleo (DINAE – Ministerio de Trabajo y Seguridad Social)*. Montevideo, Uruguay.
- Sanchez, A. 2002. *Una experiencia de forraje verde hidropónico en el Uruguay*. Boletín informativo de la Red de Hidroponía. Lima, Perú. N 7.
- Segura, W. 2015. *Evaluación agronómica de la vicia (Vicia villosa roth) fuera de la estación de cultivo, con tres tipos de coberturas en el Centro Experimental de Quipaquipani, Viacha*. Tesis de grado. Para optar el título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía. La Paz, Bolivia. 79 p.
- SOM (Smithers Oasis de México). (S.f). *Manual de hidroponía*. México. 28 p.
- Tallacagua, R. S.f. *Nutrición Animal*. La paz, Bolivia. 146 p.
- Tisdale, S. y Nelson, W. 1991. *Fertilidad de los suelos y fertilizantes*. 1a. reimpresión. Edit. Limusa UTEHA Unión Tipográfica Hispano Americana, S.A. de C.V.; México.

- Ten G. 1982. *Producción de Forrajes*. Edit. La Espiga. Moscú.
- Valdivia, B. (1996). *Producción de forraje Verde Hidropónico, Curso Taller Internacional de Hidroponia. 25 - 29 Marzo*. Lima, Peru.
- Valdivia, B. 1997. *Producción de Forraje Verde Hidropónico, Conferencia Internacional en hidroponía comercial 6 - 8 Agosto*. Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima, Perú. s.e.
- Vavilov P. 1979. *Fitotecnia*. Edit. La Espiga. Moscú
- Villagómez, C.; Oporto, R.; Arze, A.; Ramos, V.; Rodríguez, D. y Francke, M. 2009. *Memoria Plan Director Campus Cota Cota, Propuesta Urbana y Propuesta Paisajística*. Proyecto Institucional Elaborado por Unidades Académicas de la Universidad Mayor de San Andrés. 60 p.
- Villavicencio P., A. 2014. *Producción de forraje hidropónico*. Boletín INIA No 285. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación La Platina. Santiago, Chile. 44 p. (BOLETIN)
- Zarate, R. y Amaro, E. (1970). *Comparativo de Vicias Forrajeras*. Boletín # 4. Ministerio de Agricultura Zona XX. Sub Región de Investigaciones del Departamento de Forrajes. Huancayo. Perú. s.e.
- Zarate, R. (1986). *Especies Forrajeras en el Valle del Mantaro*. Estación Experimental Santa Ana. INIA-Huancayo. Perú. s.e.
- Zohary, D. y Hopf, M. 2000. *Domestication of Plants in the Old World*. Third edition (Oxford: University Press), p. 119.

Páginas web

AADAA. S.f. Que es la hidroponía orgánica. Consultado el 22 de agosto de 2020.
Disponible en: <https://aadaa.es/que-es-la-hidroponia-organica/>

AGRICULTURERS. 2014. Como hacer tu propio fertilizante orgánico líquido. Consultado el 26 de agosto de 2020. Disponible en: <https://agriculturers.com/como-hacer-un-fertilizante-organico-liquido/>

Curiaa, J. 2017. *Vicia, cultivo estratégico para producción sustentable*. Buenos Aires, Argentina. Consultado el 20 de agosto de 2018. Disponible en: www.peman.com.ar

Demagnet, R. S.f. *Producción de Materia Seca*. Universidad de La Frontera. S.e. Consultado el 18 de agosto de 2020. Disponible en: [10-Produccion-de-Materia-Seca.pdf](#)

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2016. *Manual Técnico: Forraje Verde Hidropónico: Métodos y factores que influyen en la producción de forraje verde hidropónico. Vol. 2*. Santiago, Chile. Consultado el 2 de agosto de 2019. Disponible en: <ftp://ftp.fao.org/DOCREP/fao/field/009/ah472s/AH472s01.pdf>

FEDEGAN. 2017. Producción de abonos orgánicos líquidos. Bogotá, Colombia. Consultado el 26 de agosto de 2020. Disponible en: www.contextoganadero.com/ganaderia-sostenible/producción-de-abonos-organicos-liquidos

GroHo. 2020. Hidroponía orgánica. España. Consultado el 20 de agosto de 2020. Disponible en: <https://www.groho.es/post/hidroponia-organica>

