



Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales

Renovables

Carrera de Ingeniería Agrícola

Generación y aprovechamiento de Nitrógeno bien expresado mediante la producción del simbiote Azolla–Anabaena, en el cultivo de acelga (*Betavulgaris* L.) en la parroquia Gualiel, cantón y provincia Loja.

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniera Agrícola

AUTORA:

Claudia Gissela Angamarca Angamarca

DIRECTOR:

Edison Ramiro Vásquez, Ph.D.

Loja – Ecuador

2022

Certificación del Trabajo de Titulación

Loja, 25 de julio de 2022

Edison Ramiro Vásquez, PhD
DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo el proceso de la elaboración del Trabajo de Titulación denominado: **Generación y aprovechamiento de Nitrógeno bien expresado mediante la producción del simbionte Azolla–Anabaena, en el cultivo de acelga (*Betavulgaris* L.) en la parroquia Gualel, cantón y provincia Loja.**, previa a la obtención del título de **Ingeniera Agrícola**, de autoría de la egresada **Claudia Gissela Angamarca Angamarca**, con cédula de identidad Nro. **1150349478**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja, para el efecto, autorizo la presentación del mismo para la respectiva sustentación y defensa.



Edison Ramiro Vásquez, PhD.
DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Autoría

Yo, **Claudia Gissela Angamarca Angamarca**, declaro ser autora del presente trabajo de titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido de la misma. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi Trabajo de Titulación, en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.



Firma:

Cédula de identidad: 1150349478

Fecha: 31 de octubre de 2022

Correo electrónico: claudia.angamarca@unl.edu.ec

Teléfono celular: 0993550658

Carta de autorización por parte de la autora, para consulta, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica de texto completo, del Trabajo de Titulación.

Yo, **Claudia Gissela Angamarca Angamarca** declaro ser autora del Trabajo de Titulación denominado: **Generación y aprovechamiento de Nitrógeno bien expresado mediante la producción del simbiote Azolla–Anabaena, en el cultivo de acelga (*Betavulgaris* L.) en la parroquia Gualel, cantón y provincia Loja.**, como requisito para optar el título de **Ingeniera Agrícola**; autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia de la tesis que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los treinta y un días del mes de octubre de dos mil veinte y dos.



Firma:

Autora: Claudia Gissela Angamarca Angamarca

Cédula de identidad: 1150349478

Dirección: San Sebastián, Loja–Ecuador.

Correo electrónico: claudia.angamarca@unl.edu.ec

Teléfono: 0993550658

DATOS COPLEMENTARIOS

Director del Trabajo de Titulación: Edison Ramiro Vásquez, Ph.D.

Tribunal de Grado:	M.Sc. Pedro Manuel Guaya Pauta	Presidente
	M.Sc. Miguel Ángel Villamagua	Vocal
	M.Sc. Fernanda Livisaca Loján	Vocal

Dedicatoria

A Dios que, con su amor y sabiduría, ha sido guía durante mis años de universidad; por concederme salud y voluntad para la realización de este trabajo de titulación.

A mis padres: Melquicedec y Cecilia, quienes con mucho esfuerzo me apoyaron económicamente y sobre todo me educaron con amor, honradez y perseverancia; este logro también es de ustedes, gracias por confiar en mi para materializar este sueño.

A Fabiola, por apoyarme y ser mi soporte siempre.

A quienes me acompañan desde el cielo y me siguen inspirando.

Y a mi familia, por acompañarme en cada etapa de mi vida.

Claudia

Agradecimiento

A la Universidad Nacional de Loja, a la Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables, a la Carrera de Ingeniería Agrícola y a todos mis docentes, por compartir sus enseñanzas a lo largo de mi formación profesional.

De manera especial al Dr. Edison Ramiro Vásquez, director del presente trabajo de titulación, por su guía, apoyo e infinita paciencia.

A los ingenieros, Pedro Guaya, Miguel Villamagua y Fernanda Livisaca, miembros del tribunal, por sus aportes y sugerencias para mejorar el trabajo.

Al Dr. Mariano Montaña Armijos, Ph.D., por ser el precursor de la agricultura biogénica en Ecuador y por demostrarnos que una nueva forma de cultivar es posible con salud, prosperidad y libertad.

Finalmente, agradezco a mi familia, amigos y a todas las personas que contribuyeron al desarrollo del trabajo de titulación.

A todos, gracias.

Índice de contenido

	Página
Portada	i
Certificación del Trabajo de Titulación	ii
Autoría	iii
Carta de autorización del Trabajo de Titulación	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Índice de contenido	vii
Índice de tablas.....	ix
Índice de figuras.....	x
Índice de anexos.....	xi
1. Título	1
2. Resumen	2
2.1. Abstract.....	3
3. Introducción	4
4. Marco Teórico	6
4.1. Agricultura.....	6
4.2. El recurso suelo para la producción agrícola.....	7
4.2.1. Fertilidad del suelo.....	8
4.3. Nitrógeno	8
4.3.1. Ciclo del nitrógeno	8
4.4. Fertilizantes.....	10
4.5. Fijación biológica del nitrógeno (FBN).....	11
4.6. Azolla	11
4.7. Anabaena.....	16
4.8. Simbiosis Azolla–Anabaena	17
4.9. Acelga (<i>Beta vulgaris</i> L.)	18
4.9.1. Requerimientos edafoclimáticos de la acelga	18
4.9.2. Requerimientos nutricionales de la acelga.....	19
4.10. Calidad de agua para riego.....	21
4.11. Tasa Marginal de Retorno.....	22
5. Metodología	23
5.1. Ubicación	23
5.1.1. Ubicación Política.	23
5.1.2. Ubicación Geográfica.....	23

