



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE AGROPECUARIA**

**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE AZOLLA
ANABAENA (*Azolla Filiculoides* Var. *Cristata*) BAJO DIFERENTES DOSIS
DE SUSTRATO ORGÁNICO EN SANTA ELENA ECUADOR**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Requisito parcial para la obtención del título de:

INGENIERA AGROPECUARIA

Autor: Evelyn Patricia Valle Acaro

LA LIBERTAD, 2024



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE AGROPECUARIA**

**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE AZOLLA
ANABAENA (*Azolla Filiculoides* Var. *Cristata*) BAJO DIFERENTES DOSIS
DE SUSTRATO ORGÁNICO EN SANTA ELENA ECUADOR**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Requisito parcial para la obtención del título de:

INGENIERA AGROPECUARIA

Autora: Evelyn Patricia Valle Acaro

Tutora: Ing. Mercedes Santistevan, PhD.

LA LIBERTAD, 2024

TRIBUNAL DE GRADO

Trabajo de Integración Curricular presentado por **VALLE ACARO EVELYN PATRICIA** como requisito parcial para la obtención del grado de Ingeniera Agropecuaria de la Carrera de Agropecuaria.

Trabajo de Integración Curricular **APROBADO** el: 22/12/2023



Firmado electrónicamente por:
**VERONICA CRISTINA
ANDRADE YUCAILLA**

Ing. Verónica Andrade Yucailla, Ph. D.
**DIRECTORA DE CARRERA
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**



Firmado electrónicamente por:
**JAIME ENRIQUE JIMMY
CANDELL SOTO**

Ing. Jimmy Candell Soto, Ph. D.
**PROFESOR ESPECIALISTA
MIEMBRO DEL TRIBUNAL**



Firmado electrónicamente por:
**MERCEDES SOLANDA
SANTISTEVAN
MENDEZ**

Ing. Mercedes Santistevan Méndez, Ph. D.
**PROFESORA TUTORA
MIEMBRO DEL TRIBUNAL**



Firmado electrónicamente por:
**NADIA ROSAURA
QUEVEDO PINOS**

Ing. Nadia Quevedo Pino, Ph. D.
**PROFESORA GUÍA DE LA UIC
MIEMBRO DEL TRIBUNAL**



Firmado electrónicamente por:
**WASHINGTON VIDAL
PERERO VERA**

Ing. Washington Perero Vera, Mgtr.
ASISTENTE ADMINISTRATIVO

AGRADECIMIENTO

A Dios que me permite cada día seguir adelante con mis metas y sueños, así mismo terminar con éxito esta etapa de mi vida.

Especial a mi mami Luz Yrena Acaro Armijos que fue mi motor para seguir, avanzar con cada obstáculo que se presentara, a mi hermana Ana Valle que estuvo en todo momento para no decaer en el transcurso..

A mis amigos, quienes compartieron este viaje conmigo, les agradezco por el apoyo mutuo y los momentos de distracción necesarios.

A la Ing. Mercedes Santistevan, tutora de la tesis, por la paciencia, su guía experta a lo largo de este proceso, y por sus comentarios inteligentes fueron fundamental para dar forma a este trabajo de investigación.

Quedo gratamente agradecida con Lcdo. Milton Washington Saona Mirabá, de la Finca Biogénica Melbita (FBM), durante el tiempo de trabajo de investigación y hacer el levantamiento del material biológico para los ensayos.

DEDICATORIA

A la memoria de mi amado padre Jaime Augusto Valle Acaro, este logro académico no solo representa el fruto de mi esfuerzo, y no puedo evitar reflexionar sobre la ausencia de tu presencia física pero tu espíritu y legado están presentes en cada palabra de esta tesis.

A mi mami Luz Yrena Acaro Armijos por el legado, la educación y por todo el sacrificio, dedicación que me brindó durante mis estudios.

A mis hermanas por el apoyo emocional que me dieron durante las largas noches de desvelo que pasamos juntas por mis estudios.

Evelyn Valle

RESUMEN

La investigación se desarrolló durante los meses de mayo a agosto del 2023 en el Cantón Santa Elena, con el objetivo de Evaluar comportamiento de *Azolla Anabaena* (*Azolla Filiculoides* Var. *Cristata*) bajo diferentes dosis sustrato orgánico. El diseño fue completamente aleatorio, donde los tratamientos en estudio fueron evaluados. Se representa con 3 dosis estiércol de chivo, abono orgánico y un control, estuvo conformado por Azollares de 1x1 m, con una profundidad de 0.25 m, se adiciona una película de agua dulce de 10cm. Fueron tres ensayos en el cual se evaluó el porcentaje de supervivencia en el primer ensayo el tratamiento T_4 conformado por 250g de estiércol de chivo +750g de sustrato orgánico, mostró un porcentaje de supervivencia del 52.1%, superando en un 49,28% al tratamiento control (T_1). Segundo ensayo la aplicación de los tratamientos fue reducidos, donde el T_4 con una fertilización de (100g estiércol de chivo +750g sustrato orgánico), obtuvo un resultado favorable del 59.46% de supervivencia, en a tasa de crecimiento la dosis más alta de sustrato orgánico fue del 75% (750gr) demostrando que la disminución en un 5% de estiércol favoreció para su crecimiento, siendo así el mejor tratamiento T_4 con promedio de 24.62gr a los 45 después de la siembra cultivo, superando en un 8.34gr al primer ensayo y con un 3.72gr al segundo ensayo. En la variable rendimiento de biomasa fresca el tratamiento T_4 que recibió la mayor dosis de abono orgánico con 750gr, presento el mayor rendimiento, con un promedio de 1319.6 gr/m² a los 45 días, superando con 1217.02 gr al tratamiento T_1 . La variable materia seca representa el peso seco de la biomasa de *Azolla-Anabaena*. En el primer período, T_4 exhibió el valor más alto 7.10. A los 25 días con dosis diferente y disminuyendo la aplicación de estiércol, T_4 experimenta un aumento significativo, mostrando el valor más alto 20.9. A los 45 días, T_4 mantiene el valor más alto 43.5. Estas comparaciones revelan que T_4 conformado con la dosis de (50 estiércol de chivo +750 de abono orgánico) exhibe un crecimiento sustancial y consistentemente supera a los demás tratamientos en las mediciones a los 15 y 25 días.

Palabras clave: *Azolla Anabaena*, Dosis, Sustrato orgánico, Supervivencia, Rendimiento, Materia Seca.

ABSTRACT

The research was conducted during the months of May to August 2023 in the Santa Elena Canton, with the objective of evaluating the behavior of *Azolla Anabaena* (*Azolla Filiculoides* Var. *Cristata*) under different doses of organic substrate. The design was completely random, where the treatments under study were evaluated. It is represented by three doses: goat manure, organic fertilizer, and a control. It consisted of 1x1 m *Azolla* beds with a depth of 0.25 m, and a layer of freshwater 10 cm deep was added. There were three trials in which the percentage of survival was evaluated.

In the first trial, treatment T_4 , consisting of 250g of goat manure + 750g of organic substrate, showed a survival rate of 52.1%, surpassing the control treatment T_1 by 49.28%. In the second trial, the treatments were reduced T_4 , with a fertilization of (100g of goat manure + 750g of organic substrate), achieved a favorable result with a survival rate of 59.46%. Regarding growth rate, the highest dose of organic substrate (750g) demonstrated a 75% growth rate, showing that a 5% reduction in manure favored growth. Thus, the best treatment was T_4 , with an average of 24.62g at 45 days after crop planting, surpassing the first trial by 8.34g and the second trial by 3.72g.

In terms of fresh biomass yield, treatment T_4 , which received the highest dose of organic fertilizer (750g), showed the highest yield with an average of 1319.6 g/m² at 45 days, surpassing treatment T_1 by 1217.02 g. The dry matter variable represents the dry weight of *Azolla-Anabaena* biomass. In the first period, T_4 exhibited the highest value of 7.10. At 25 days with a different dose and decreasing manure application, T_4 experienced a significant increase, showing the highest value of 20.9. At 45 days, T_4 maintained the highest value of 43.5. These comparisons reveal that T_4 , formed with a dose of (50g of goat manure + 750g of organic fertilizer), exhibits substantial growth and consistently outperforms other treatments in measurements at 15 and 25 days.

Keywords: *Azolla Anabaena*, Dose, Organic Substrate, Survival, Yield, Dry Matter.

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

El presente Trabajo de Integración Curricular titulado **“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE AZOLLA ANABAENA (Azolla Filiculoides Var. Cristata) BAJO DIFERENTES DOSIS DE SUSTRATO ORGÁNICO EN SANTA ELENA ECUADOR”** y elaborado por **Evelyn Patricia Valle Acaro** , declara que la concepción, análisis y resultados son originales y aportan a la actividad científica educativa agropecuaria.

Transferencia de derechos autorales.

"El contenido del presente Trabajo de Graduación es de mi responsabilidad; el patrimonio intelectual del mismo pertenece a la Universidad Estatal Península de Santa Elena".



Firma del estudiante

ÍNDICE

Introducción	1
Problema científico	3
Objetivos	3
Objetivo General:.....	3
Objetivos Específicos:	3
Hipótesis:	3
Capítulo 1. Revisión Bibliográfica	4
1.1 Azolla Anabaena	4
1.1.1 Origen Azolla Anabaena sp	5
1.1.2 Taxonomía de Azolla.....	5
1.1.3 Condiciones Medioambientales	6
1.1.4 Requerimiento nutricional de la Azolla Anabaena	7
1.1.5 Composición Química de Azolla.....	8
1.1.6 Crecimiento y desarrollo de Azolla Anabaena	9
1.1.7 Fijación simbiótica del nitrógeno	9
1.1.8 Producción y ventajas	10
1.1.9 Rendimiento y producción de biomasa.....	11
1.1.10 Usos.....	12
1.2 Sustrato	12
1.2.1 Características de los sustratos	13
1.2.2 Importancia de los abonos orgánicos.....	13
1.2.3 Uso del estiércol como fertilizante	13
1.2.4 Composición y contenido de nutrientes del estiércol.....	14
1.2.5 Influencia del sustrato orgánico en la fijación de nitrógeno por Azolla Anabaena	15
1.2.6 Beneficios del uso del estiércol como fertilizante en el crecimiento de las plantas.....	15
1.2.7 Componentes nutricionales del estiércol caprino	16
Capítulo 2. Materiales y métodos	17
2.1 Caracterización del área.....	17
2.1.1 Ubicación del area experimental.....	17
2.2 Material biológico y condiciones experimentales	17
2.2.1 Obtención del fertilizante orgánico.....	18
2.2.2 Preparación del sustrato orgánico	18
2.3 Materiales, equipos e insumos.....	18
2.3.1 Materiales de campo.....	18
2.3.2 Equipos de campo.....	18
2.3.3 Equipos de oficina	19
2.3.4 Insumos orgánicos	19
2.4 Diseño experimental.....	19
2.4.1 Delineamiento experimental.....	20
2.4.2 Análisis de la varianza	21
2.5 Conducción del experimento.....	21
2.6 Parámetros evaluados.....	22
2.6.1 Porcentaje de supervivencia de Azolla-Anabaena.....	22
2.6.2 Tasa de crecimiento de Azolla-Anabaena.....	22
2.6.3 Rendimiento de biomasa (Peso fresco) de la Azolla-Anabaena	23
2.6.4 Materia seca de la biomasa (Peso seco) de Azolla-Anabaena	23

2.7	Análisis estadístico de los resultados	23
Capítulo 3.	Resultados y discusión.....	24
3.1.1	Porcentaje de supervivencia de Azolla-Anabaena.....	24
3.1.2	Tasa de crecimiento de Azolla-Anabaena.....	25
3.1.3	Rendimiento de la biomasa de Azolla-Anabaena (Peso fresco)	27
3.1.4	Materia Seca de la biomasa (Peso seco) de Azolla-Anabaena.....	28
	Conclusiones y recomendaciones	30
3.2	<i>Conclusiones</i>	30
3.3	Recomendación	30
Anexos		34

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Taxonomía de la Azolla

Tabla 2 Composición química de Azolla

Tabla 3 Composición química, peso seco de Azolla

Tabla 4 Características químicas, estiércol caprino de (López Fernández, 2016).