GrowBarato.net. S.f. Bio-hidroponia: El santo grial del cultivador de Cannabis. Consultado el 24 de agosto de 2020. Disponible en: <https://www.growbarato.net/bio-hidroponia-santo-grial-del-cultivador-cannabis/>

Huete. S.f. Hidroponía. Consultado el 21 de agosto de 2020. Disponible en: <https://boletinagrario.com/ap-6,hidroponia,741.html>

- Lovey, R. 2008. *Características de una buena semilla*. Consultado el 20 de noviembre de 2018. Disponible en: <http://www.semilla.cyta.com.ar/buenasemill/buenasemilla.htm>
- McBio. S.f. Diferencias entre Bio, Organico, Sostenible y Ecologico. Consultado el 19 de agosto de 2020. Disponible en: <https://www.mcbiofertilizantes.com/news/diferencias-bio-organico-sostenible-ecologico/>
- Miserendino, E. y Astorquizaga, R. 2014. *Invernaderos: aspectos básicos sobre estructura, construcción y condiciones ambientales*. 97 – 100 p. Consultado el 20 de julio de 2019. Disponible en: [script-tmp-inta_agricultura23_invernadero.pdf](#)
- OASIS. (S.f). *Manual de hidroponía*. México. 28 p. Consultado el 1 de octubre de 2018. Disponible en: www.oasiseasyplant.mx
- Quispe, A. S.f. *Forraje verde hidropónico (F.V.H.)*. Consultado el 14 de agosto de 2020. Disponible en: www.lamolina.edu.pe/hidroponia
- Ramírez, A. 2011. *¿De qué hablan cuando dicen materia seca?*. Celaya, Guanajuato, México. 2 p. Consultado el 18 de agosto de 2020. Disponible en: www.produccion-animal.com.ar
- UAAAN (Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro). 2011. *Nutrición mineral*. Consultado el 10 de julio de 2019. Disponible en: <https://www.studocu.com>
- UPNA (Universidad Pública de Navarra). S.f. consultado el 23 de febrero de 2019. *Leguminosae, Vicia villosa*. España. Disponible en: www.unavarra.es/herbario
- USAID, 2010. *Manual para preparar Abonos y Biofermentos Orgánicos*. Perú. s.e. Consultado el 10 de octubre de 2018. Disponible en: [Manual_para_preparar_abonos_y_biofermentos_organicos.pdf](#)

ANEXOS

ANEXO 1. Resultado del análisis físico – químico del abono AOLA

Universidad Mayor de San Andrés
 Facultad de Ciencias Puras y Naturales
 Instituto de Ecología
 Laboratorio de Calidad Ambiental



Informe de Ensayo: A 154/18

Página 1 de 1

INFORME DE ENSAYO EN AOLA A154/18

Cliente:	FACULTAD DE AGRONOMIA - UMSA
Solicitante:	Tesis: Ismael Delveth Pama Yujra
Dirección del cliente:	Z/ Villa Luisa, C/ Monte Sinal No. 1174
Procedencia de la muestra:	La Paz - Cota Cota UMSA
	Provincia: Murillo
	Departamento: La Paz
Punto de muestreo:	Laboratorio de Biofertilidad Agronómica - UMSA
Responsable del muestreo:	Tesis: Ismael Delveth Pama Yujra
Fecha de muestreo:	30 de junio de 2018
Hora de muestreo:	11:30
Fecha de recepción de la muestra:	20 de septiembre de 2018
Fecha de ejecución del ensayo:	Del 20 de septiembre al 03 de octubre, 2018
Caracterización de la muestra:	AOLA (Abono Orgánico Líquido Aéreo)
Tipo de muestra:	Simple
Envase:	Envase de plástico
Código LCA:	154-1
Código original:	AOLA
	Chicha de Quinoa

Parámetro	Método	Unidad	Límite de determinación	AOLA Chicha de Quinoa 154-1
Conductividad eléctrica	EPA 120.1	µS/cm	1,0	1506
Fósforo total	EPA 365.2	mgP-PO ₄ /l	0,010	16
Nitrógeno total	EPA 351.1	mg/l	0,30	20
pH	EPA 150.1		1 - 14	9,7
Potasio	EPA 258.1	mg/l	0,21	345

SM = Standard Methods (For the Examination of Water and Wastewater)
 EPA = Environmental Protection Agency (Sampling and Analysis Methods)

Los resultados de este informe no deben ser modificados sin la autorización del LCA.
 La difusión de los resultados debe ser en su integridad.