5.1.3. Ubicación Ecológica.....	23
5.2. Metodología para el primer objetivo	24
5.2.1. Producir nitrógeno bien expresado en condiciones accesibles para los agricultores..	24
5.3. Metodología para el segundo objetivo.....	25
5.3.1. Evaluar el efecto del nitrógeno bien expresado en el cultivo de acelga (Beta vulgaris L.).....	25
5.3.2. Requerimientos hídricos del cultivo de acelga	26
5.3.3. Requerimientos de nutrientes en el cultivo de acelga	27
5.3.4. Variables registradas	27
6. Resultados	28
6.1. Producción de nitrógeno bien expresado.	28
6.1.1. Crecimiento y producción de azolla filiculoides	28
6.1.2. Análisis químico del agua del azollario.....	29
6.1.3. Análisis químico de biomasa de azolla filiculoides	32
6.2. Evaluación del efecto del nitrógeno bien expresado en el cultivo de acelga.....	33
6.2.1. Diseño agronómico del cultivo de acelga.	33
6.2.2. Requerimientos de nutrientes en el cultivo de acelga	35
6.2.3. Variables evaluadas en el cultivo de acelga.....	37
6.2.4. Análisis económico (Tasa Marginal de Retorno).	40
7. Discusión	42
7.1. Producción de nitrógeno bien expresado	42
7.2. Evaluación del efecto del nitrógeno bien expresado en el cultivo de acelga.....	45
8. Conclusiones	47
9. Recomendaciones	48
10. Bibliografía	49
11. Anexos	58

Índice de tablas

	Página
Tabla 1. Taxonomía de azolla	13
Tabla 2. Composición química de azolla	13
Tabla 3. Distribución geográfica del género azolla en el Ecuador.....	14
Tabla 4. Taxonomía Anabaena	16
Tabla 5. Condiciones óptimas para el desarrollo de Anabaena	17
Tabla 6. Taxonomía de la acelga	18
Tabla 7. Requerimientos del cultivo de acelga	20
Tabla 8. Factores y dosis del experimento	26
Tabla 9. Contenido de nutrientes cada 100 g en la biomasa de azolla filiculoides	32
Tabla 10. Evapotranspiración del cultivo de referencia.....	33
Tabla 11. Evapotranspiración del cultivo de acelga.....	34
Tabla 12. Datos del suelo para riego de la parroquia Gualal	34
Tabla 13. Análisis químico del suelo al inicio del ensayo en la parroquia Gualal	35
Tabla 14. Requerimientos del cultivo de acelga, disponibilidad de nutrientes del suelo y las dosis del fertilizante convencional Vigorizador 30–10–10.....	35
Tabla 15. Análisis inicial y final del suelo de la parroquia Gualal	36
Tabla 16. Costos variables del cultivo de acelga	40
Tabla 17. Ingreso bruto en el cultivo de acelga	41
Tabla 18. Dominancia de tratamiento	41
Tabla 19. Tasa de retorno marginal en los tratamientos del cultivo de acelga	41

Índice de figuras

	Página
Figura 1. Representación esquemática de los flujos de nitrógeno en el ecosistema	9
Figura 2. Azolla filiculoides	12
Figura 3. Ubicación del área de estudio en la parroquia Gualiel, cantón y provincia Loja... 23	
Figura 4. Diseño de bloques al azar con tres réplicas	25
Figura 5. Unidad experimental y unidades básicas	25
Figura 6. Crecimiento de azolla filiculoides. Gualiel, Loja. 2021	28
Figura 7. Producción de azolla filiculoides. Gualiel, Loja. 2021	28
Figura 8. Contenido de N en la NitrAgua en mg/l. Gualiel, Loja. 2021	29
Figura 9. Contenido de K, Ca y Mg en la NitrAgua en mg/l. Gualiel, Loja. 2021	29
Figura 10. Contenido de Na, B, Cl y SO ₄ en la NitrAgua en mg/l. Gualiel, Loja. 2021	30
Figura 11. Contenido de HCO ₃ en la NitrAgua en mg/l. Gualiel, Loja. 2021	30
Figura 12. pH de NitrAgua. Gualiel, Loja. 2021	31
Figura 13. CE y RAS en la NitrAgua. Gualiel, Loja. 2021	31
Figura 14. Dureza de la NitrAgua en mg/l. Gualiel, Loja. 2021	32
Figura 15. Coeficiente del cultivo de acelga (<i>Beta vulgaris</i> L.).....	33
Figura 16. Modelo de regresión lineal para altura de acelga (<i>Beta vulgaris</i> L.).....	37
Figura 17. Altura de planta de acelga (<i>Beta vulgaris</i> L.) en Gualiel	37
Figura 18. Modelo de regresión lineal para número de hojas de acelga (<i>Beta vulgaris</i> L.) 38	
Figura 19. Número de hojas de la planta de acelga (<i>Beta vulgaris</i> L.) en Gualiel.....	38
Figura 20. Modelo de regresión lineal para diámetro del tallo de acelga (<i>Beta vulgaris</i> L.) 39	
Figura 21. Diámetro del tallo de la planta de acelga (<i>Beta vulgaris</i> L.) en Gualiel	39
Figura 22. Peso de la acelga (<i>Beta vulgaris</i> L.) en Gualiel	40