Tabla 5 Componentes nutricionales del estiércol Caprino.

Tabla 6 Características del material genético

Tabla 7 Descripción de los tratamientos fertilización de la Azolla Anabaena.

Tabla 8 Delineamiento experimental del comportamiento Azolla Filiculoides Var. Cristata

Tabla 9 Grados de libertad del experimento

Tabla 10 Comparación de medias de la variable % de supervivencia, mediante la prueba de Tukey al 5%,

Tabla 11 Comparación de medias de Materia seca, mediante la prueba de Tukey al 5%,

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Localización del área de estudio

Figura 2 Diseño del área y división de tratamientos.

Figura 3 Efectos de la fertilización en el crecimiento de la *A. Filiculoides* ($P < 0.05$).

Figura 4 Efecto de la fertilización sobre la producción de biomasa fresca de *A. Filiculoides* ($P < 0.05$).

ÍNDICE DE ANEXOS

Tabla A 1 Porcentaje de supervivencia de Azolla-Anabaena 15 DDE

Tabla A 2 Análisis de la Varianza % de supervivencia

Tabla A 3 Medias comparadas con la prueba Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=1,8686

Tabla A 4 Porcentaje de supervivencia de Azolla-Anabaena 25 DDE

Tabla A 5 Análisis de la Varianza % de supervivencia a los 25 días

Tabla A 6 Tasa de crecimiento de Azolla-Anabaena a los 15 días

Tabla A 7 Análisis de la Varianza – Tasa de crecimiento a los 15 días

Tabla A 8 Medias comparadas - Tasa de crecimiento con la prueba Test: Tukey Alfa=0,05
DMS=0,69140

Tabla A 9 Taza de crecimiento de Azolla-Anabaena 25 DDE

Tabla A10 Análisis de la Varianza – Tasa de crecimiento a los 25 días

Tabla A11 Medias comparadas - Tasa de crecimiento con la prueba Test: Tukey Alfa=0,05
DMS=0,71844

Tabla A12 Taza de crecimiento de Azolla-Anabaena 45 DDE

Tabla A13 Análisis de la Varianza – Tasa de crecimiento a los 45 días

Tabla A14 Medias comparadas - Tasa de crecimiento con la prueba Test: Tukey Alfa=0,05
DMS=0,85400

Tabla A15 Rendimiento de biomasa fresca de Azolla-Anabaena 15 DDE

Tabla A16 Análisis de la Varianza – Rendimiento de biomasa a los 15 días

Tabla A17 Medias comparadas – Rendimiento de biomasa Test: Tukey Alfa=0,05
DMS=1,86866

Tabla A18 Rendimiento de biomasa fresca de la Azolla- Anabaena 25 DDE

Tabla A19 Análisis de la Varianza – Rendimiento de biomasa a los 25 días

Tabla A20 Medias comparadas – Rendimiento de biomasa con la prueba Test: Tukey
Alfa=0,05 DMS=24,28040

Tabla A21 Rendimiento de biomasa de Azolla-Anabaena 45 DDE

Tabla A22 Análisis de la Varianza – Rendimiento de biomasa a los 45 días

Tabla A23 Medias comparadas – Rendimiento de biomasa con la prueba Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=33,22189

Tabla A24 Materia seca de la biomasa (peso en seco) 15 DDE

Tabla A25 Materia seca de la biomasa (peso en seco) a los 15 días

Tabla A26 Medias comparadas - Materia seca con la prueba Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,40785

Tabla A27 Materia seca de la biomasa (peso en seco) 25 DDE.

Tabla A28 Análisis de la Varianza – Materia seca a los 25 días

Tabla A29 Medias comparadas - Materia seca con la prueba Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=1,00869

Tabla A30 Materia seca de la biomasa (peso en seco) 45 DDE.

Tabla A31 Análisis de la Varianza – Materia seca a los 45 días

Tabla A33 Medias comparadas – Materia seca con la prueba Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=1,49116

Ilustración 1 A. Preparación de las piscinas

Ilustración 2 A Colección del material genético

Ilustración 3 A Revestimiento de plástico, material grueso y oscuro

Ilustración 4 A. Aplicación de los tratamientos

Ilustración 5A. Tratamientos

Ilustración 6A. Primer ensayo

Ilustración 7A. Segundo ensayo

Ilustración 8 A. Recolección para la toma de datos

Ilustración 9A. Porcentaje de supervivencia con respecto al tratamiento cuatro en 15 días de evaluación

Ilustración 10A. Tercer ensayo

Ilustración 11A. Evaluación a los 25 días

Ilustración 12A. Porcentaje de supervivencia a los 25 días

Ilustración 13 A. Azollario cubero duplicando el rendimiento en biomasa

Ilustración 14A. evaluación a los 15 días

Ilustración 15A. Evaluación a los 45 días

Ilustración 16 A. realización de pesaje

INTRODUCCIÓN

La población mundial actualmente alcanza aproximadamente los siete mil millones de personas, y según las últimas estimaciones de las Naciones Unidas, se espera que llegue a ocho mil quinientos millones para el año 2025. Si consideramos la perspectiva histórica del crecimiento demográfico, estamos presenciando una explosión sin precedentes en términos de ritmo de crecimiento. Una manera de comprender este efecto es observar el tiempo que lleva duplicar la población mundial. En la última década, se ha registrado un notable aumento en la producción agrícola a nivel global, y gran parte de este incremento se atribuye al creciente uso de fertilizantes inorgánicos (Intriago, et al., 2017).

Antes de la aparición de los fertilizantes químicos fabricados, la producción agrícola dependía principalmente de la fijación biológica del nitrógeno. Sin embargo, desde el advenimiento de los procesos industriales, se ha recurrido cada vez más a los fertilizantes nitrogenados manufacturados. Estos fertilizantes químicos han demostrado ser eficientes para aumentar los rendimientos de los cultivos y satisfacer la creciente demanda de alimentos de una población en constante crecimiento (Monteros, 2011).

El aumento en el uso de fertilizantes inorgánicos ha permitido un rápido incremento en la producción agrícola, pero también ha planteado preocupaciones en términos de impacto ambiental. La aplicación excesiva de fertilizantes puede tener consecuencias negativas, como la contaminación de los cuerpos de agua y la degradación del suelo. Por lo tanto, es necesario explorar alternativas más sostenibles y respetuosas con el medio ambiente para mantener la productividad agrícola a largo plazo (Velasco, 2016).

En la agricultura ecuatoriana, la escasez de nitrógeno y materia orgánica en los suelos de cultivo representa uno de los desafíos más significativos. Aunque el uso generalizado de fertilizantes sintéticos para obtener nitrógeno ha respaldado las prácticas agrícolas, simultáneamente genera problemáticas ambientales. Estas incluyen alteraciones en la actividad microbiológica y química del suelo, así como la contaminación del agua. La complejidad se intensifica aún más debido a la creciente preferencia del mercado por productos agrícolas orgánicos y naturales (Vaca, 2014).

En la actualidad, la Azolla se cultiva con fines comerciales en China y Vietnam, donde se ha empleado como abono verde en campos de arroz inundados. En China, su utilización tiene raíces que se remontan, a la dinastía Ming, mientras que en Vietnam, los registros datan del siglo XI. En el caso de Ecuador, investigaciones preliminares indican la presencia de Azolla nativa en la región costera y sus beneficios como abono verde en los campos de arroz. (Monteros, 2011).

La agricultura está experimentando cambios constantes y, como resultado, ha surgido una propuesta tecnológica basada en el uso de fertilizantes orgánicos. Estos fertilizantes se obtienen a través de la fermentación de materiales orgánicos, como estiércol animal, plantas, frutas, y otros, junto con la activa participación de los microorganismos presentes en la naturaleza (Guerrero, 2014).

Azolla, un helecho de agua dulce distintivo destaca por su rápido crecimiento gracias a su relación simbiótica con una cianobacteria. La cianobacteria, de manera natural, fija el nitrógeno atmosférico para fertilizar la Azolla, proporcionando un ambiente rico en nitrógeno para la Anabaena que reside en las cavidades de sus hojas o frondas. Este proceso permite que el helecho experimente una duplicación de su biomasa en un período de dos a cuatro días mientras flota libremente sobre aguas superficiales (Espinosa, 2014).

En particular, *Azolla anabaena* (*Azolla Filiculoides var. Cristata*) ha surgido como una especie de interés debido a sus propiedades beneficiosas en la agricultura. En diferentes partes del mundo se ha utilizado esta planta acuática flotante como alternativa sostenible para mejorar la fertilidad del suelo, controlar las malas hierbas y mitigar el cambio climático mediante su capacidad para fijar nitrógeno atmosférico (Naranjo, 2010). Sin embargo, la evaluación del comportamiento de *Azolla anabaena* bajo diferentes dosis de estiércol en un entorno específico, como Santa Elena Ecuador, aún no ha sido ampliamente estudiada.

La investigación es relevante debido a la importancia de encontrar alternativas sostenibles y eficientes para mejorar la producción agrícola, convierte el presente trabajo de interés para la provincia de Santa Elena, lo que permitirá obtener resultados y conclusiones para esta localidad, lo que contribuirá a las generaciones de conocimiento científico local y a la aplicación de prácticas agrícolas más sostenibles.

Problema científico

La exploración de nuevas experiencias y enfoques conlleva a plantearnos preguntas, surge la posibilidad de utilizar un helecho acuático ¿Cómo beneficia el sustrato orgánico al comportamiento de la Azolla Anabaena (*Azolla Filiculoides Var?Cristata*) en Santa Elena, Ecuador?

Objetivos

Objetivo General:

- Evaluar comportamiento de Azolla Anabaena (*Azolla Filiculoides Var. Cristata*) bajo diferentes dosis sustrato orgánico en Santa Elena Ecuador.

Objetivos Específicos:

1. Analizar el efecto de diferentes dosis de sustrato orgánico de la Azolla Anabaena.
2. Identificar el tratamiento que muestre mejor resultado frente al crecimiento de la Azolla Anabaena.
3. Determinar el crecimiento de la Azolla Anabaena en diferentes dosis de sustrato orgánico.

Hipótesis:

La dosis de sustrato orgánico tiene un efecto positivo en el crecimiento de la Azolla Anabaena (*Azolla Filiculoides Var. Cristata*) en Santa Elena, Ecuador.

CAPÍTULO 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1 Azolla Anabaena

Azolla Filiculoides Lam es una planta acuática flotante de la familia de las azoláceas, originaria de las regiones templadas de América y se caracteriza por tener un tamaño de 2,5 a 10 cm, pero se ha naturalizado en todo el mundo adaptándose así en áreas tropicales que contengan agua dulce, sus hojas triangulares están cubiertas de una capa de cianobacterias llamada Anabaena azollae posee la capacidad de convertir el nitrógeno atmosférico en una forma utilizable (Mosquera Lenti & Calderón Rodríguez, 2002).

Según Portela (2017), Azolla es un género de helechos poco frecuente diferenciándose por sus diminutas hojas y habitad en asentamientos flotantes sobre masas de agua, también manifiesta que hay varias especies descritas sin embargo por la dificultad de clasificación taxonómicamente solo se han aceptado tres una de ellas a la especie *Azolla Filiculoides*.

Azolla Anabaena es un helecho acuático flotante que se clasifica dentro de la familia de las Salvinaceas, aunque también cuenta con una familia independiente conocida como Azollaceae (Pratte and Thiel, 2021)

Gavilanes (2015), el helecho establece una relación simbiótica hereditaria con la bacteria cianofita Anabaena azollae, que es conocida como fijadora de nitrógeno o también llamada diazótrofa. En las cavidades basales de sus frondas el helecho alberga una cianobacteria perteneciente al género Anabaena sp.

En el curso de la evolución de las plantas, los helechos emergieron en una fase relativamente temprana, razón por la cual carecen de flores y semillas. En cambio, la reproducción de la Azolla se realiza mediante esporas, y posee la capacidad adicional de reproducirse a través de la división de sus tallos secundarios más desarrollados., según Nicolasa (2021).