La Paz, 03 de Octubre de 2018



[Signature]
 Ing. Jaime Chicheros Paniagua
 Responsable Laboratorio de Calidad Ambiental



Campus Universitario: Calle 27 de Cota Cota, La Paz, Telf./Fax: 2772522
 Casilla Correo Central 10077, La Paz - Bolivia

ANEXO 2. Resultado análisis bromatológico del forraje

Universidad Mayor de San Andrés
Facultad de Ciencias Puras y Naturales
Instituto de Ecología
Laboratorio de Calidad Ambiental



Informe de Ensayo: MO 89/18

Página 1 de 8

INFORME DE ENSAYO EN FORAJE MO 89/18

Solicitante:	Sr. Ismael Deiveth Poma Yujra
Entidad:	UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
Dirección del cliente:	C/30 de Cota Cota
Procedencia de la muestra:	La Paz
	Provincia: Murillo
	Departamento: La Paz
	Centro Experimental de Cota Cota - UMSA
Punto de muestreo:	Sr. Ismael Deiveth Poma Yujra
Responsable del muestreo:	19 de noviembre de 2018
Fecha de muestreo:	15:00
Hora de muestreo:	20 de noviembre de 2018
Fecha de recepción de la muestra:	Del 20 de noviembre al 03 de diciembre, 2018
Fecha de ejecución del ensayo:	Forraje (Vicia Villosa)
Caracterización de la muestra:	Compuesta
Tipo de muestra:	Sobre de papel madera
Envase:	89- 1
Código LCA:	T1
Código original :	

Resultado de Análisis

Parámetro	Método	Unidad	Límite de determinación	T1 89- 1
Materia Orgánica	Calcinación	%	5,0	93
Cenizas	Calcinación	%	0,50	7,0
Materia seca	Gravimétrico 105°C	%	0,10	13
Proteína cruda	NFTA 3.1	%	0,0630	51

Los resultados de este informe no deben ser modificados sin la autorización del LCA.
La difusión de los resultados debe ser en su integridad.

La Paz, Noviembre 04 de 2018



Campus Universitario: Calle 27 de Cota Cota, La Paz, Telf./Fax: 2772522
Casilla Correo Central 10077, La Paz - Bolivia

INFORME DE ENSAYO EN FORAJE MO 89/18

Solicitante:	Sr. Ismael Deiveth Poma Yujra
Entidad:	UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
Dirección del cliente:	C/30 de Cota Cota
Procedencia de la muestra:	La Paz
	Provincia: Murillo
	Departamento: La Paz
Punto de muestreo:	Centro Experimental de Cota Cota - UMSA
Responsable del muestreo:	Sr. Ismael Deiveth Poma Yujra
Fecha de muestreo:	19 de noviembre de 2018
Hora de muestreo:	15:00
Fecha de recepción de la muestra:	20 de noviembre de 2018
Fecha de ejecución del ensayo:	Del 20 de noviembre al 03 de diciembre, 2018
Caracterización de la muestra:	Forraje (Vicia Villosa)
Tipo de muestra:	Compuesta
Envase:	Sobre de papel madera
Código LCA:	89- 2
Código original:	T2

Resultado de Análisis

Parámetro	Método	Unidad	Limite de determinación	T2 89- 2
Materia Organica	Calcincación	%	5,0	92
Cenizas	Calcincación	%	0,50	8,0
Materia seca	Gravimétrico 105°C	%	0,10	14
Proteína cruda	NFTA 3.1	%	0,0630	53

Los resultados de este informe no deben ser modificados sin la autorización del LCA.
La difusión de los resultados debe ser en su integridad.