Índice de anexos

	Página
Anexo 1. Preparación del diseño experimental para el cultivo de acelga.....	58
Anexo 2. Análisis del suelo de la parroquia Gualiel, en el laboratorio de suelos de la UNL	58
Anexo 3. Medición de altura de plantas a los 15 días del trasplante.....	59
Anexo 4. Fertilización con biomasa de azolla en el cultivo de acelga	59
Anexo 5. Azollarios llenos en el predio de la parroquia Gualiel, Loja. 2021.....	60
Anexo 6. Presencia de plagas en el cultivo de acelga en Gualiel, Loja. 2021	60
Anexo 7. Peso de las hojas de acelga en Gualiel, Loja. 2021	61
Anexo 8. Socialización de resultados en la parroquia Gualiel	61
Anexo 9. Socialización de resultados en el cantón Vinces	62
Anexo 10. Socialización de resultados en el cantón Gonzanamá.....	62
Anexo 11. Socialización de resultados en la parroquia Vilcabamba	63
Anexo 12. Análisis de textura del suelo de Gualiel.....	63
Anexo 13. Triángulo textural para clasificación del suelo de Gualiel.	64
Anexo 14. Evapotranspiración de referencia de Gualiel.....	64
Anexo 15. Certificación de traducción Abstract.	65

1. Título

Generación y aprovechamiento de Nitrógeno bien expresado mediante la producción del simbiote Azolla–Anabaena, en el cultivo de acelga (*Betavulgaris* L.) en la parroquia Gualiel, cantón y provincia Loja.

2. Resumen

La parroquia Gualiel del cantón y provincia Loja, es una zona agrícola; sin embargo, existen limitantes al momento de producir: altos costos de fertilizantes, presencia de suelos ácidos e insuficiencia de tecnificación agraria. La presente investigación tiene como finalidad contribuir a la agricultura familiar campesina mediante la generación de nitrógeno bien expresado a través de la simbiosis Azolla–Anabaena. Se realizó la producción de nitrógeno mediante azollarios y posteriormente la evaluación del efecto del nitrógeno en el cultivo de acelga (*Beta vulgaris* L.). En un diseño experimental de bloque al azar se probaron cuatro tratamientos con tres réplicas: testigo agricultor; nitrógeno convencional (Vigorizador 30–10–10) requerimiento de 1 500 mg/l por planta; riego con NitrAgua aplicación de 17,14 mg/l cada 10 días; biomasa seca de *azolla* 17 500 mg/l con NitrAgua 17,14 ppm, cada 15 días; se evaluaron las variables: altura de planta, número de hojas, diámetro del tallo y peso final de acelga. Con biomasa de *azolla* + NitrAgua se obtuvo 30 cm de altura de planta y 12 hojas verdaderas en contraste con el nitrógeno convencional y testigo agricultor con altura de 26 cm, 8 y 9 hojas, respectivamente; además, se registró un peso de 1,10 kg/planta y con el testigo agricultor 0,78 kg/planta. El rendimiento final del cultivo fue 55 t/ha. La tasa marginal de retorno fue de 176%.

Palabras claves: helecho, azollario, biofertilizantes, fijación biológica, biomasa.

2.1. Abstract

The Gualiel parish of the canton and province of Loja is an agricultural zone; however, there are restrictions at the moment to produce: high fertilizer costs, the presence of acidic soils and insufficient agricultural technology. The present research work focuses on the contribution to family farming through the generation of nitrogen well elucidated using the Azolla-Anabaena symbiosis. It was carried out the production of nitrogen through azolla and consequently, the evaluation of the effect of nitrogen on the chard crop (*Beta vulgaris* L.). In an experimental randomized block design, the following four treatments were tested with three replicates: farmer control; conventional nitrogen (Vigorizer 30–10–10) requirement of 1 500 mg/l per plant; irrigation with NitrAgua application of 17,14 mg/l every 10 days; dry biomass of azolla 17 500 mg/l with NitrAgua 17,14 ppm, every 15 days; the variables evaluated were: plant height, number of leaves, stem diameter and final weight of chard. In contrast to the conventional nitrogen and farmer control with 26 cm height, 8 and 9 leaves, respectively, the biomass of azolla + NitrAgua reached 30 cm of plant height and 12 true leaves; furthermore, there was a weight of 1,10 kg/plant and with the farmer control 0,78 kg/plant. As a result, the final yield of the crop was 55 t/ha. The marginal rate of return was 176 %.

Keywords: fern, azolla, biofertilizers, biological fixation, biomass

3. Introducción

La agricultura abarca procesos de producción, procesamiento, comercialización y distribución de cultivos y ganado (Andrade et al., 2017), con el desarrollo de la agricultura la producción agrícola y demanda de alimentos se incrementa día a día, aspecto que genera consecuencias negativas, como procesos de degradación del suelo, pérdida del hábitat y contaminación por la excesiva utilización de insumos nocivos, entre ellos: fertilizantes, plaguicidas y energía fósil (Andrade, 2016).

Franquesa (2016) menciona que la agricultura puede denominarse convencional o química cuando se emplean fertilizantes y productos nocivos y orgánica o natural cuando la producción agrícola se realiza con recursos naturales. Frente a las tradicionales formas de producir surge la “agricultura biogénica”, que significa generar vida, una de las funciones originales de la naturaleza; este modelo no solo reduce el CO₂ sino que aumenta el nitrógeno mediante un proceso natural y biológico, a través de la simbiosis Azolla–Anabaena. Por la forma biológica de generar nitrógeno se denomina “nitrógeno bien expresado” (Nbe) y debido a la gran cantidad de este elemento en el agua se la identifica como “NitrAgua” (Montaño, 2015).