Gavilanes (2015), manifiesta que desde una perspectiva ecológica, la presencia de Azolla juega un papel significativo en el aumento del contenido de nitrógeno en su entorno, ya que, a lo largo de su ciclo de vida, tiene la capacidad de fijar nitrógeno atmosférico. Esta planta flota en la superficie del agua con numerosas hojillas pequeñas y agrupadas, mientras que sus raíces cuelgan en el agua. Establece relaciones simbióticas con la

cianobacteria *Anabaena Azollae*, otorgándole a la planta la habilidad de fijar nitrógeno del aire. Cuando la planta muere, el nitrógeno fijado se vuelve disponible para ser utilizado por las plantas circundantes. La asociación simbiótica entre *Azolla* y *Anabaena* presenta un considerable potencial como fertilizante verde en los cultivos de arroz en regiones tropicales. (Marcelo, 2012).

1.1.1 Origen *Azolla Anabaena sp*

La evidencia más antigua de esta planta se remota a un diccionario chino que data de hace 200 años. Parece que la introducción de una variedad de *A. Filiculoides* fue uno de los avances más importantes en china. Según Jesus Suárez (1998), el helecho es originaria de América del Norte y Centroamérica. Con el tiempo se ha introducido en zonas tropicales y subtropicales de todo el mundo, pero está presente en Europa, Asia y África.

Actualmente según Mosquera Lenti & Calderón Rodríguez,(2002), manifiesta que el helecho acuático es considerado como abono verde en países como Filipinas, China, India, Vietnam, Tailandia e Indonesia. El sistema *Azolla-Anabaena* es conocido como una "mina de oro verde". A pesar de ello, sigue siendo una asociación subutilizada que tiene un enorme potencial de explotación, según (Waseem Raja, 2012). Dentro de las diversas variedades, la *Azolla* sobresale gracias a su fácil cultivo, elevada productividad y valioso contenido nutricional. Para maximizar este potencial, es esencial implementar prácticas culturales apropiadas, asegurar la disponibilidad estacional y cumplir con los requisitos de abono, con el fin de lograr una producción más robusta (Castro & Román, 2022).la

1.1.2 Taxonomía de *Azolla*

Viveros (2012) Indica que el género *Azolla* ha sido clasificado dentro de la familia *Azollaceae*, que se distingue por ser de helechos criptógamos flotantes. Esta particularidad complica la identificación de las especies de *Azolla* debido a la ausencia común de esporocarpos. No obstante, gracias a investigaciones centradas en *Anabaena azollae*, se ha logrado una clasificación más precisa.

Tabla 1 Taxonomía de la *Azolla* (Viveros, 2012)

Cyanobacteria: *Anabaena azollae*

División:	Cyanophitas
Clase:	Cyanophyceae
Subclase:	Hormogonophycideae
Orden:	Nostocales
Familia:	Nostocaceae
Género:	Anabaena
Especie:	Azolla
N.C.	Anabaena azollae

1.1.3 Condiciones Medioambientales

Para que Azolla se desarrolle y mantenga el sistema simbiótico en buenas condiciones, es necesario que se cumplan los siguientes factores:

Temperatura: El cultivo no se ve afectado significativamente por la temperatura, ya que puede tolerar un amplio rango sin que esto sea un factor determinante. Por lo general, en entornos tropicales, la temperatura oscila entre 20°C y 28°C. Sin embargo, en áreas de la sierra, existen especies adaptadas a temperaturas que varían entre 7°C y 23°C, según se ha observado (Armijos, 2010).

pH: Los suelos con un pH de entre 6 y 7 se consideran los más adecuados.

Agua: El helecho es sensible a la desecación. Por lo tanto, es recomendable mantener una cierta profundidad de agua, alrededor de 10 cm, para garantizar un ambiente adecuadamente húmedo. Además, se requiere una cantidad aproximada de 25 mg de fósforo por kg de suelo húmedo, preferiblemente en forma de superfosfato triple (Armijos, 2010).

Viento: El viento fuerte puede ser perjudicial para la Azolla. Según Las Eras (2006)

Iluminación: No experimenta dificultades en relación con la luz, adaptándose tanto a condiciones de estanque con luz solar directa como a condiciones sombreadas. Según Las Eras (2006), en entornos sombreados, Azolla conserva su tonalidad verde natural, mientras que la exposición directa al sol puede ocasionar que sus hojas adquieran un matiz rojizo.

1.1.4 Requerimiento nutricional de la Azolla Anabaena

La Azolla tiene requisitos nutricionales específicos para su óptimo crecimiento y desarrollo según:

Nitrógeno: La Azolla es capaz de fijar nitrógeno atmosférico debido a su simbiosis con la cianobacteria *Anabaena azollae*. Esta capacidad le permite obtener una fuente importante de nitrógeno para su crecimiento. Según Prakash et al. (2007), la Azolla puede fijar hasta 6-7 kg de nitrógeno por tonelada de biomasa en condiciones favorables.

Fósforo: El fósforo es otro nutriente esencial para la Azolla. Según Reddy et al. (2008), se recomienda aplicar entre 150 y 225 kg/ha de superfosfato soluble en agua para satisfacer las necesidades de fósforo de la Azolla. Es necesario para el desarrollo de la planta y para la actividad de la cianobacteria simbiote.

Otros nutrientes: Además del nitrógeno y el fósforo, la Azolla requiere otros nutrientes para un crecimiento saludable. Estos incluyen potasio, calcio, magnesio, hierro y varios micronutrientes. Un suministro apropiado de estos nutrientes es importante para conservar el desarrollo óptimo de la planta y su simbiosis con la cianobacteria (Montaño, 2010).

Monteros R. J. (2011) Indica que en situaciones de carencia de ciertos elementos, Azolla modificará sus atributos.

Deficiencia de Fósforo: Cuando la Azolla experimenta una falta de este nutriente, se observa un cambio en su coloración a tonalidades café-rojizas. Además, las raíces de la planta se vuelven frágiles y se alargan en un intento de buscar una mayor disponibilidad de este nutriente esencial.

Deficiencia de Calcio: La falta de calcio en la Azolla, refleja un cambio de color en los lóbulos dorsales de la planta, los cuales adquieren un tono rojizo. Además, en casos severos, la cianobacteria simbiote, *Anabaena*, puede liberarse al medio ambiente.

Deficiencia de Potasio: Cuando la Azolla sufre de una deficiencia de potasio, su color verde que le caracteriza se vuelve amarillento y, posteriormente, adquiere tonalidades pardas. Esta carencia afecta al desarrollo normal de la planta y su capacidad de llevar a cabo funciones vitales.

Deficiencia de Hierro: La falta de hierro en la Azolla provoca una disminución en la cantidad de clorofila presente en la planta, lo que resulta en un color amarillento en sus tejidos. La clorofila es esencial para la fotosíntesis, por lo que esta deficiencia puede afectar significativamente la capacidad de la Azolla para producir energía.

Es importante mencionar que el monitoreo regular de los niveles de nutrientes en el cultivo de Azolla y la aplicación adecuada de fertilizantes pueden prevenir y corregir estas deficiencias nutricionales, asegurando así un crecimiento saludable de la planta.

1.1.5 Composición Química de Azolla.

Dentro de su composición química, la Azolla Anabaena es una planta acuática que forma simbiosis con la cianobacteria Anabaena Azollae, según esto, varía dependiendo al lugar donde crece y nutrientes que recibe del agua, no obstante, se señala que su composición se fundamenta en carbono (C), hidrógeno (H), oxígeno (O), nitrógeno (N), azufre (S), fósforo (P) y agua (H₂O). La Azolla Anabaena presenta su propio proceso metabólico, extrayendo materia y energía del entorno, manteniendo un equilibrio interno, reproduciéndose, desarrollándose y adaptándose al ambiente.

Tabla 2 Composición química de Azolla (Montaño, 2010)

Composición química Azolla	
Nitrógeno	4-5 %
Fosforo	0.5%
Potasio	1-2%
Calcio	0.5%
Magnesio	0.5%
Hierro	0.1%

La estructura química de Azolla, determinada a través de análisis efectuados en la Escuela Superior Politécnica del Litoral ESPOL-ICQ y en el Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIAP, se presenta de la siguiente manera (expresada en relación al peso seco).:

Tabla 3 Composición química, peso seco de Azolla (Montaño, 2010)

Composición química Azolla	
----------------------------	--

Humedad	97,34%
Cenizas	8,10%
E. E	2,50%
Proteína	3,42%
Fibra	24,95%
E.L. N	61,04%

1.1.6 Crecimiento y desarrollo de Azolla Anabaena

Investigaciones anteriores han demostrado que el uso de sustrato orgánico en el cultivo de Azolla Anabaena promueve un mayor crecimiento vegetativo y una mejor calidad nutricional en términos de contenido de nutrientes (Tiwari *et al.*, 2016).

El uso de compost de origen vegetal como sustrato orgánico en el cultivo de Azolla Anabaena ha mostrado resultados prometedores en términos de mayor biomasa y contenido de nutrientes, especialmente nitrógeno y fósforo" (Rahman *et al.*, 2020).

Mecanismos subyacentes de la interacción entre Azolla Anabaena y el sustrato orgánico:

La presencia de sustrato orgánico en el medio de cultivo mejora la disponibilidad de nutrientes esenciales para Azolla Anabaena, lo que promueve su crecimiento. Además, el sustrato orgánico también puede mejorar la estructura del suelo acuático, proporcionando un ambiente favorable para el desarrollo de la planta" (Hu *et al.*, 2018).

Un estudio realizado por García *et al.* (2019) evaluó tres dosis diferentes de estiércol bovino como sustrato orgánico en el cultivo de Azolla Anabaena y encontró que la dosis media resultó en la mayor biomasa y contenido de nitrógeno total en comparación con las dosis baja y alta.

Comparación de los resultados obtenidos en diferentes dosis de sustrato orgánico en términos de biomasa, contenido de nutrientes y otros parámetros relevantes:

Los resultados de un estudio realizado por Chen *et al.* (2017) indicaron que el uso de dosis crecientes de compost de origen vegetal como sustrato orgánico en el cultivo de Azolla Anabaena resultó en un aumento significativo en la biomasa, contenido de nitrógeno y actividad de la enzima nitrogenasa.

1.1.7 Fijación simbiótica del nitrógeno

La fijación del nitrógeno es resultado de la actividad de la enzima nitrogenasa presente en la cianobacteria. Esta enzima actúa en células especializadas llamadas heterocistos, los

cuales transforman el nitrógeno molecular del aire en amoníaco. Después, la planta y la cianobacteria incorporan este amoníaco en forma de compuestos nitrogenados. En el caso del simbiote de la cavidad foliar, se observa que contiene entre un 15 y un 20 por ciento de heterocistos, en comparación con las especies de *Anabaena* de vida libre, que solo poseen alrededor de un 5 por ciento de ellos (Espinosa, 2015)

Las variedades de *Azolla* son plantas que albergan en las cavidades de sus hojas a la cianobacteria simbiótica del género *Anabaena*, en particular la especie *Anabaena azollae*. Esta bacteria tiene la capacidad de realizar la fijación de nitrógeno, lo que implica su habilidad para tomar el nitrógeno presente en el aire, el gas más prevalente, y transformarlo en amonio (NH_4), una forma que resulta utilizable por todas las células.. Este proceso es llevado a cabo por células especializadas de la cianobacteria llamadas heterocistes (Monteros, 2011).

Se están realizando esfuerzos significativos para extender la capacidad de fijación de nitrógeno a las gramíneas, con el fin de proveer al menos una parte del nitrógeno que necesitan. Sin embargo, *Azolla* destaca en este aspecto, ya que produce grandes cantidades de biomasa y fija aproximadamente 55 kg de nitrógeno por hectárea al mes. Esta cantidad equivale a 250 kg de sulfato de amonio y 120 kg de urea, dos formas de fertilizantes nitrogenados comunes (Monteros, 2011).

1.1.8 Producción y ventajas

Para la reproducción, se emplea una cantidad de 10 g de *Azolla* sembrada en una piscina con un nivel de 10 cm de profundidad, donde el cultivo se expande durante un período de 12 días. Este volumen de *Azolla* alcanza un peso promedio relacionado de 0,14 toneladas por día por hectárea. Además, se tiene conocimiento de que *Azolla* duplica su peso cada 17 días en promedio y durante un ciclo de vida de 3 meses, siempre y cuando las condiciones ambientales sean propicias.