La Paz, Noviembre 04 de 2018





INFORME DE ENSAYO EN FORAJE MO 89/18

Solicitante:	Sr. Ismael Deiveth Poma Yujra
Entidad:	UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
Dirección del cliente:	C/30 de Cota Cota
Procedencia de la muestra:	La Paz
	Provincia: Murillo
	Departamento: La Paz
Punto de muestreo:	Centro Experimental de Cota Cota - UMSA
Responsable del muestreo:	Sr. Ismael Deiveth Poma Yujra
Fecha de muestreo:	19 de noviembre de 2018
Hora de muestreo:	15:00
Fecha de recepción de la muestra:	20 de noviembre de 2018
Fecha de ejecución del ensayo:	Del 20 de noviembre al 03 de diciembre, 2018
Caracterización de la muestra:	Forraje (Vicia Villosa)
Tipo de muestra:	Compuesta
Envase:	Sobre de papel madera
Código LCA:	89- 3
Código original :	T3

Resultado de Análisis

Parámetro	Método	Unidad	Límite de determinación	T3 89- 3
Materia Organica	Calcincion	%	5,0	92
Cenizas	Calcincion	%	0,50	8,0
Materia seca	Gravimétrico 105°C	%	0,10	11
Proteína cruda	NFTA 3.1	%	0,0630	53

Los resultados de este informe no deben ser modificados sin la autorización del LCA.
 La difusión de los resultados debe ser en su integridad.

La Paz, Noviembre 04 de 2018



INFORME DE ENSAYO EN FORAJE MO 89/18

Solicitante:	Sr. Ismael Deiveth Poma Yujra
Entidad:	UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
Dirección del cliente:	C/30 de Cota Cota
Procedencia de la muestra:	La Paz
	Provincia: Murillo
	Departamento: La Paz
Punto de muestreo:	Centro Experimental de Cota Cota - UMSA
Responsable del muestreo:	Sr. Ismael Deiveth Poma Yujra
Fecha de muestreo:	19 de noviembre de 2018
Hora de muestreo:	15:00
Fecha de recepción de la muestra:	20 de noviembre de 2018
Fecha de ejecución del ensayo:	Del 20 de noviembre al 03 de diciembre, 2018
Caracterización de la muestra:	Forraje (Vicia Villosa)
Tipo de muestra:	Compuesta
Envase:	Sobre de papel madera
Código LCA:	89- 4
Código original :	T4

Resultado de Análisis

Parámetro	Método	Unidad	Límite de determinación	T4 89- 4
Materia Orgánica	Calcínacion	%	5,0	91
Cenizas	Calcínacion	%	0,50	9,0
Materia seca	Gravimétrico 105°C	%	0,10	12
Proteína cruda	NFTA 3.1	%	0,0630	52

Los resultados de este informe no deben ser modificados sin la autorización del LCA.
 La difusión de los resultados debe ser en su integridad.

La Paz, Noviembre 04 de 2018



INFORME DE ENSAYO EN FORAJE MO 89/18

Solicitante:	Sr. Ismael Deiveth Poma Yujra
Entidad:	UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
Dirección del cliente:	C/30 de Cota Cota
Procedencia de la muestra:	La Paz
	Provincia: Murillo
	Departamento: La Paz
	Centro Experimental de Cota Cota - UMSA
Punto de muestreo:	Sr. Ismael Deiveth Poma Yujra
Responsable del muestreo:	19 de noviembre de 2018
Fecha de muestreo:	15:00
Hora de muestreo:	20 de noviembre de 2018
Fecha de recepción de la muestra:	Del 20 de noviembre al 03 de diciembre, 2018
Fecha de ejecución del ensayo:	Forraje (Vicia Villosa)
Caracterización de la muestra:	Compuesta
Tipo de muestra:	Sobre de papel madera
Envase:	89- 5
Código LCA:	T5
Código original :	

Resultado de Análisis

Parámetro	Método	Unidad	Limite de determinación	T5 89- 5
Materia Organica	Calcinacion	%	5,0	92
Cenizas	Calcinacion	%	0,50	8,0
Materia seca	Gravimétrico 105°C	%	0,10	12
Proteina cruda	NFTA 3.1	%	0,0630	52

Los resultados de este informe no deben ser modificados sin la autorización del LCA.
 La difusión de los resultados debe ser en su integridad.