Montaño (2010) manifiesta, en las provincias ecuatorianas de Guayas y Los Ríos, se han desarrollado investigaciones en 340592 ha de ecosistemas de arrozales, incorporando Azolla–Anabaena y obteniendo rendimientos de hasta 6,48 t/ha de arroz INIAP 11 en comparación a la fertilización convencional de 4.25 t/ha; en el cantón Saraguro de la provincia de Loja, se implementaron azollarios obteniendo resultados de 0,25 t/ha/día y la posterior evaluación en 10 hectáreas de pastos; en el país las importaciones totales de fertilizantes nitrogenados superan los 60 millones de dólares al año de los cuales solamente el sector arrocero consume nitrógeno químico (urea) equivalente a 6 millones de dólares anuales.

Miguel Saca, técnico del GAD del cantón Puyango de la provincia de Loja refiere que se han realizado ensayos aprovechando Azolla como biofertilizante en cultivos de maíz y café; además, considera al helecho como estrategia de remediación pues al incorporarlo al suelo permite recuperar sus nutrientes (Moreno, 2022).

En la provincia de Loja el uso de fertilizantes nitrogenados representa el 20% en cultivos permanentes y 53% en cultivos transitorios; el elevado uso de fertilizantes ha generado escurrimiento del agua de riego que retorna contaminado de fertilizantes a los cauces hídricos. A nivel provincial el uso de fertilizantes y agroquímicos es frecuente, indiscriminado y poco tecnificado; en el cantón Loja el 34% de la superficie usa fertilizantes y pesticidas principalmente en zonas agrícolas del sector rural, pues los productores aplican alrededor de 100 t de fertilizantes nitrogenados anhelando que su producción sea mayor (GAD - Loja, 2014).

MAGAP (2012) refiere, las parroquias rurales del cantón Loja incorporan químicos a sus cultivos: Malacatos el 90%; El Cisne, Chantaco y Taquil el 70%, San Lucas el 30% y en Chuquiribamba y Gualel el 25%.

La parroquia Gualel del cantón y provincia Loja, se caracteriza por desarrollar actividades agrícolas con cultivos de maíz (*Zea mays*), fréjol (*Phaseolus vulgaris L.*), trigo (*Triticum aestivum L.*), habas (*Vicia faba*), hortalizas (cilantro (*Coriandrum sativum L.*), perejil (*Petroselinum crispum*), arveja (*Pisum sativum*), acelga (*Beta vulgaris L.*), brócoli (*Brassica oleracea*), zanahoria (*Daucus carota L.*), zambo (*Cucúrbita ficifolia B.*), zapallo (*Cucurbita maxima*), papa (*Solanum tuberosum*)), hierbas aromáticas (cedrón (*Aloysia citrodora*), menta (*Mentha arvensis*), manzanilla (*Matricaria chamomilla*), llantén (*Plantaginaceae*) y malva (*Malvaceae*)), y de igual manera la ganadería, principalmente bovinos, ovinos, porcinos y cobayos. Según GAD - Gualel (2019), una limitante en la producción es la acidez del suelo con pH cerca de 4,3, el contenido bajo de nutrientes como N (57,85 mg/l), Mg (56,11 mg/l), P como P₂O₅ (35,64 mg/l), Fe (34,72 mg/l), Mn (15,49 mg/l) y Cu (1,74 mg/l); mientras que tiene cantidades adecuadas de Ca (2122,1 mg/l) y K como K₂O (139,36 mg/l), además de un elevado contenido de materia orgánica (6,5%). En estas condiciones, el objetivo fue generar y aprovechar nitrógeno bien expresado a través de la simbiosis Azolla–Anabaena para luego evaluarla en el cultivo de acelga, los resultados alcanzados intentan satisfacer las expectativas de los productores y reducir o reemplazar el uso del nitrógeno convencional; pues la aplicación de Azolla en forma de NitrAgua o biomasa permite aumentar los rendimientos de los cultivos. Además, se pretende comprobar la hipótesis: La generación y aprovechamiento de nitrógeno bien expresado a partir de la simbiosis Azolla-Anabaena permite incrementar los rendimientos en los predios agrícolas de la parroquia Gualel, cantón y provincia de Loja, mediante el cumplimiento de los siguientes objetivos:

Objetivos

Objetivo general

- Contribuir a la agricultura familiar campesina de la parroquia Gualel con la generación y aprovechamiento de nitrógeno bien expresado mediante la simbiosis Azolla-Anabaena.

Objetivos específicos

- Producir nitrógeno bien expresado en condiciones accesibles para los agricultores de la parroquia Gualel del cantón Loja.
- Evaluar el efecto del nitrógeno bien expresado en el cultivo de acelga (*Beta vulgaris L.*).

4. Marco Teórico

4.1. Agricultura

Etimológicamente la palabra agricultura proviene del latín *ager*, *agri* (campo de cultivo) y *cultura* (actividad del cultivo), lo que significa cultivar el campo (Echegaray, 1887); al respecto Borja & Valdivia (2015) manifiestan, es el conjunto de actividades que incluyen: preparación del terreno, siembra, manejo del cultivo, cosecha y comercialización, estos aspectos son fundamentales para el sustento de la seguridad alimentaria e influyen en el desarrollo económico de la población mundial.