Entre las ventajas de cultivar *Azolla* se incluyen:

- Aumento de la materia orgánica.
- Reducción del uso de fertilizantes.
- Mejora de la estructura del suelo.
- Contribución al control de malezas acuáticas.
- Proporciona suministro de forrajes nutritivos en intervalos de 15-20 días.

1.1.9 Rendimiento y producción de biomasa

La especie *Azolla* sp. destaca por su capacidad de generar grandes cantidades de biomasa, además de poseer un elevado contenido proteico y un nivel apropiado de fibra cruda. *Azolla anabaena* tiene la habilidad de capturar nitrógeno atmosférico y dióxido de carbono para sintetizar carbohidratos y amoníaco, respectivamente. Posteriormente, tras su descomposición, libera nitrógeno disponible para ser absorbido por los cultivos, al mismo tiempo que contribuye al contenido de carbono orgánico en el suelo, teniendo un rendimiento en (mg/m² /día) de nitrógeno de 155–250 y de fósforo de 60–75.

Según (Méndez-Martínez et al., 2018) La tasa de crecimiento del helecho está influenciada por la radiación solar y la disponibilidad de fósforo. El fósforo es un nutriente esencial para el crecimiento normal del helecho, mientras que el nitrógeno es necesario para la fijación de nitrógeno, un proceso que permite a la planta obtener nitrógeno del aire. La conjunción de estos elementos puede resultar en una tasa de crecimiento promedio de Materia Fresca de 44.5 gramos por metro cuadrado al día.

La reproducción de esta planta, que es comúnmente vegetativa, tiene la notable capacidad de duplicar su biomasa en tan solo cuatro días. Sin embargo, también se ha documentado información acerca de su proceso de esporulación a lo largo de los años, el cual ha demostrado un nivel de producción superior al de otros organismos acuáticos (Méndez-Martínez, *et al.*, 2018).

El elemento restrictivo que más importa para la multiplicación de la *Azolla* es la presencia de fósforo en el entorno acuático. Este elemento se vuelve especialmente problemático en los campos de arroz, debido al pH relativamente bajo del agua, lo cual reduce la disponibilidad del fósforo presente. No obstante, en hábitats con deficiencia de nitrógeno, la *Azolla* muestra un crecimiento favorable (Mosquera Lenti & Calderón Rodríguez, 2002).

Según los datos encontrados por Becerra *et al.* (1990), se llevaron a cabo experimentos de alimentación porcina utilizando *Azolla Filiculoides* cultivada específicamente. En estos experimentos, se sembró *Azolla* en estanques de 40 cm de profundidad, los cuales fueron fertilizados con pollinaza a una tasa de 10 g/m² por día, menciona también que se hacía reemplazó diariamente el 5% del volumen del estanque con agua fresca para compensar la evaporación en el lugar.

Como resultado de estos experimentos, se obtuvo una cosecha de Azolla con un contenido proteico del 23% en base seca y se estimó un rendimiento de e 39 t MS/ha por año. Este rendimiento equivale a la producción de 9 t de proteína por hectárea, lo cual se considera un valor elevado (Méndez-Martínez, et al., 2018).

Según Reyes (2013), señala que en un mes un área de una hectárea cultivada con Azolla tiene la capacidad de generar diariamente entre 1 a 2 t de forraje fresco, lo que representa una cantidad equivalente de 10 a 30 kg de proteína por día. Se estima que un mes, esa misma hectárea de Azolla produce entre 6 a 8 t de MS, con un contenido de proteína cruda de 540 a 720 kg, y aproximadamente 100 a 1564 kilogramos de nitrógeno por hectárea al año.

1.1.10 Usos

El simbionte es predominante reconocido por:

- Actuar como bioabono para diversos cultivos, especialmente en aquellos donde establece simbiosis, como en el cultivo de arroz.
- Azolla, debido a su naturaleza, funciona como hiperacumulador de N₂ (nitrógeno atmosférico) mediante el proceso de Fijación Biológica de Nitrógeno (FBN), transformándolo en formas químicas de nitrógeno, como NO₂ y NO₃, que están disponibles para distintos cultivos.
- Puede servir como fuente alternativa de alimentación, como forraje verde, para pequeñas especies como cuyes, conejos y gallinas, ya que contiene cantidades significativas de proteína, entre otros nutrientes (valores a determinar mediante análisis bromatológico).
- Funciona como captador de nitrógeno al absorber pequeñas cantidades de dióxido de carbono del ambiente, contribuyendo así a la reducción del calentamiento global (UNAD, 2010).
- Contribuye al control de plagas acuáticas al cubrir la superficie de los cuerpos de agua con un espesor de 5 cm, bloqueando la luz y dificultando el desarrollo de otros cultivos acuáticos.

1.2 Sustrato

El sustrato es el material que se utiliza para llenar el recipiente de cultivo, reemplazando a la tierra. En él crecen las raíces de las plantas, que absorben los nutrientes necesarios para

su desarrollo. La elección de un buen sustrato es fundamental para el éxito de los cultivos (Gavilanes, 2015).

1.2.1 Características de los sustratos

Un sustrato es un sistema compuesto por una fase sólida y una fase porosa. La fase sólida está formada por un esqueleto que define el espacio poroso. Los poros pueden existir entre partículas, dentro de las partículas o ambos. La porosidad de un sustrato se define como el porcentaje de espacio poroso en comparación con el volumen aparente total del sustrato (Gavilanes Gavilanes, 2015).

1.2.2 Importancia de los abonos orgánicos

La composición de los abonos orgánicos, tal como su nombre sugiere, implica la reutilización de residuos orgánicos con el propósito de enriquecer el suelo. Estos abonos están compuestos principalmente por restos de organismos vivos, como la recolección de biomasa de especies vegetales, así como las deposiciones o excreciones que van desde la materia fecal hasta las sustancias producidas por hongos o animales (Clemente Tomalá, 2021).

El abono orgánico se compone de materia orgánica que experimenta un proceso de descomposición o de fermentación, dependiendo de tipo de abono que se pretenda elaborar. Este procedimiento ocurre de manera natural gracias a la influencia de agua, aire, sol y microorganismo. Existen diversas técnicas para la preparación de estos abonos. Resulta crucial mantener una humedad constante en el abono, evitando tanto el exceso que provoquen goteo como la sequedad extrema que conduzca a su desmoronamiento. Este equilibrio también favorece que los microorganismos se mantengan en el medio y desempeñen de manera más eficaz sus funciones (Flores, 2017).

1.2.3 Uso del estiércol como fertilizante

Los estiércoles son considerados excelentes materiales agrícolas para el proceso de compostaje, debido a su alta concentración de nitrógeno, especialmente en forma inorgánica. Además, desempeñan un papel importante como inoculante microbianos.

Importancia y beneficios del uso del estiércol como fuente de nutrientes en la agricultura.

"El estiércol animal es una valiosa fuente de nutrientes orgánicos y minerales que puede mejorar la fertilidad del suelo y promover el crecimiento de las plantas" (Alvarez *et al.*, 2017).

El excremento de caballo es un fertilizante natural rico en nutrientes. En realidad, incluye aproximadamente de 7% de nitrógeno, 2% de fósforo y 10% de potasio, además de todos los oligoelementos esenciales para el crecimiento de las plantas. Los pelos del caballo también aportan nitrógeno, lo que hace que el excremento sea aún más nutritivo (Clemente Tomalá, 2021).

1.2.4 Composición y contenido de nutrientes del estiércol

Descripción de los principales nutrientes presentes en el estiércol y su disponibilidad para las plantas:

El estiércol presenta un contenido promedio de elementos químicos de aproximadamente 1,5% de nitrógeno (N), 0,7% de fósforo (P) y 1,7% de potasio (K). Su aplicación en el suelo tiene efectos positivos en las propiedades biológicas, físicas y químicas de los suelos. Es especialmente beneficioso cuando se utiliza en cantidades no inferiores a 10 kg/ha al año, y preferiblemente de manera diversificada (Pérez, 2017).

Para obtener mayores beneficios, es recomendable aplicar el estiércol después de que haya pasado por procesos de descomposición o fermentación. Además, es preferible realizar la aplicación cuando el suelo presenta la humedad adecuada, lo que asegura una mejor incorporación y disponibilidad de los nutrientes contenidos en el estiércol para las plantas.

El estiércol es una fuente rica en nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas, ya que contiene una variedad de elementos como nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y micronutrientes. Estos nutrientes se presentan tanto en formas orgánicas como minerales, los cuales son liberados de manera gradual durante el proceso de descomposición del estiércol y se vuelven disponibles para las plantas. Este proceso asegura un suministro constante y sostenible de nutrientes para el desarrollo saludable de las plantas en el suelo (Pérez, 2017).

"La disponibilidad de nutrientes en el estiércol puede variar dependiendo de la especie animal, la dieta, el manejo del estiércol y el proceso de compostaje" (Bernal *et al.*, 2016).

1.2.5 Influencia del sustrato orgánico en la fijación de nitrógeno por Azolla Anabaena

Azolla Anabaena en simbiosis es un proceso eficiente en el cual la planta y la bacteria trabajan juntas para convertir el nitrógeno atmosférico en una forma aprovechable. La disponibilidad de sustrato orgánico puede afectar la actividad de la enzima nitrogenasa, lo que a su vez puede influir en la eficacia de la fijación de nitrógeno (Singh *et al.*, 2018).

Un estudio realizado por examinó el efecto de diferentes dosis de lodos orgánicos en el cultivo de Azolla Anabaena y encontró que las dosis más altas de sustrato orgánico promovieron una mayor actividad de la enzima nitrogenasa y una mayor tasa de fijación de nitrógeno (Gavilanes, 2015).

1.2.6 Beneficios del uso del estiércol como fertilizante en el crecimiento de las plantas

La aplicación de estiércol en la agricultura ha evidenciado beneficios significativos al estimular el desarrollo de las plantas, incrementar la producción de biomasa, mejorar la calidad de los cultivos y fortalecer la capacidad de resistencia ante enfermedades y condiciones adversas (Tortosa, 2014).

El estiércol caprino es un subproducto de la ganadería que se produce en grandes cantidades. Para utilizarlo como abono natural, es importante someterlo a un proceso de maduración que permita estabilizarlo y reducir su contenido de patógenos. De esta forma, se evita la contaminación del suelo y el agua, y se garantiza que el estiércol sea seguro para las plantas (Conforme, 2022).

Además, el estiércol ha demostrado ser beneficioso para aumentar la producción de biomasa en los cultivos. Los nutrientes presentes en el estiércol son liberados gradualmente a medida que se descompone, lo que asegura un suministro constante de nutrientes a lo largo del ciclo de crecimiento de las plantas. Esto contribuye a un mayor rendimiento y producción de biomasa en comparación con los cultivos que no reciben estiércol.

El estiércol desempeña un papel crucial en la agricultura, dado que proporciona una variedad de nutrientes esenciales necesarios para el desarrollo de las plantas, entre ellos se encuentran el nitrógeno, fósforo, potasio y micronutrientes, fundamentales para el crecimiento saludable de los cultivos. (González *et al.*, 2020).

Otro beneficio importante del uso de estiércol es su capacidad para mejorar la calidad de los cultivos. Los nutrientes y compuestos orgánicos contenidos en el estiércol mejoran la textura del suelo, incrementando su habilidad para retener agua y nutrientes. Esto se traduce

en un mejor aprovechamiento de los nutrientes por parte de las plantas y, en consecuencia, en la mejora de la calidad de los cultivos en términos de sabor, color y valor nutricional. Según (López Fernández, 2016), el estiércol caprino es un material muy rico en nutrientes, lo que lo convierte en un excelente fertilizante. Bajo condiciones óptimas de compostaje, el estiércol caprino puede aumentar la producción de biomasa y la concentración de nutrientes en el compost. La tabla 4 muestra las características químicas del estiércol caprino.

Tabla 4 Características químicas, estiércol caprino de (López Fernández, 2016).

Variable	Estiércol Caprino
pH	8.32
CIC (Cmolkg ⁻¹)	43.1
MO (%)	70.15
NT (%)	2.5
C: N	16.27
P (mg k ⁻¹)	1050.50
K (mg k ⁻¹)	843.2
Ca (mg k ⁻¹)	14.9
Na (mg k ⁻¹)	331.2

1.2.7 Componentes nutricionales del estiércol caprino

La composición nutricional del estiércol de cabra es un componente básico de la alimentación de estos animales, ya que proporciona proteínas, energía, vitaminas y minerales esenciales para su adecuada productividad. La composición del estiércol varía en función de la dieta de las cabras, pero en general contiene un alto porcentaje de materia orgánica, que es la fuente de estos nutrientes (Conforme, 2022).