La Paz, Noviembre 04 de 2018



INFORME DE ENSAYO EN FORAJE MO 89/18

Solicitante:	Sr. Ismael Deiveth Poma Yujra
Entidad:	UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
Dirección del cliente:	C/30 de Cota Cota
Procedencia de la muestra:	La Paz
	Provincia: Murillo
	Departamento: La Paz
Punto de muestreo:	Centro Experimental de Cota Cota - UMSA
Responsable del muestreo:	Sr. Ismael Deiveth Poma Yujra
Fecha de muestreo:	19 de noviembre de 2018
Hora de muestreo:	15:00
Fecha de recepción de la muestra:	20 de noviembre de 2018
Fecha de ejecución del ensayo:	Del 20 de noviembre al 03 de diciembre, 2018
Caracterización de la muestra:	Forraje (Vicia Villosa)
Tipo de muestra:	Compuesta
Envase:	Sobre de papel madera
Código LCA:	89- 6
Código original :	T6

Resultado de Análisis

Parámetro	Método	Unidad	Límite de determinación	T6 89- 6
Materia Organica	Calcinacion	%	5,0	91
Cenizas	Calcinacion	%	0,50	9,0
Materia seca	Gravimétrico 105°C	%	0,10	13
Proteina cruda	NFTA 3.1	%	0,0630	53

Los resultados de este informe no deben ser modificados sin la autorización del LCA.
La difusión de los resultados debe ser en su integridad.

La Paz, Noviembre 04 de 2018



INFORME DE ENSAYO EN FORAJE MO 89/18

Solicitante:	Sr. Ismael Deiveth Poma Yujra
Entidad:	UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
Dirección del cliente:	C/30 de Cota Cota
Procedencia de la muestra:	La Paz
	Provincia: Murillo
	Departamento: La Paz
Punto de muestreo:	Centro Experimental de Cota Cota - UMSA
Responsable del muestreo:	Sr. Ismael Deiveth Poma Yujra
Fecha de muestreo:	19 de noviembre de 2018
Hora de muestreo:	15:00
Fecha de recepción de la muestra:	20 de noviembre de 2018
Fecha de ejecución del ensayo:	Del 20 de noviembre al 03 de diciembre, 2018
Caracterización de la muestra:	Forraje (Vicia Villosa)
Tipo de muestra:	Compuesta
Envase:	Sobre de papel madera
Código LCA:	89- 7
Código original :	T7

Resultado de Análisis

Parámetro	Método	Unidad	Límite de determinación	T7 89- 7
Materia Organica	Calcination	%	5,0	93
Cenizas	Calcination	%	0,50	7,0
Materia seca	Gravimétrico 105°C	%	0,10	14
Proteína cruda	NFTA 3.1	%	0,0630	50

Los resultados de este informe no deben ser modificados sin la autorización del LCA.
 La difusión de los resultados debe ser en su integridad.

La Paz, Noviembre 04 de 2018



INFORME DE ENSAYO EN FORAJE MO 89/18

Solicitante:	Sr. Ismael Deiveth Poma Yujra
Entidad:	UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
Dirección del cliente:	C/30 de Cota Cota
Procedencia de la muestra:	La Paz
	Provincia: Murillo
	Departamento: La Paz
Punto de muestreo:	Centro Experimental de Cota Cota - UMSA
Responsable del muestreo:	Sr. Ismael Deiveth Poma Yujra
Fecha de muestreo:	19 de noviembre de 2018
Hora de muestreo:	15:00
Fecha de recepción de la muestra:	20 de noviembre de 2018
Fecha de ejecución del ensayo:	Del 20 de noviembre al 03 de diciembre, 2018
Caracterización de la muestra:	Forraje (Vicia Villosa)
Tipo de muestra:	Compuesta
Envase:	Sobre de papel madera
Código LCA:	89- 8
Código original:	T8

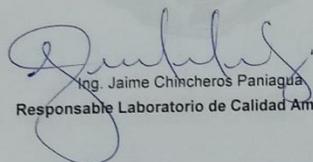
Resultado de Análisis

Parámetro	Método	Unidad	Límite de determinación	T8 89- 8
Materia Organica	Calcincion	%	5,0	92
Cenizas	Calcincion	%	0,50	8,0
Materia seca	Gravimétrico 105°C	%	0,10	13
Proteina cruda	NFTA 3.1	%	0,0630	53

Los resultados de este informe no deben ser modificados sin la autorización del LCA.
La difusión de los resultados debe ser en su integridad.