La agricultura tuvo sus orígenes alrededor de 15 000 años atrás al suroriente de Asia, dado que el lugar tenía condiciones climatológicas favorables para el desarrollo de cereales: trigo, cebada y centeno. Alguien observó que las semillas que arrojaban al suelo podían germinar, crecer y producir alimentos; con base en este descubrimiento, los pobladores comenzaron a sembrar, cuidar e incluso regar sus cultivos, estos cambios conjuntamente con la domesticación de animales, trajeron consigo el sedentarismo y el desarrollo de las primeras civilizaciones. La expansión mundial de la agricultura hace aproximadamente 10 000 años, sucedió cuando un grupo de migrantes de Medio Oriente llevó consigo los cereales a Egipto y Europa. En la misma época comenzó la propagación de cultivos de mijo y arroz en el este de Asia; asimismo, los cultivos de maíz, quinua y papa se difunden al continente americano a través de la migración de los aborígenes (Andrade, 2016).

FAO (2011) señala, la agricultura ha atravesado varios cambios hasta mediados del siglo XVIII, donde surgió la Revolución Agrícola, que consistía en migrar de una agricultura artesanal y agraria a una industrial y mecanizada, destacada por el aumento en la producción agrícola; a mediados del siglo XIX surge un nuevo concepto en la agricultura, la Revolución Verde, caracterizada por la fijación química del nitrógeno, este proceso dio paso a fertilizantes nitrogenados relativamente económicos, acceso a herbicidas; una ventaja fue el rendimientos altos en los cultivos y como desventaja la disminución de la fertilidad y productividad de la tierra a largo plazo (Andrade, 2016).

Lozada-Mondragón (2011) afirma, desde la creación del Ecuador en 1830, la agricultura ha sido uno de los grandes motores productivos que permite el aprovechamiento de la riqueza de los suelos y, en opinión de Martínez (1992) representa una de las principales fuentes generadoras de empleo e ingresos en el sector rural, ya que el 30 % de la población se dedica a actividades agrícolas. Además, es un sector económico fundamental para el país debido a que la población mayormente campesina subsiste de la agricultura (Arias, 2019).

Andrade et al. (2017) señalan, la agricultura es uno de los ejes principales en los que se dinamiza la economía del país, tanto en la parte monetaria como en la seguridad

alimentaria. En el reporte de Productividad Agrícola del Ecuador esta actividad aporta aproximadamente 8,5% al Producto Interno Bruto (PIB), siendo el sexto sector en aportar a la producción del Estado.

Gran parte del desarrollo económico del país, se lleva a cabo en el litoral ecuatoriano a través de agricultura, ganadería, pesca, minería, navegación y turismo. Los productores de estos lugares, aparte de satisfacer el consumo nacional, abastecen los principales mercados globales con productos de calidad (Montaño, 2010).

Para Coll-Morales (2020), la disponibilidad del agua, relación con el mercado, métodos, magnitud y objetivos de producción determinan las formas de llevar a cabo la agricultura; en este sentido se identifican la agricultura tradicional e industrial. Otros tipos de agricultura son: agricultura ecológica o libre de contaminantes; agricultura natural que no requiere maquinaria agrícola ni recursos para producir; y agricultura orgánica que evita el deterioro del suelo.

En la última década surge una alternativa de producción, la agricultura biogénica o denominada la era del conocimiento tropical que ha dado origen a la Segunda Revolución Verde con la Fijación Biológica del N, la cual permite producir nitrógeno natural mediante plantas que captan de la atmósfera el nitrógeno molecular (N_2) y lo convierten en asimilable por los cultivos; biogénico significa generador de vida, lo que permite cumplir una de las funciones originales de la naturaleza (Montaño, 2015).

4.2. El recurso suelo para la producción agrícola

Para llevar a cabo cualquier tipo de agricultura y producir alimentos son necesarios recursos naturales denominados renovables: agua, suelo, aire, flora y fauna; aunque en los últimos años este término se ha cuestionado debido a que el uso y explotación de los recursos renovables se ha realizado de forma inadecuada, lo que ha generado que se alteren las condiciones naturales del planeta acelerando el cambio climático (Serrato, 2017).

Para Loaiza (2010), el suelo es el medio natural ideal para el desarrollo de los cultivos que alberga una gran diversidad de seres vivos, está compuesto por materia orgánica, aire, agua y minerales meteorizados; además, es considerado un recurso esencial, sin embargo, diariamente aumentan problemas como erosión agrícola a causa de la demanda del mercado, compactación asociada al uso de maquinaria agrícola pesada, uso de fertilizantes nitrogenados provocando pérdidas de nitrógeno por lixiviación, infertilidad en los suelos, erosión, volatilización y desnitrificación.

4.2.1. Fertilidad del suelo

Para el óptimo desarrollo de los cultivos el suelo debe aportar buena estructura y fertilidad, que, según FAO (2013), es el contenido de nutrientes que las plantas asimilan para su crecimiento, un suelo es fértil cuando tiene buena cantidad de nutrientes para las plantas.

Para Kyrkby & Römheld (2007), los macronutrientes son requeridos en el suelo en grandes cantidades para ser aprovechado por los cultivos, su presencia es indispensable para el crecimiento y productividad. Los principales son: Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K) y Magnesio (Mg). Los micronutrientes son demandados por las plantas en menor cantidad, pero son indispensables en el crecimiento de los cultivos, pues su deficiencia ocasiona en la mayoría de los casos desórdenes fisiológicos en las plántulas; sin embargo, un nivel adecuado de micronutrientes en la planta permite que los macronutrientes sean aprovechados eficientemente por los cultivos. Los principales son: Hierro (Fe), Manganeso (Mn), Zinc (Zn), Boro (B), Cobre (Cu), Molibdeno (Mo), Cloro (Cl) y Azufre (S).