Tabla 5 Componentes nutricionales del estiércol Caprino.

Nutrición	Porcentaje
Materia Orgánica	52.8
Nitrógeno	1.55
Fosforo (P2O5)	2.92
Potasio (K2O)	0.74

CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Caracterización del área

2.1.1 Ubicación del area experimental

La investigación se desarrolló durante los meses de mayo a agosto del 2023 en el Cantón Santa Elena perteneciente a la Provincia de Santa Elena, a 26 msnm, cuyas coordenadas geográficas UTM de un punto central son 9754446 m Norte y 516856 m Este, en la zona 17M Sur.



Figura 1 Localización del área de estudio

Las condiciones climáticas de la zona se caracterizan por tener un clima Tropical húmedo-Tropical seco, con temperaturas medias de 23 a 25 grados Celsius y una humedad relativa del 99%. La altitud varía entre 100 y 400 metros sobre el nivel del mar, y la topografía es plana. (Weather Spark, 2017)

2.2 Material biológico y condiciones experimentales

El material biológico Azolla anabaena es procedente de un cultivo de aproximadamente 3 años desarrollado en la Finca Experimental Biogénica “Melbita” ubicada en el Valle Javita, Calle 30 de mayo, vía Colonche-Javita. La selección del material genético se hizo considerando los parámetros descritos a seguir.

Tabla 6 Características del material genético

	Azolla Filiculoides
Planta:	Vigorosa, con buena producción de biomasa vegeta
Forma del helecho:	Varía entre 1.0 a 2.5 cm en la cobertura de sus filoides
Tamaño radicular:	Raíces exhiben un tamaño entre 6.0 a 8.0 cm de largo

Pigmentación:	Verde oscuro y claro
Peso de la Azolla:	15 kg -15 000 gr
Rendimiento en biomasa:	1kg de Azolla en una piscina de 24m ² con un nivel de 25cm se duplica cada 7 días un promedio de 6.048 kg de azolla.

2.2.1 Obtención del fertilizante orgánico

Con el objetivo de aplicar los tratamientos de manera adecuada, se extrajo el estiércol de chivo a través del centro de apoyo Rio verde de la Universidad Estatal Península de Santa Elena.

2.2.2 Preparación del sustrato orgánico

Inicialmente para la investigación, dentro de un cajón de madera se recolecto ramas, hojas secas y restos de desechos orgánicos, se dejaron en fermentación durante dos meses, transcurridos este tiempo, se utilizaron como abono orgánico para los tratamientos propuestos.

2.3 Materiales, equipos e insumos

2.3.1 Materiales de campo

- Estacas
- Rollo de piola nylon
- Herramientas: Pala, Barreta.
- Rótulos de madera
- Libretas de campo
- Plástico negro
- Cinta métrica
- Cedazo
- Recipientes
- Tiras medidoras de pH

2.3.2 Equipos de campo

- Balanza

2.3.3 Equipos de oficina

- Computador portátil
- Flash memory
- Impresora
- Cámara digital
- Bolígrafo
- Papel bon

2.3.4 Insumos orgánicos

- Estiércol de chivo
- Abono orgánico

2.4 Diseño experimental

El diseño empleado para la investigación fue completamente al azar DCA (Diseño experimental Completamente Aleatorizado), donde los tratamientos en estudio fueron estadísticamente evaluados, el cual se representa con 4 dosis de sustrato orgánico, constituidos por agua (control), estiércol de chivo y abono orgánico, con 5 repeticiones, estuvo conformado por Azollares de 1x1 m, con una profundidad de 0.15 m, se adiciona una película de agua dulce de 10cm, representando el contenido de agua de 100 L.

Se establecieron tres experimentos en momentos diferentes para hacer ajustes en las dosis y momento de evaluación como se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7 Descripción de los tratamientos fertilización de la Azolla Anabaena.

Primer ensayo evaluación a los 15 d			
N.º	Descripción	Dosis(gr)	% Concentración
1	Testigo Agua pura	0	0
2	Estiércol de chivo	750	75
3	Estiércol de chivo + abono orgánico	500 + 500	50 + 50
4	Estiércol de chivo + abono orgánico	250 + 750	25 + 75
Segundo ensayo evaluación a los 25 d			
1	Testigo Agua pura	0	0
2	Estiércol de chivo	250	25
3	Estiércol de chivo + abono orgánico	150 + 500	15 + 50

4	Estiércol de chivo + abono orgánico	100 + 750	10 + 75
Tercer ensayo evaluación a los 45 d			
1	Testigo Agua pura	0	0
2	Estiércol de chivo	50	5
3	Estiércol de chivo + abono orgánico	50 + 500	5 + 50
4	Estiércol de chivo + abono orgánico	50 + 750	5 + 75

2.4.1 Delineamiento experimental

El area total destinada para la investigación es de $38.5 m^2$, con un total de 20 unidades experimentales.

Tabla 8 Delineamiento experimental del comportamiento Azolla Filiculoides Var. Cristata

Diseño experimental	DCA
Tratamientos	4
Repeticiones	5
Total, de unidades experimentales	20
Área del bloque	(1 m x 1 m) $1m^2$
Área útil del bloque	$38.5 m^2$
Efecto borde	0.50 m S y 0.50 m N
Distancia entre bloque	0.50 m
Área útil del experimento	$38.5 m^2$
Área total del experimento	$52 m^2$

En la **Figura 2** ilustra la distribución de los tratamientos con las respectivas repeticiones en campo.

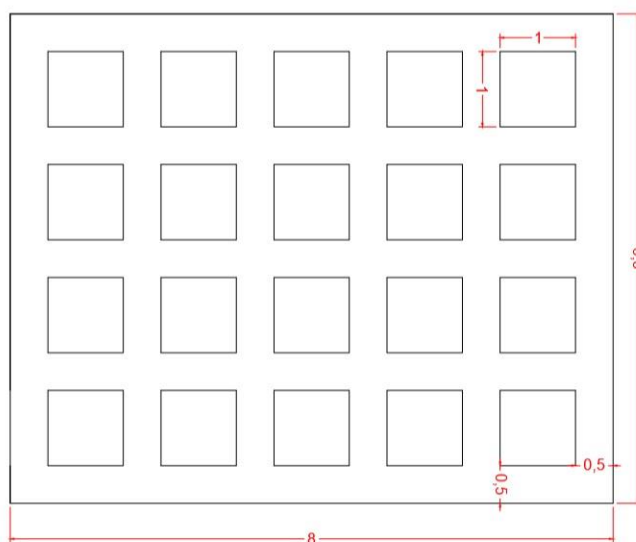


Figura 2 Diseño del área y división de tratamientos.

2.4.2 Análisis de la varianza

El análisis de varianza fue desarrollado bajo el siguiente esquema:

Tabla 9 Grados de libertad del experimento

DCA	
Fuente de variación	Grados de libertad
Tratamientos	4
Repetición	5
Error	20
Total	24

2.5 Conducción del experimento

Preparación de piscina

Los azollarios fueron preparados con anticipación para garantizar el éxito del experimento, así mismo para la respectiva construcción se excavo a una profundidad de 25 cm, se construyó un total de 20 piscinas, con una superficie de 1m². El fondo del azollario es plano y nivelado.

Cubierta de plástico

Se realizo un revestimiento de plástico, un material grueso y oscuro esto retener el agua y para proteger la azolla.

Establecimiento de las unidades experimentales

Después, se establecieron las 20 unidades experimentales con su respectivo rotulo, considerando que todas deben prepararse simultáneamente.

Preparación de los tratamientos

Los tratamientos se prepararon según el diseño experimental. Los mismos que consistieron en diferentes concentraciones de estiércol y abono orgánico.

Llenado de las piscinas

Las piscinas fueron llenadas con agua hasta una profundidad de al menos 15 cm. Se comprobó mediante unas tiras medidoras de pH que el agua sea de buena calidad y libre de contaminantes.

Aplicación del sustrato los tratamientos

En relación con los tratamientos, las dosis aplicadas de la misma forma se colocaron según el diseño experimental. El sustrato consistió en estiércol de chivo, abono orgánico y tierra.

Siembra de la azolla

La azolla fue sembrada en los tratamientos de acuerdo con el diseño experimental, se sembró en una densidad de al menos 50 g/m².

Recolección de muestras

La recolección de muestras de Azolla Anabaena se llevó a cabo utilizando un cedazo de malla fina, con el objetivo de capturar una cantidad representativa de biomasa. Para aumentar la confiabilidad de los resultados.

En todos los ensayos se obtuvo el peso de la Azolla con una balanza digital de precisión de ± 1 g y capacidad de 7 kg.

Se realizó en diferentes etapas del experimento, siguiendo un plan preestablecido y garantizando la representatividad y la precisión de los resultados obtenidos. Estos datos son fundamentales para el análisis estadístico y la posterior interpretación de los efectos de las dosis de sustrato orgánico en el cultivo de Azolla Anabaena.

2.6 Parámetros evaluados

Las variables que se midieron fueron las siguientes:

2.6.1 Porcentaje de supervivencia de Azolla-Anabaena

Se tomaron datos de cada periodo (15 y 25) días, para calcular el porcentaje de supervivencia de cada uno de los tratamientos experimental y de control. Luego se determinó el peso de la biomasa en cada etapa del experimento.

La fórmula utilizada: Porcentaje de supervivencia = (Peso de Azolla-Anabaena sobreviviente / Peso inicial de Azolla-Anabaena) x 100.

2.6.2 Tasa de crecimiento de Azolla-Anabaena

Para el registro se pesó a cada tratamiento, para la evaluación se tomaron datos de cada periodo, representando peso final a los (15 días), (25 días) y (45 días) con balanza tipo comercial marca Camry Modelo EK3252 de 1,0g de precisión, teniendo precaución de no disgregarlos para evitar alteración de datos.

La tasa de reproducción se calculó como la diferencia entre el peso final y el peso inicial, dividida por el número de días.

2.6.3 Rendimiento de biomasa (Peso fresco) de la Azolla-Anabaena

Se pesaron las unidades en el momento de la extracción y cosecha con fines evaluativos se tomaron los pesos finales de cada periodo 15; 25; 45 días despreciando el porcentaje de agua, expresando los resultados en gramos.

2.6.4 Materia seca de la biomasa (Peso seco) de Azolla-Anabaena

En esta variable se utilizó una fórmula para determinar el porcentaje de biomasa seca. Se toma la muestra de cada uno de los bloques y se seca en una estufa a baja temperatura, generalmente entre 50-70°C durante 10 minutos, dependiendo de las condiciones. La cantidad de materia seca producida a los 15, 25 y 45 días se calcula utilizando la fórmula:
(Peso inicial - peso seco) / Peso inicial x 100 = % de materia seca.

2.7 Análisis estadístico de los resultados

Para determinar si existen diferencias significativas entre las medias de los tratamientos, las variables evaluadas serán sometidas a un análisis de varianza. La prueba de Tukey, aplicada al 5% de significancia, permitirá identificar qué pares de medias son significativamente diferentes.

CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1.1 Porcentaje de supervivencia de Azolla-Anabaena

En la primera variable evaluada, porcentaje de supervivencia de la Azolla Anabaena se relacionó con el tiempo de duración de cada ensayo en la **Tabla 10**, y **Anexos A2** y **A5** se presentan los resultados de la evaluación del porcentaje de supervivencias de Azolla-Anabaena bajo cuatro niveles de fertilización orgánica establecidas en dos épocas diferentes y evaluados a los 15 y 25 días de iniciados los tratamientos. Se observa que en el primer ensayo el tratamiento T_4 conformado por 250g de estiércol de chivo +750g de sustrato orgánico, mostro un porcentaje de supervivencia del 52.1%, superando en un 49,28% al tratamiento control (T_1), y en 32%, 11.04% a los tratamientos T_2 y T_3 , respectivamente a los 15 días de evaluado.