La Paz, Noviembre 04 de 2018




Ing. Jaime Chircheros Paniagua
Responsable Laboratorio de Calidad Ambiental



ANEXO 3. Fotografías del experimento

Tamizado del abono orgánico líquido aeróbico



Preparación de las dosis de AOLA



Germinación en la fase oscura



Toma de medidas



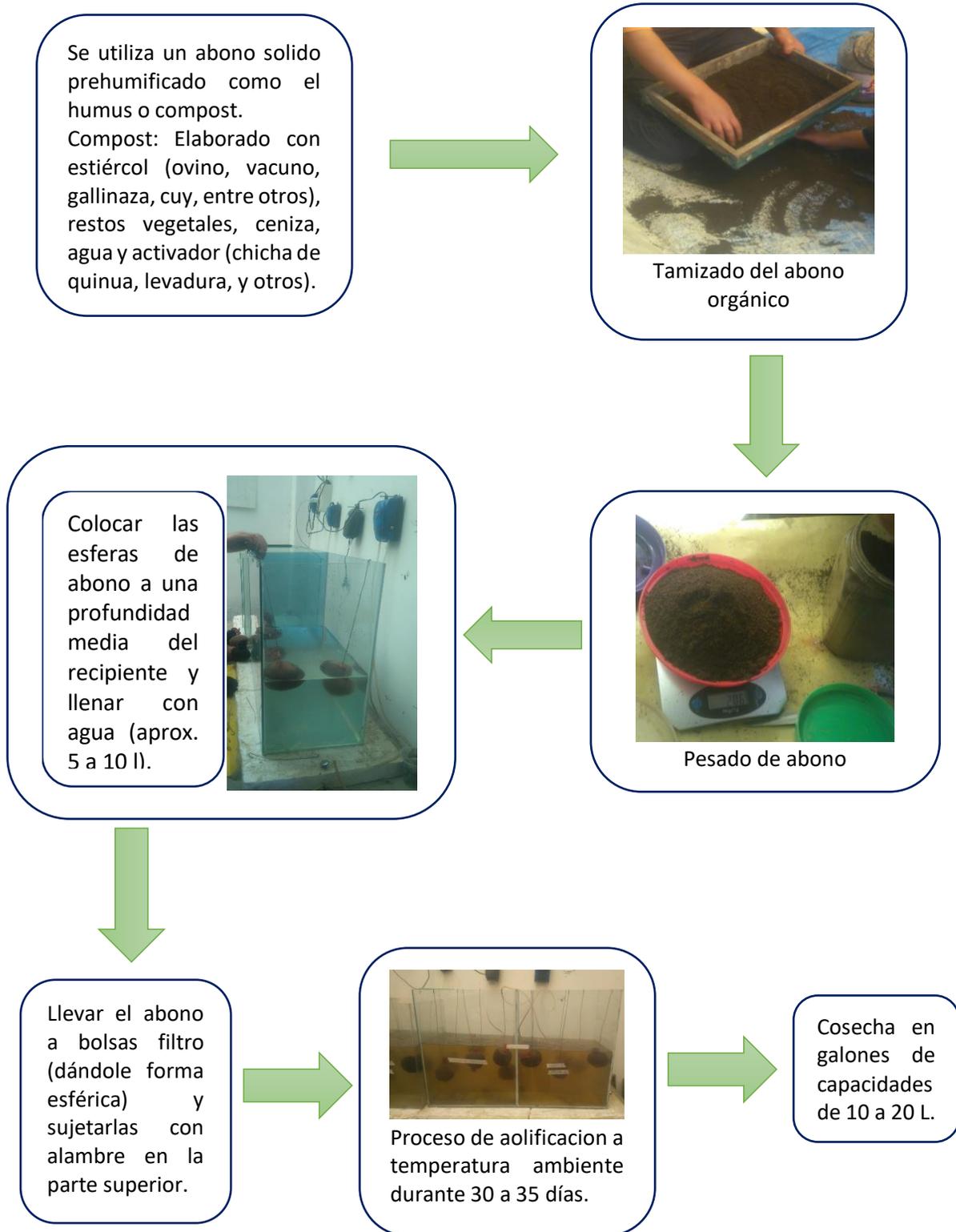
Fase de crecimiento del forraje



Toma de datos de humedad, temperatura y riego del forraje



ANEXO 4. Proceso de obtención del abono orgánico líquido aerobico AOLA



ANEXO 5. Registro de temperatura en el ambiente de producción

	Mañana			Medio día			Tarde		
	Minimo	Media	Maximo	Minimo	Media	Maximo	Minimo	Media	Maximo
1	18,4	20,8	21,6	17,7	18,9	30,4	17	22,8	30,4
2	12,9	16,5	17	18,7	29,8	32,3	12,9	18,2	20,8
3	20,2	21,7	22,6	21,2	27,7	36,9	25,4	25,4	41,8
4	21,8	22,6	22,8	28,7	29,6	31,7	21,5	21,5	34,9
5	19,3	20,5	21,7	26,8	29,4	29,6	24,3	24,3	30,2
6	16,2	18,3	19,5	23,4	24,2	24,2	20	20	29,3
7	18,5	20,8	21,6	25,9	29	29,4	20,4	20,4	38,1
8	13,9	18,3	18,5	13,9	28,8	34,9	19,2	19,2	28,1
9	15,3	20,8	20,8	15,3	23,3	23,3	19,1	20,2	28,7
10	13,2	20,6	20,8	25,5	25,5	25,6	19,8	20	24,3
11	21,2	21,6	21,7	21,2	24,2	29,6	21	21,6	30
12	16,9	18	18	15,2	22,3	22,4	19,1	20,3	28,4
13	15,4	20,1	20,3	21,2	21,7	21,9	18,7	19,2	22,5
14	19,1	20,2	22,5	28,7	30	37,1	20,1	23,3	31,4
15	20	21	23	28,9	31	37,3	20,3	25,1	33,4
16	19,2	20,1	22,4	22,6	25,3	26	19,4	21,3	30,3
17	18,5	19,9	21,1	21,2	22,3	22,4	19,5	19,5	22,3
18	17,2	21,1	22	28,9	28,9	32	18,9	19,1	24