En la composición de la atmósfera sobresalen principalmente cuatro elementos: Carbono, Hidrógeno, Oxígeno y Nitrógeno, este último fundamental en la gestión de los recursos (Montaño, 2010).

4.3. Nitrógeno

Según Mayz-Figueroa (2004), el nitrógeno es un elemento químico esencial, fundamental para la composición de proteínas, ácidos nucleicos y más componentes celulares; además, esencial para el crecimiento de los cultivos pues favorece la producción de clorofila (fundamental en la fotosíntesis).

Con base a los argumentos expresados por Sevillano García et al., (1986), el nitrógeno en su forma molecular es el mayor componente de la atmósfera terrestre, constituye aproximadamente el 78%, pero no puede ser asimilado directamente por las plantas.

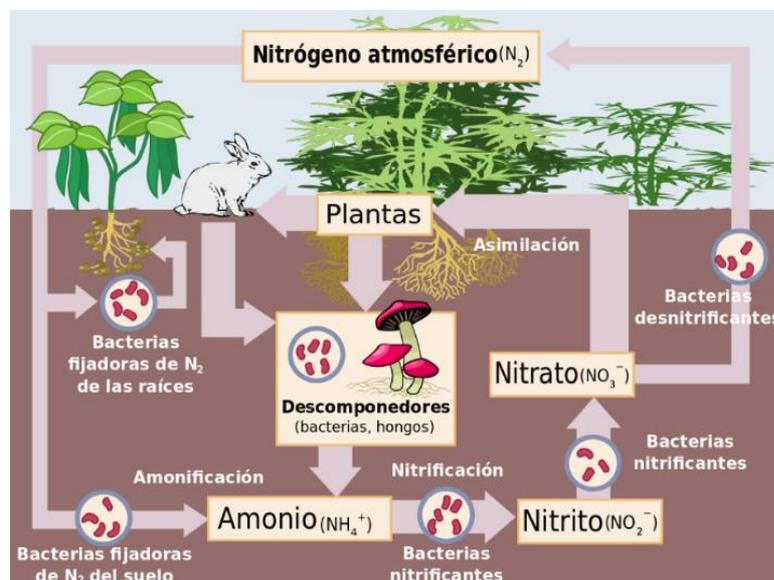
4.3.1. Ciclo del nitrógeno

Los átomos de nitrógeno están en constante movimiento, formando un ciclo cerrado (Figura 1); este proceso está compuesto generalmente por tres etapas: amonificación, nitrificación y asimilación. En la amonificación los compuestos nitrogenados presentes en el suelo, producto de la descomposición de materiales orgánicos complejos (proteínas, aminoácidos, ácidos nucleicos y nucleótidos) son degradados a compuestos simples por organismos que habitan el suelo (bacterias y hongos), estos microorganismos metabolizan estos compuestos en forma de amoníaco o ión amonio; es decir, la amonificación es la conversión del nitrógeno presente como grupos amino (-NH₂) a ion amonio. La nitrificación es el proceso mediante el cual bacterias presentes en el suelo son capaces de oxidar el

amoníaco o ión amonio a nitrito y posteriormente otro grupo lo oxida a nitrato, luego se realiza el proceso de asimilación, en donde las raíces toman del suelo N como iones disueltos de amonio (NH_4^+) absorbido por microorganismos y algunos vegetales (arroz y azaleas) o nitratos (NO_3^-) que se caracteriza por su fácil movilidad en el suelo. Finalmente, el ciclo se completa con los procesos de fijación de nitrógeno, que origina compuestos solubles a partir del N_2 , y la desnitrificación que es una forma de respiración anaerobia que devuelve N_2 a la atmósfera completando el ciclo, en donde los microorganismos plantas y animales mueren y son convertidos a compuestos orgánicos (Iñon, 2017).

Figura 1.

Representación esquemática de los flujos de nitrógeno en el ecosistema



Fuente: Dréo (2015).

Ube (2021) menciona, en la agricultura el nitrógeno es esencial para el crecimiento vegetal y alta productividad de los cultivos y su absorción se produce durante las etapas de desarrollo foliar y floración.

Calvo-García (2011) sostiene, el crecimiento de todas las plantas está determinado de forma directa o indirecta por la disponibilidad de nutrientes minerales, en especial del nitrógeno, en suelos carentes de este elemento los rendimientos de los cultivos son bajos y presentan clorosis, coloración amarillenta en tallos y hojas, falta de desarrollo y debilidad; por el contrario, cuando este elemento está disponible en la planta sus hojas y tallos crecen rápidamente; Navarro G & Navarro S (2013) coinciden, el nitrógeno es el factor limitante más común del crecimiento de las plantas y que un deficiente suministro puede provocar notables descensos en la producción vegetal. A esto Benimeli et al. (2019) añaden, el porcentaje total de nitrógeno disponible para las plantas es menor al 10%.

Al no disponer nitrógeno asimilable para las plantas, los productores recurren a la aplicación de fertilizantes, que resultan nocivos para el suelo y ocasionan afecciones a los agricultores y consumidores.