Tabla 10 Comparación de medias de la variable % de supervivencia, mediante la prueba de Tukey al 5%, para el primer ensayo (PE), 15 días de evaluación (DDE) y segundo ensayo (SE). 25 días de evaluación (DDE)

Tratamiento	15DDE			25DDE				
	Medias	n	E.E.	Medias	n	E.E.		
4	52,10	5	0,46	a	59,46	5	0,53	a
3	42,18	5	0,46	b	52,6	5	0,53	b
2	21,22	5	0,46	c	21,96	5	0,53	c
1	10,18	5	0,46	d	5	5	0,53	d
C.V	3.29%			3.43%				

Para el segundo ensayo la aplicación de los tratamientos fueron reducidos, se observa que los tratamientos difieren significativamente entre sí, donde el T_4 con una fertilización de (100g estiércol de chivo +750g sustrato orgánico), obtuvo un resultado favorable del 59.46% de supervivencia, superando en un 54,46 al tratamiento control T_1 , y en un 47.6, 16.96 a los tratamientos T_2 y T_3 a los 25 días de evaluado. Demostrando un decrecimiento en la supervivencia del helecho a deficiencia de nutrientes en el agua y tiempo de duración del ensayo

De acuerdo con investigaciones anteriores han demostrado que las altas concentraciones de sustrato orgánico en el cultivo de Azolla Anabaena promueve un mayor crecimiento vegetativo y una mejor calidad nutricional en términos de contenido de nutrientes (Tiwari et al., 2016). Sin embargo, también se menciona que las altas concentraciones de estiércol

dentro del tiempo de duración de supervivencia disminuyen el porcentaje de crecimiento del helecho.

En un estudio realizado por Almeida et al. (2022), se evaluó el efecto de la fertilización con estiércol de cerdo sobre la supervivencia de *Lemna minor*, y los resultados encontrados por el investigador mostraron que la fertilización con estiércol de cerdo a una dosis de 200 g/m² redujo significativamente la supervivencia de *Lemna* en comparación con los tratamientos sin fertilización y con fertilización a una dosis de 100 g/m².

Acorde a la literatura se puede decir que en la investigación realizada el porcentaje de estiércol juegan un rol importante en la supervivencia de la azolla, esto quiere decir que mientras menor sea las dosis mejores resultados se obtendrían.

3.1.2 Tasa de crecimiento de *Azolla-Anabaena*

Los resultados presentados en la **Figura 3** de la investigación muestran que el crecimiento de *Azolla Anabaena* existe diferencia significativa, es decir que aumentó significativamente con la adición del sustrato orgánico, la dosis más alta de sustrato orgánico fue del 75% (750gr) demostrando que la disminución en un 5% de estiércol favoreció al crecimiento, siendo así el mejor tratamiento T₄ con promedio de 24.62gr a los 45 d de cultivo, superando en un 8.34gr al primer ensayo y con un 3.72gr al segundo ensayo, siendo el tratamiento T₄ que recibió la mayor dosis de sustrato orgánico, indicando la tasa de crecimiento más alta en todos los períodos de evaluación como se detalla en los **Anexos A6,A9,A12**.

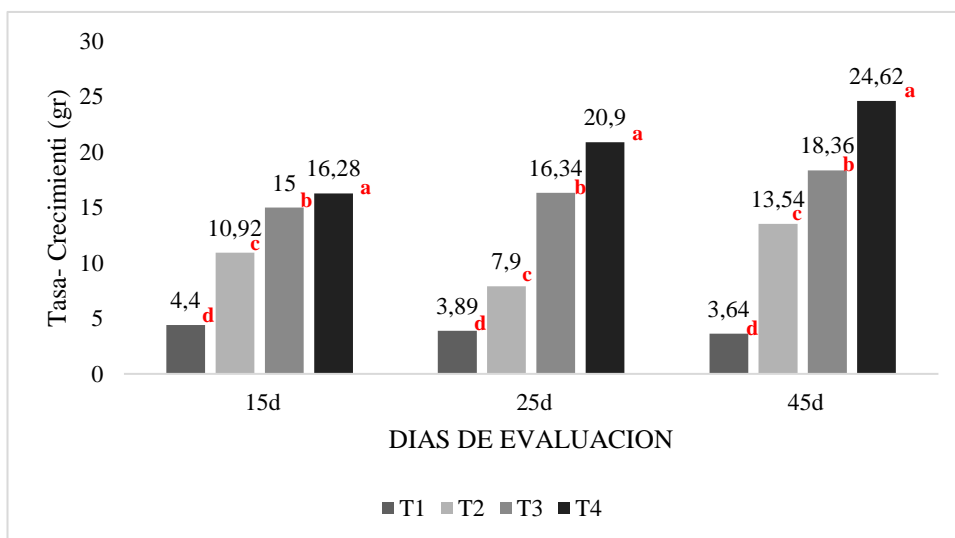


Figura 3 Efectos del estiércol de chivo más abono orgánico en el crecimiento de la *A. Filiculoides* (P<0.05).

Sin embargo, se analizaron los datos de las evaluaciones anteriores, en el primer ensayo, a los 15 días se detalla en los **Anexos A6, A7, A8**, el tratamiento T_2 (estiércol de chivo, 750 g) mostró una tasa de crecimiento de 10.92 g/día, que es un aumento de 6.52gr con respecto al tratamiento testigo (Agua pura). Los tratamientos T_3 y T_4 también mostraron un aumento significativo en la tasa de crecimiento, superando con valores de 11.88 y 1.28, demostrando un decrecimiento para esta variable.

El segundo ensayo tuvo un ciclo 25 días, en donde el tratamiento T_4 con dosis de (50gr estiércol de chivo + 750gr de abono orgánico) mostro una tasa de crecimiento de 20.9 g/25días – que vendría ser 0,48gr/d por día, que es un aumento de 17.01 gr con respecto al tratamiento control (T_1), y en 12.45gr/d, 4.01gr/d a los tratamientos T_3 y T_2 a los 25 días de evaluado se detalla en el **Anexo A9, A10, A11**.

En comparación con los resultados obtenidos por Mosquera Lenti y Calderón Rodríguez en 2002, las plantas evaluadas durante 25 días en el medio IRRI -N mostraron un promedio de 0.092 día⁻¹, mientras que aquellas cultivadas en el medio IRRI +N exhibieron un promedio de 0.027 día⁻¹. Estos resultados indican que la dosis aplicada en la investigación favorece una tasa de crecimiento superior. Se observa que los tratamientos más efectivos son aquellos que presentan bajos niveles de nitrógeno, lo cual concuerda generalmente con las condiciones de su entorno natural de crecimiento.

Así mismo el tercer y último ensayo se ilustra en los **Anexos A12, A13, A14** el tratamiento con la dosis más alta de estiércol de chivo (T_1) mostró el menor crecimiento, con respecto al T_4 conformado por 50gr de estiércol de chivo incluido 750gr de abono orgánico, mostro una tasa de crecimiento de 24.26gr/d, superando en un que 20.98gr/d al tiramiento control (T_1), y en 14.72gr/d, 9.9gr/d a los tratamientos T_3 y T_2 a los 45 días de evaluado.

Los resultados muestran que la poca cantidad de nutrientes provocan que la tasa de crecimiento disminuye significativamente, y el abono orgánico son factores importantes para aumentar la tasa de crecimiento de Azolla-Anabaena, en una proporción de 25/75 tratamiento T_4 parece ser la más efectiva para aumentar la tasa de crecimiento. Según (Méndez-Martínez et al., 2018) menciona que el crecimiento del helecho varía según el porcentaje de aplicación de nutrientes requerido para su crecimiento normal.

3.1.3 Rendimiento de la biomasa de *Azolla-Anabaena* (Peso fresco)

El análisis de varianza mostró que existen diferencias significativas entre los tratamientos para los tres períodos de evaluación. Los valores del coeficiente de variación (CV) fueron 2.83 primer ensayo, 3.89 segundo ensayo, 2.96 tercer ensayo, lo que indica que los resultados fueron diferentes.

Los resultados del rendimiento de la biomasa establecidos en tres épocas diferentes y evaluados a 15, 25 y 45 días de iniciados los tratamientos, están detallados en la **Figura 4**. Se observa que en el primer ensayo el tratamiento T_4 que recibió la mayor dosis de abono orgánico con 750gr, presentó el mayor rendimiento, con un promedio de 1319.6 gr/m² a los 45 días, superando con 1217.02 gr al tratamiento control (T_1), y en 1185.24, 397.28 gr a los tratamientos T_2 y T_3 evaluados.

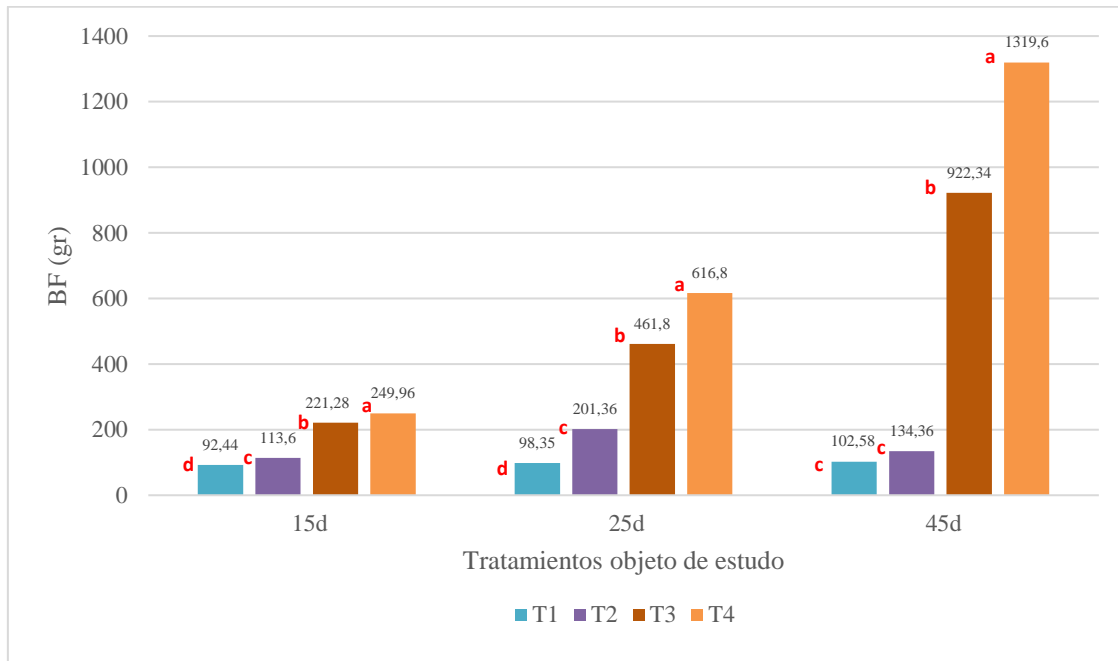


Figura 4 Efecto del estiércol de chivo más abono orgánico sobre la producción de biomasa fresca de *A. Filiculoides* ($P < 0.05$).

En los **Anexos A15, A16 y A17** se muestran los datos y análisis del primer ensayo, a los 15 días, el tratamiento control (T_1) produjo 92,4 gramos de biomasa fresca, mientras que el tratamiento con estiércol de chivo (T_2) produjo 113,6 gramos, un aumento del 23,5%. El tratamiento con estiércol de chivo 500gr más abono orgánico 500gr (T_3) produjo 221,3 gramos, un aumento del 135,3%. El tratamiento con estiércol de chivo 250gr más abono orgánico 750gr (T_4) produjo 250,0 gramos, un aumento del 165,9%.

El análisis y resultados segundo ensayo se detallan en **Anexos A18, A19 A20**, a los 25 días, el tratamiento testigo produjo 98,4 gramos de biomasa fresca, mientras que el tratamiento con estiércol de chivo 250gr produjo 201,4 gramos, un aumento del 104,2%. El tratamiento con estiércol de chivo más abono orgánico produjo 461,8 gramos, un aumento del 467,2%. El tratamiento con estiércol de chivo 100gr más abono orgánico 750gr produjo 616,8 gramos, un aumento del 629,5%.