19	18,9	22,2	23	27,1	27,8	29,8	18,7	19,9	23,1
20	18	20,5	21,9	22,4	25,2	30	22,7	22,7	28,3

ANEXO 6. Registro de humedad relativa en el ambiente de producción

	Mañana			Medio día			Tarde		
	Minimo	Media	Maximo	Minimo	Media	Maximo	Minimo	Media	Maximo
1	62	67	69	31	40	68	30	59	68
2	77	85	87	32	50	69	48	51	85
3	78	81	84	20	35	60	25	33	33
4	51	60	61	22	23	26	21	26	27
5	52	67	65	24	24	37	22	25	37
6	64	70	75	29	29	29	23	32	32
7	61	66	68	20	20	51	20	41	51
8	58	59	60	20	23	48	23	33	33
9	58	65	69	38	38	66	24	35	36
10	80	81	80	43	43	44	25	37	38
11	61	71	72	29	30	62	27	33	62
12	73	74	75	37	40	68	39	45	71
13	62	76	78	36	48	69	49	51	86
14	63	65	68	36	39	45	24	35	36
15	58	60	63	22	31	47	27	33	61
16	60	63	65	45	47	52	24	36	37
17	64	66	69	48	49	54	36	49	54
18	59	70	75	37	38	64	56	58	59
19	62	68	71	23	34	68	65	65	66
20	62	73	78	22	30	67	50	51	54

ANEXO 7. Peso de materia verde en kg/m²

R1		
Tratamiento	Peso kg/0,086m ²	Peso kg/m ²
D1V1	1,073	12,47
D2V1	1,083	12,60
D3V1	1,157	13,46
D4V1	0,987	11,47
D1V2	1,030	11,97
D2V2	1,072	12,47
D3V2	1,066	12,39
D4V2	0,932	10,84

R2		
Tratamiento	Peso kg/0,086m ²	Peso kg/m ²
D1V1	1,017	11,83
D2V1	1,067	12,41
D3V1	1,255	14,60
D4V1	0,996	11,58
D1V2	1,048	12,18
D2V2	1,124	13,07
D3V2	1,128	13,12
D4V2	1,008	11,72

R3		
Tratamiento	Peso kg/0,086m ²	Peso kg/m ²
D1V1	1,047	12,17
D2V1	1,175	13,66
D3V1	1,209	14,06
D4V1	1,027	11,94
D1V2	1,047	12,17
D2V2	0,950	11,05
D3V2	1,237	14,39
D4V2	0,925	10,75