4.4. Fertilizantes

Son sustancias inorgánicas y sintéticas, con nutrientes capaces de ser asimilados por los cultivos, que se adicionan al suelo para mantener, reemplazar e incrementar nutrientes con el fin de aportar al crecimiento. Su uso ha generado una importante expansión en el mercado mundial reflejando una variedad de fuentes de nutrientes y formas de presentación; se pueden encontrar con formulaciones en estado sólido o líquido (Larrazabal, 2018).

Con la finalidad de mejorar la fertilidad del suelo, los agricultores optan por insumos disponibles en la localidad. Pazos-Rojas et al. (2016) mencionan, el nutriente limitante en la producción agrícola es el nitrógeno, frente a esto, el sector industrial ha creado un sinnúmero de fertilizantes nitrogenados, entre los que se encuentran: urea, amoníaco, fosfonitrato, ureico (NH_2), amoniacal (NH_4^+) y nítrico (NO_3^-), sulfato amónico y nitrato de amonio. Una ventaja del uso excesivo de fertilizantes nitrogenados es el alto rendimiento de cultivos; sin embargo, afecta a la economía de los productores debido a los elevados costos de obtención, por ello se buscan alternativas sustentables para la producción.

Para Trejo-Téllez et al. (2005), el fertilizante nitrogenado más demandado en el sector agrícola es la urea [$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$], el cual se obtiene mediante la síntesis del amoníaco; es la mayor fuente de nitrógeno procesado en el mercado con una concentración del 46% de N; la aplicación en cultivos requiere de tecnificación, para evitar pérdidas por evaporación.

Witte (2011) expresa, el nitrógeno ureico a los dos días de aplicarse en el suelo ingresa a la planta directamente en forma de amonio o nitrato, se puede producir el proceso de hidrólisis que transforma las moléculas de la urea y desprende gases (CO_2) que contaminan causando el efecto invernadero, también se desprende amonio por volatilización, ocasionando pérdida parcial del nitrógeno de la urea (Yara Latinoamérica, 2020).

EQUAQUÍMICA (s.f.) sostiene que Vigorizador 30–10–10 es un fertilizante en forma de polvo soluble concentrado con elementos menores, que tiene como finalidad mejorar el vigor y crecimiento de los cultivos. La composición química es: Nitrógeno total (N) 30,0 %: 3,0 Nitrato de nitrógeno, 3,5 Nitrato amoniacal y 23,5 Urea, Fósforo asimilable (P_2O_5) 10,0 %, Potasio soluble (K_2O) 10,0 %, Azufre (S) 2,0 %, Boro (B) 0,02 %, Cobre (Cu) 0,05 %, Hierro (Fe) 0,10 %, Manganeso (Mn) 0,05 %, Zinc (Zn) 0,05 % y Molibdeno (Mo) 0,0005 %. La dosificación recomendada es 1 kg/200 litros y se puede aplicar a frutales, verduras, legumbres, cereales, tubérculos y hortalizas.

4.5. Fijación biológica del nitrógeno (FBN)

Calvo-García (2011) reporta, la fijación es un proceso que convierte el nitrógeno atmosférico (N_2) a ion amonio (NH_4^+) o iones nitrito (NO_2^-) y nitrato (NO_3^-) que puedan ser incorporadas por las plantas; así mismo, Navarro G & Navarro S (2013) mencionan, que este proceso es realizado por organismos diazótrofos procariotas.

La fijación biológica de nitrógeno es un proceso realizado por microorganismos capaces de aprovechar directamente el nitrógeno del aire a través de bacterias, formando estructuras radiculares resultantes de la simbiosis entre la planta y la bacteria (Calvo-García, 2011). Iñon (2017) comenta, existen bacterias que fijan nitrógeno sin plantas anfitrionas, conocidas como fijadores libres de nitrógeno, tal es el caso de las algas azul verdosas o cianobacterias y los actinomicetos que constituyen un importante fijador de nitrógeno en ambientes acuáticos. La FBN se realiza de forma simbiótica (siembra de leguminosas) y no simbiótica que es realizada por organismos autótrofos aerobios, como algas cianofíceas de los géneros *Nostoc*, *Anabaena* y *Gleocapsa* (Navarro G & Navarro S, 2013).

Allan & Graham (2002) reportan, estos procesos además de permitir usar el nitrógeno atmosférico, contribuyen con la reducción de la degradación del suelo y puede ser llevado a cabo por microorganismos en simbiosis con plantas o en vida libre, a esto Urzúa (2005), plantea la posibilidad de obtener un importante suministro de nitrógeno para especies vegetales, mediante la simbiosis con bacterias fijadoras de nitrógeno.

Con lo antes mencionado Montañó (2021) señala, se debe procurar la fijación biológica del nitrógeno a través de la denominada “Segunda Revolución Verde”, puesto que se trata de una agricultura saludable generada a través del cultivo de Azolla–Anabaena, un helecho acuático que asociado a la cianobacteria Anabaena brinda nitrógeno bien expresado (Nbe) que es asimilado directamente por los cultivos.

4.6. Azolla

El nombre deriva de las palabras griegas *Azo* (secar) y *ollya* (matar) que significa que al helecho lo destruye la sequía, por ello debe permanecer siempre en lugares húmedos y con poca luminosidad (Rivera et al., 2020).