En el tercer ensayo, a los 45 días, el tratamiento testigo produjo 102,6 gramos de biomasa fresca, mientras que el tratamiento con estiércol de chivo 50gr produjo 134,4 gramos, un aumento del 31,2%. El tratamiento con estiércol de chivo 50gr más abono orgánico 250gr produjo 922,3 gramos, un aumento del 900,7%. El tratamiento con estiércol de chivo 50gr más abono orgánico 750gr produjo 1319,6 gramos, En este experimento, se registró un crecimiento más prolongado, necesitando el doble de tiempo para abarcar toda la superficie de los estanques.

Según (Rivera, 2017) Indica que mediante el uso de sustrato orgánico con columna de agua sin cubierta, se evidenció un aumento en la biomasa fresca de 76,67 g/m²d.

Según Castro & Román (2022) quienes realizaron estudios también con azolla, en donde su rendimiento de biomasa fresca fueron 87.12gr m² en 40 días que coinciden con los resultados presentados por ende en el primer ensayo preexperimental realizado en esta investigación se alcanzó un rendimiento promedio de 87.12 g m²día, del índice de crecimiento del 95%, que osciló entre 35.90 y 138.35 g/m² al día, de Azolla en base húmeda (BH) durante los 40 días del ensayo. Otros estudios realizados por diversos investigadores han revelado valores que varían entre 5.76 y 400 g/m² al día (Méndez-Martínez et al., 2018, 2017; Hassan y Chakrabarti, 2009; Ly, 2003; Suárez y García, 1998) Por otro lado, los resultados del estudio de Intriago, et al. (2017), indica que el tratamiento que emplea sustrato orgánico con columna de agua sin cubierta presenta los niveles más elevados de biomasa de Azolla, alcanzando los 2340,5 g. Esto podría estar vinculado a la mejora del proceso metabólico de la materia orgánica.

3.1.4 Materia Seca de la biomasa (Peso seco) de Azolla-Anabaena

La variable materia seca representa el peso seco de la biomasa de Azolla-Anabaena, evaluado en tres momentos distintos: a los 15, 25 y 45 días desde el inicio de los tratamientos. En el primer período, T_4 exhibió el valor más alto 7.10, seguido por T_3 (6.9),

T_2 (3.82) y T_1 (2.92). A los 25 días con dosis diferente y disminuyendo la aplicación de estiércol, T4 experimenta un aumento significativo, mostrando el valor más alto (20.98), seguido por T_3 (15.54), T_2 (6.85) y T_1 (3.93). A los 45 días, T_4 mantiene el valor más alto (43.5), seguido por T_3 (31.13), T_2 (4.45) y T_1 (3.49). Estas comparaciones revelan que T_4 conformado con la dosis de (50 estiércol de chivo +750 de abono orgánico) exhibe un crecimiento sustancial y consistentemente supera a los demás tratamientos en las mediciones a los 15 y 25 días.

Tabla 11 Comparación de medias de Materia seca, mediante la prueba de Tukey al 5%, para el primer ensayo (PE), 15 días de evaluación (DDE)y segundo ensayo (SE), 25 días de evaluación (DDE) y 45 días de evaluación (DDE) tercer ensayo (T.E)

Tratamiento	P.E 15DDE			S.E 25DDE			T.E 45 DDE		
	Medias	n	E.E.	Medias	n	E.E.	Medias	n	E.E.
4	7,10	5	0,10 a	20,98	5	0,25 a	43,50	5	0,37 a
3	6,88	5	0,10 a	15,54	5	0,25 b	31,13	5	0,37 b
2	3,82	5	0,10 b	6,85	5	0,25 c	4,45	5	0,37 c
1	2,92	5	0,10 c	3,93	5	0,25 d	3,49	5	0,37 c
C.V	4.35%			4.71%			3.99%		

El análisis de la varianza (ANOVA) detallado en los **Anexos A25, A28 y A3** mostro resultados que los tratamientos con estiércol de chivo más abono orgánico (T3 y T4) con dosis de 50gr más 750gr tuvieron un efecto significativo sobre la materia seca de la biomasa de Azolla – Anabaena ($P < 0,05$). Contando con un coeficiente de variación fue bajo para todos los tratamientos, lo que indica que la variación de los datos fue relativamente pequeña.

Estos resultados sugieren que la aplicación de estiércol de chivo en menores cantidades y abono orgánico favorece el crecimiento de Azolla-Anabaena, lo que se traduce en un aumento de la materia seca. En general, la materia seca de la azolla Anabaena representa entre el 20 y el 30% del peso total de la planta, sin embargo, se han reportado valores superiores de hasta el 40%.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.2 Conclusiones

Concluyendo, al utilizar diferentes dosis de sustrato orgánico compuesto por un 5% de estiércol de chivo y 75% de abono orgánico, se observan indicadores productivos destacados, logrando rendimientos en biomasa fresca de 1319.6 gr/m²/45d.

Los resultados de este estudio sugieren que el sustrato orgánico es un factor importante que afecta el crecimiento de Azolla Anabaena. Las dosis más altas de sustrato orgánico promueven un crecimiento más rápido y vigoroso de la planta.

El tratamiento T4, que incorpora la mayor dosis de abono orgánico, exhibió la biomasa más elevada en todos los ensayos. Este enfoque podría ser una elección óptima para productores que buscan maximizar el rendimiento de la Azolla-Anabaena.

Finalmente, los resultados de la investigación revelaron que el crecimiento de la Azolla Anabaena influenciada por la cantidad de sustrato orgánico. Así mismo se observó que en agua pura la Azolla crece en una tasa muy baja y solo durante un lapso muy corto debido a la falta de nutrientes, lo que resulta en su muerte .

3.3 Recomendación

Se recomienda ampliar el rango de dosis de sustrato orgánico considerando los resultados obtenidos en el tratamiento T_4 , para evaluar los efectos de otras dosificaciones. Dado que se ha demostrado que en porcentajes bajos de estiércol su capacidad de adaptación es mejor.

Además del sustrato orgánico se pueden incorporar otras variables a la investigación en el cual influyan al comportamiento de la Azolla Anabaena, como la temperatura, la luz y la disponibilidad de nutrientes.

Se recomienda realizar análisis químicos en muestras de planta con el objetivo de determinar la concentración de nitrógeno presente tanto en sus hojas como en el agua circundante.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

- Armijos, M. D. J. M., 2010. Academia.Edu. Available At: https://Www.Academia.Edu/4206441/Montano_2010_Ph_D_Tesis_R [Último Acceso: 02 Junio 2023].
- Castro, D. A. M. & Román, D. P., 2022. Rendimiento Y Valor Nutricional De Azolla Filiculoides Fertilizada Con Estiércol De Cuy En Arbieto, Cochabamba. Revista De Investigación E Innovación Agropecuaria Y De Recursos Naturales, 14 Agosto, P. 15.
- Conforme, A., 2022. Efecto Del Compost Caprino En El Rendimiento Del Pasto Brachiaria Brizantha Cv. Marandú, En Río Verde, Santa Elena. La Libertad. <https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/7587/1/UPSE-TIA-2022-0032.pdf>
- Clemente Tomalá, K.R., 2021. Uso de sustratos a base de fibra de coco y estiércol Caprino para la germinación de semillas en la comuna Prosperidad provincia de Santa Elena (B.S. thesis). La Libertad: Universidad Estatal Península de Santa Elena, 2021. <https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/6314/1/UPSE-TIA-2021-0050.pdf>
- Espinosa, A. E., 2014. Fijación De Nitrógeno Y Dióxido De Carbono Con El Simbiosistema Azolla-Anabaena, Montecillo, Texcoco, Edo. De México: Postgrado De Edafología.
- Flores, F. G. (24 de Abril de 2017). Elaboración De Abono Orgánico A Partir De Los Desechos Sólidos Y Líquidos Del Pescado Mediante La Practica Del Compostaje, Para Minimizar El Impacto Ambiental En Promarosa S. A., Ubicado En La Parroquia Chanduy, Provincia De Santa Elena, Año 2017. Santa Elena : Repositorio Upse. Obtenido de Repositorio Upse: <https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/4340/1/UPSE-TII-2018-0009.pdf>
- Gavilanes Gavilanes, E.J., 2015. Evaluación del helecho de agua asociado con anabaena (Azolla anabaena) como sustrato ecológico para producción de plantas de brócoli (Brassica oleracea L, variedad itálica) en la parroquia Montalvo (Master's Thesis).
- G, C. S. L., 2000. Fertilización Orgánica Con Estiércol Bovino En Diferentes Fechas Y Dosis De Aplicación En Maíz Blanco Hualahuises, Nueva Leon: Uanl.
- Guerrero, V. A. L., 2014. Caracterización Fitoquímica Y Biodinámica De Las Algas De Agua Dulce Y Del Helecho Acuático (Azolla Sp.) En El Proceso De Compostaje, Latacunga Cotopaxi, Ambato : S.N.

- Intriago, L. R., González, O. V., Jaramillo, M. C. & Delgado, I. R., 2017. Comportamiento De La Azolla (Azolla Spp.) Bajo Diferentes Condiciones Ambientales Y De Manejo , Machala : Revista De Cumbres .
- López Fernández, S., 2016. Comparación de las características físicas y químicas de compostas elaboradas con heces de bovinos, caprinos equinos y ovinos durante las estaciones del año., México. 2016. México.
- Marcelo, V. A. J., 2012. Determinación Del Aporte De Oxígeno Disuelto En Ambientes Acuiferos Por La Relación Simbiótica De Azolla Sp. Y Anabaena Sp. Cayambe/2010, Cayambe: Pdf.
- Méndez-Martínez, Y., Pérez-Tamames, Y., Reyes Pérez, J. J. & Puente, 2018. Azolla Sp., Un Alimento De Alto Valor Nutricional Para La Acuicultura. Biotecnia , 1 Enero, P. 10.
- Monteros, R. J. C., 2011. Relación Simbiótica De Azolla (Azolla Carolibiana, A. Filiculoides, A. Mexicana) - Anabaena (Anabaena Azollae) Para La Producción De Nitrogeno En Ecosistemas Acuáticos De La Zona De Cayambe, 2010. , Cayambe : S.N.
- Mosquera Lenti, J. & Calderón Rodríguez, A., 2002. Evaluación De Parámetros Bioquímicos Y Morfogenéticos En La Simbiosis Azolla Filiculoides Anabaena Azollae Como Respuesta A La Interacción De La Calidad De Luz Y Dos Niveles De Nitrógeno. Ecología Aplicada , 1 Diciembre, P. 7.
- Naranjo, J. S., 2010. Scribd. Available At: <https://es.scribd.com/document/316852621/Azolla-Anabaena#>
- Pérez, M., 2017. “Efecto De La Relación Carbono/Nitrógeno En El Tiempo De Descomposición Del Abono De Cuy (Cavia Porcellus), Enriquecido.”, Ecuador : S.N.
- Portela, R., 2017. Ciencia Y Biología. Available At: <https://cienciaybiologia.com/Azolla-Helecho-Agua/>
- Reyes, A. P., 2013. Bq. [En Línea] Available At: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/6636/1/Bq%2045.pdf> [Último Acceso: 04 Julio 2023].
- Rivera, L.M., 2017. Comportamiento de la azolla (Azolla spp.) bajo diferentes condiciones ambientales y de manejo. Cumbres 3, 95–105.

- Rubén Macías Duarte*, R. L. G. C. Y. F. R. C., 2012. Respuesta De La Aplicación De Estiercol Y Fertilizantes Sobre El Rendimiento Y Calidad Del Chile Jalapeño, S.L.: S.N.
- Tortosa, G., 2014. Uso Del Estiércol Como Fertilizante, España : La Ciencia De Compost .
- Velasco, F. M., 2016. Influencia Del Molibdeno Y Cobalto En El Crecimiento Y Fijación Biológica De Nitrógeno En Azolla Filiculoides Lam., Arequipa-Perú: Pdf.
- Víctor, A. B. C., 2022. Efecto Del Compost Caprino En El Rendimiento Del Pasto Brachiaria Brizantha Cv. Marandú, En Rio Verde, Santa Elena , Santa Elena: S.N.
- Viveros, G. S., 2012. Mecanismo De Tolerancia Del Simbiosistema Azolla- Anabaena Azollae Ante Arsenico Y Cobre , Mexico : S.N.
- Waseem Raja, P. R. S. A. J. P. W. R., 2012. Hacettepe Journal Of Biology And Chemistry Available At: <https://Dergipark.Org.Tr/En/Download/Article-File/1727650>
- Weather Spark, 2017. El clima en Santa Elena, el tiempo por mes, temperatura promedio (Ecuador) [WWW Document]. URL <https://es.weatherspark.com/y/18289/Clima-promedio-en-Santa-Elena-Ecuador-durante-todo-el-a%C3%B1o> (accessed 9.22.23).