ANEXO 8. Datos de la altura de planta

R1 (cm)					
Tratamiento	Dia 5	Dia 8	Dia 10	Dia 15	Dia 20
D1V1	4,0	7,5	9,8	15,7	20,4
D2V1	3,3	6,8	9,1	14,5	19,2
D3V1	5,7	9,2	11,5	18,5	23,3
D4V1	3,2	5,7	8,0	12,6	17,3
D1V2	4,5	7,1	9,4	14,8	19,5
D2V2	3,5	7,2	9,5	14,8	19,5
D3V2	4,3	7,8	10,1	16,3	21
D4V2	3,9	5,4	7,7	12,2	16,9
R2 (cm)					
Tratamiento	Dia 5	Dia 8	Dia 10	Dia 15	Dia 20
D1V1	3,8	7,3	9,6	15,4	20,1
D2V1	5,5	9,3	11,6	17,7	23,4
D3V1	5,1	9,6	11,9	18,2	23,9
D4V1	2,9	6,4	8,7	13,7	18,4
D1V2	3,7	6,9	9,6	15,1	19,8
D2V2	3,6	7,6	9,9	15,1	19,8
D3V2	3,7	8,0	10,0	19,5	24,2
D4V2	3,5	7,0	9,3	14,9	19,6
R3 (cm)					
Tratamiento	Dia 5	Dia 8	Dia 10	Dia 15	Dia 20
D1V1	3,7	7,2	9,5	15,2	19,9
D2V1	4,4	8,5	10,2	16,3	21
D3V1	5,7	9,8	11,5	18,4	23,3
D4V1	3,6	7,9	9,6	15,3	20
D1V2	3,9	8,0	9,7	15,6	20,3
D2V2	4,4	8,5	10,2	16,3	21
D3V2	4,9	9,0	10,7	17,1	21,8
D4V2	2,7	6,8	8,5	13,5	18,2

ANEXO 9. Rendimientos de distintas variedades de vicia a campo abierto

Cultivo	Rendimiento		Observación	Clima y/o Zona	Autores
	kg/ha	kg/m ²			
<i>Vicia villosa</i>	72 250	7,2			Zárate y Amaro (1970)
<i>Vicia bengaliensis</i>	68 100	6,8	Cultivo asociado (Vicia y Avena)		
<i>V. villosa</i>	70 000	7		Valles	Zárate (1986)
<i>V. bengaliensis</i>	60 000	6			
<i>V. sativa</i>	44 000	4,4			
<i>V. dasycarpa</i>	50 000	5			
<i>V. sativa</i>	98 000	9,8		Valle del Mantaro	
<i>V. dasycarpa</i>	88 749	8,9			
<i>V. sativa</i>	85 206	8,5		zona de San Pedro de Cajas (valle)	
<i>V. dasycarpa</i>	63 748	6,4		zona de Pampacangallo (valle)	
<i>V. bengaliensis</i>	69 350	6,9	Obtuvo una mejor altura de planta, porcentaje de germinación y resistencia a heladas		Ortiz (1990)
<i>Vicia sativa</i>	41 875	4,2			Segura (2015)
<i>Vicia villosa roth</i>	176,08	0,0176	Cobertura, de Paja en Época de helada	Comunidad de Quipaquipani, Municipio de Viacha, La Paz (altiplano)	

ANEXO 10. Análisis físico – químico de distintos abonos orgánicos de AOLA

Parámetro	Unidad	AOLA	AOLA	AOLA	AOLA
Nitrógeno total	mg/l	11	102,89 (Nitrato)	0,271 (%)	0,040 (g/l)
Fosforo total	mgP- PO ₄ /l	33	59,07	0,035 (%)	0,146 (g/l)
Potasio	mg/l	439	321,65	1040,3	0,289 (g/l)
Ph		7,9	8,79	5,76	6,19
Conductividad Eléctrica	μS/cm	1605	1420 (1,42 mS/cm)	10210 (10,21mS/cm)	2370 (2,37mS/cm)
Autores		(Carrasco, 2017)	(Flores, 2019)	(Atanacio, 2015)	(Mita, 2016)