ANEXOS

Tabla A 1 Porcentaje de supervivencia de Azolla-Anabaena 15 DDE

Tratamiento	Dosis Gramos	Repeticiones %					Promedios
		I	II	III	IV	V	
T1	0	10,5	10,0	9,9	10,1	10,4	10,2
T2	750	20,0	22,1	22,4	22,3	21,0	21,2
T3	500+500	42,0	41,6	43,5	21,5	41,5	42,2
T4	250+750	50,5	53,4	54,0	52,0	50,6	52,1

Tabla A 2 Análisis de la Varianza % de supervivencia

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	5493,09	3	1831,03	1716,86	0
TRATAMIENTO	5493,09	3	1831,03	1716,86	0
Error	17,06	16	1,07		
Total	5510,15	19			

Tabla A 3 Medias comparadas con la prueba Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=1,8686

Error: 1,0665 gl: 16

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.	
T4	52,1	5	0,46	A
T3	42,18	5	0,46	B
T2	21,22	5	0,46	C
T1	10,18	5	0,46	D

Tabla A 4 Porcentaje de supervivencia de Azolla-Anabaena 25 DDE

Tratamiento	Dosis Gramos	Repeticiones %					Promedios
		I	II	III	IV	V	
T1	0	5,1	5,2	4,9	5	4,8	5
T2	250	22,1	22	22,4	22,3	21	19,1
T3	150+500	54,3	53	50	53,7	52	52,6
T4	100+750	60	61,2	59	60,1	57	59,5

Tabla A 5 Análisis de la Varianza % de supervivencia a los 25 días

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	9889,27	3	3296,42	2321,02	0
TRATAMIENTO	9889,27	3	3296,42	2321,02	0
Error	22,72	16	1,42		
Total	9911,99	19			

Tabla A 6 Tasa de crecimiento de Azolla-Anabaena a los 15 días

Tratamiento	Dosis Gramos	Repeticiones gr/días					Promedios
		I	II	III	IV	V	
T1	0	4,2	4,3	4,5	4,3	4,7	4,4
T2	750	11,2	10,4	11,5	11,2	10,3	10,9
T3	500+500	15	15,6	15	15	14,4	15
T4	250+750	16	16,7	16,1	16,2	16,4	16,3

Tabla A 7 Análisis de la Varianza – Tasa de crecimiento a los 15 días

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	428,77	3	142,92	978,94	0
TRATAMIENTO	428,77	3	142,92	978,94	0
Error	2,34	16	0,15		
Total	431,11	19			

Tabla A 8 Medias comparadas - Tasa de crecimiento con la prueba Test: Tukey Alfa=0,05
DMS=0,69140**Error: 1,0665 gl: 16**

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.	
T4	16,28	5	0,17	A
T3	15	5	0,17	B
T2	10,92	5	0,17	C
T1	4,4	5	0,17	D

Tabla A 9 Taza de crecimiento de Azolla-Anabaena 25 DDE

Tratamiento	Dosis Gramos	Repeticiones %					Promedios
		I	II	III	IV	V	
T1	0	3,81	4,1	3,8	4	3,75	3,9
T2	250	8	8,2	7,9	7,4	8	7,9
T3	150+500	16,8	16,9	16	16	16	16,34
T4	100+750	21	21,5	20	21	21	20,9

Tabla A10 Análisis de la Varianza – Tasa de crecimiento a los 25 días

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	901,65	3	300,55	1906,52	0
TRATAMIENTO	901,65	3	300,55	1906,52	0
Error	2,52	16	0,16		
Total	904,17	19			

Tabla A11 Medias comparadas - Tasa de crecimiento con la prueba Test: Tukey Alfa=0,05
DMS=0,71844

Error: 1,0665 gl: 16

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.	
T4	20,9	5	0,18	A
T3	16,34	5	0,18	B
T2	7,9	5	0,18	C
T1	3,89	5	0,18	D

Tabla A12 Taza de crecimiento de Azolla-Anabaena 45 DDE

Tratamiento	Dosis	Repeticiones gr/días					Promedios
		I	II	III	IV	V	
T1	0	3,7	3,9	3,6	3,5	3,5	3,6
T2	50	14	13,5	14,1	12,5	13,6	13,5
T3	50+250	18,6	18	18,3	17,9	19	18,4
T4	50+750	24,3	24,9	25,3	24,6	24	24,6

Tabla A13 Análisis de la Varianza – Tasa de crecimiento a los 45 días

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1175,04	3	391,68	1758,39	0
TRATAMIENTO	1175,04	3	391,68	1758,39	0
Error	3,56	16	0,22		
Total	1178,61	19			

Tabla A14 Medias comparadas - Tasa de crecimiento con la prueba Test: Tukey Alfa=0,05
DMS=0,85400

Error: 1,0665 gl: 16

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.	
T4	24,62	5	0,21	A
T3	18,36	5	0,21	B
T2	13,54	5	0,21	C
T1	3,64	5	0,21	D

Tabla A15 Rendimiento de biomasa fresca de Azolla-Anabaena 15 DDE

Tratamiento	Dosis	Repeticiones %					Promedios
		I	II	III	IV	V	
T1	0	93,2	91	92,4	92	93,6	92,4
T2	750	115	114	112	115	112	113,6
T3	500+500	226,5	220	225	210	225	221,2
T4	250+750	253,2	239	254	249	255	250

Tabla A16 Análisis de la Varianza – Rendimiento de biomasa a los 15 días

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	91087,44	3	30362,48	1325,5	0
TRATAMIENTO	91087,44	3	30362,48	1325,5	0
Error	366,5	16	22,91		
Total	91453,95	19			

Tabla A17 Medias comparadas – Rendimiento de biomasa Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=1,86866

Error: 1,0665 gl: 16

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.	
T4	249,96	5	2,14	A
T3	221,28	5	2,14	B
T2	113,6	5	2,14	C
T1	92,44	5	2,14	D

Tabla A18 Rendimiento de biomasa fresca de la Azolla- Anabaena 25 DDE

Tratamiento	Dosis	Repeticiones %					Promedios
		I	II	III	IV	V	
T1	0 Gramos	101,5	101	99,6	89,7	100	98,4
T2	250	205	198,5	205,4	197,9	200	201,4
T3	150+500	430	465	475	469	470	461,8
T4	100+750	615	634	599	638	598	615,8

Tabla A19 Análisis de la Varianza – Rendimiento de biomasa a los 25 días

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	844927,19	3	281642,4	1564,18	0
TRATAMIENTO	844927,19	3	281642,4	1564,18	0
Error	2880,91	16	180,06		
Total	847808,1	19			

Tabla A20 Medias comparadas – Rendimiento de biomasa con la prueba Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=24,28040

Error: 1,0665 gl: 16

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.	
T4	616,8	5	6	A
T3	461,8	5	6	B
T2	201,36	5	6	C
T1	98,35	5	6	D

Tabla A21 Rendimiento de biomasa de Azolla-Anabaena 45 DDE

Tratamiento	Dosis	Repeticiones %					Promedios
-------------	-------	----------------	--	--	--	--	-----------

	Gramos	I	II	III	IV	V	
T1	0	103,3	103	103	103,4	100	103
T2	50+250	132,5	134,6	137,5	132,2	132,2	134,4
T3	150+500	910	937,1	929	935,6	935,6	922,3
T4	100+750	1354	1301	1288	1356	1299	1319,6

Tabla A22 Análisis de la Varianza – Rendimiento de biomasa a los 45 días

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	5422094,9	3	1807365	5361,66	0
TRATAMIENTO	5422094,9	3	1807365	5361,66	0
Error	5393,45	16	337,09		
Total	5427488,4	19			

Tabla A23 Medias comparadas – Rendimiento de biomasa con la prueba Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=33,22189

Error: 337,0908 gl: 16

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.	
T4	1319,6	5	8,21	A
T3	922,34	5	8,21	B
T2	134,36	5	8,21	C
T1	102,58	5	8,21	C

Tabla A24 Materia seca de la biomasa (peso en seco) 15 DDE

Tratamiento	Dosis	Repeticiones %					Promedios
		I	II	III	IV	V	
T1	Gramos 0	2,98	2,91	2,95	2,75	2,99	2,92
T2	750	3,87	3,84	3,77	3,87	3,77	3,82
T3	500+500	7,04	6,84	7,00	6,53	6,99	6,88
T4	250+750	7,25	9,99	7,00	7,65	6,61	7,10

Tabla A25 Materia seca de la biomasa (peso en seco) a los 15 días

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	67,77	3	22,59	444,67	0
TRATAMIENTO	67,77	3	22,59	444,67	0
Error	0,81	16	0,05		
Total	68,59	19			

Tabla A26 Medias comparadas - Materia seca con la prueba Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,40785

Error: 0,0508 gl: 16

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.
--------------------	---------------	----------	-------------

T4	7,1	5	0,1	A
T3	6,88	5	0,1	A
T2	3,82	5	0,1	B
T1	2,92	5	0,1	D

Tabla A27 Materia seca de la biomasa (peso en seco) 25 DDE.

Tratamiento	Dosis	Repeticiones %					Promedios
		I	II	III	IV	V	
T1	0	4,00	3,98	4,03	3,65	3,98	3,93
T2	250	6,90	6,68	7,30	6,66	6,73	6,85
T3	150+500	14,47	15,64	15,98	15,78	15,81	15,54
T4	100+750	22	21,33	20	21,46	20,12	20,98

Tabla A28 Análisis de la Varianza – Materia seca a los 25 días

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	923,53	3	307,84	990,64	0
TRATAMIENTO	923,53	3	307,84	990,64	0
Error	4,97	16	0,31		
Total	928,51	19			

Tabla A29 Medias comparadas - Materia seca con la prueba Test: Tukey Alfa=0,05
DMS=1,00869

Error: 1,0665 gl: 16

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.
T4	20,98	5	0,25 A
T3	15,54	5	0,25 B
T2	6,85	5	0,25 C
T1	3,93	5	0,25 D

Tabla A30 Materia seca de la biomasa (peso en seco) 45 DDE.

Tratamiento	Dosis	Repeticiones %					Promedios
		I	II	III	IV	V	
T1	0	3,48	3,65	3,48	3,36	3,47	3,49
T2	50	4,46	4,53	4,30	4,45	4,54	4,45
T3	50+250	30,61	30,90	31,25	32,60	30,28	31,13
T4	50+750	45,55	43,77	42,00	42,50	43,70	43,50

Tabla A31 Análisis de la Varianza – Materia seca a los 45 días

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	5944,47	3	1981,49	2917,74	0
TRATAMIENTO	5944,47	3	1981,49	2917,74	0
Error	10,87	16	0,68		

Total	5955,34	19
--------------	---------	----

Tabla A32 Medias comparadas – Materia seca con la prueba Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=1,49116

Error: 0,6791 gl: 16

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.	
T4	43,5	5	0,37	A
T3	31,13	5	0,37	B
T2	4,45	5	0,37	C
T1	3,49	5	0,37	C



Ilustración 2 A. Preparación de las piscinas



Ilustración 1 A Colección del material genético



Ilustración 3 A Revestimiento de plástico, material grueso y oscuro



Ilustración 4 A. Aplicación de los tratamientos



Ilustración 5A. Tratamientos



Ilustración 6A. Primer ensayo



Ilustración 8A. Segundo ensayo



Ilustración 7 A. Recolección para la toma de datos



Ilustración 10A. Tercer ensayo



Ilustración 9A. Porcentaje de supervivencia con respecto al tratamiento cuatro en 15 días de evaluación



Ilustración 11A. Evaluación a los 25 días



Ilustración 12A. Porcentaje de supervivencia a los 25 días



Ilustración 14 A. Azollario cubero duplicando el rendimiento en biomasa



Ilustración 13A. evaluación a los 15 días



Ilustración 16A. Evaluación a los 45 días



Ilustración 15 A. realización de pesaje