En lo referente al origen de esta planta, Nasiba et al. (2022) mencionan, fue utilizada por primera vez por una campesina llamada Ba Xen, de Vietnam, quien logró excelentes resultados usando azolla en la práctica. No había información sobre este helecho en Vietnam e incluso durante un tiempo, se prohibió el estudio del desarrollo y distribución de azolla, hasta que, en agosto de 1945 se revelaron las ventajas de la reproducción, distribución e importancia de la misma.

Azolla es un género de helechos acuáticos que flotan, se encuentran en climas templados y tropicales; de crecimiento rápido, presenta hojas pequeñas y un corto tallo

ramificado con raíces que cuelgan (Rivera et al., 2020). Ruíz-Alencastro (2015) señala que el diámetro de las especies de *azolla* varía de 1,0 a 2,5 cm, sus hojas tienen forma triangular o poligonal y está compuesto por varias hojas pequeñas denominadas frondes. Por cada kg de materia seca de *azolla* se pueden fijar 0,3 gr de N₂/hora. Además, 100 g de *azolla* representan 10 g de Urea. El color varía desde verde en las plantas jóvenes (Figura 2), hasta purpurino rojo que son las adultas o expuestas directamente al sol (Cadena & Enríquez, 2013). Se utiliza como abono verde, alimento para animales y para la remediación de lagos porque eliminan los compuestos metálicos del agua, crece muy rápido y es ideal para cubrir la superficie de reservorios o estanques, donde además ayuda a controlar el desarrollo de las algas al limitar la disponibilidad de la luz, son intolerantes al agua salada (Vásquez, 2012).

En lo referente a su reproducción Ruíz-Alencastro (2015) menciona, que puede ser asexual por gajos y sexual a través de esporas denominados esporangios los cuales son poco visibles y se encuentran entre las hojas. El ciclo de crecimiento de *azolla* varía de entre tres a siete días y durante tres meses que es su ciclo de vida cuando las condiciones ambientales son favorables; al realizar la recolección del helecho se recomienda dejar en la superficie el 25 % de semilla en el azollario para iniciar el próximo cultivo que dura aproximadamente tres meses (Cañadas, 2021).

Figura 2.

Azolla filiculoides



Fuente: La autora

Bracamonte et al. (2015) refieren, se conocen cinco especies de azolla, todos con un notable parecido morfológico y ampliamente distribuidas a nivel mundial: *A. filiculoides*, *A. caroliniana*, *A. microphylla*, *A. pinnata*, *A. mexicana*, *A. microphylla*. Esta distribución ha sido influenciada por el hombre, debido a la introducción indiscriminada del helecho de un país a otro y dentro del mismo territorio (Lumpkin & Plucknett, 1980). En la Tabla 1 se muestra la taxonomía de *azolla filiculoides*.

Tabla 1.*Taxonomía de azolla*

Reino	Plantae
División	Pteridophyta
Clase	Pteridopsida
Orden	Salvanialess
Familia	Azollaceae/Salviniaceae
Género	Azolla
Especie	<i>Azolla filiculoides</i>

Fuente: Huayamave y Bernal (2018).

En lo referente a las condiciones de hábitat, Cabezas (2011) señala, que para la *azolla* se reproduzca en el sistema, es necesario tener las condiciones adecuadas, en cuanto a la temperatura, no resiste valores inferiores a 0 °C o superiores a 35 °C; en lo referente al pH tolera valores entre 6 y 7 (neutro), la humedad óptima de 85 a 90%, si es menor a 60 o mayor al 90 % la reproducción es limitada; el helecho es sensible a la desecación, no presenta problemas con respecto a la luz y en condiciones sombreadas *azolla* mantiene su color verde natural, mientras que con la luz directa del sol sus hojas llegan a tornarse de color rojizo debido al pigmento de antocianina, por ello se mencionó que la rapidez del crecimiento del helecho aumenta con la intensidad de la luz, se considera óptimo producir *azolla* al 50 % de la intensidad natural máxima; además, requiere una capa de agua no menor a 30,00 cm para el crecimiento, porque asegura una buena nutrición mineral permitiendo a las raíces mayor cercanía al suelo. Además, el ciclo de vida para producir *azolla* dura generalmente tres meses en condiciones ambientales favorables.

La composición química realizada a la muestra vegetal de *azolla* en peso seco por cada 100 g se presenta en la Tabla 2.

Tabla 2.*Composición química de azolla*

Composición	%
Nitrógeno	4 – 5
Fósforo	0,5
Potasio	1 – 2
Calcio	0,5
Magnesio	0,5
Hierro	0,1
Humedad	97,34
Cenizas	8,10
Extracto etéreo	2,50
Proteína	3,42
Fibra	24,95
Carbohidratos solubles	61,04

Fuente: Castro (2002) y Montaña (2010).

En caso de deficiencia de alguno de estos elementos, *azolla* cambiará sus características, como son: deficiencia de fósforo, cambia su color a café rojizo, se vuelve frágil y sus raíces se alargan; deficiencia de calcio, los lóbulos dorsales se toman rojizos y *Anabaena* es liberada al medio ambiente; deficiencia de potasio, la biomasa se torna amarillenta y después de color pardo; deficiencia de hierro: disminuye la cantidad de clorofila hasta que la planta se torna amarilla (Coronel, 2012).

Azolla en Ecuador

En Ecuador, las variedades de *azolla* se adapta a diferentes pisos altitudinales que oscilan entre 0 a 2.300 m s.n.m., en Costa, Sierra, Amazonía y Galápagos (Coronel, 2012). En la Tabla 3 se presenta la distribución geográfica de *azolla* en el país.

Tabla 3.

Distribución geográfica del género azolla en el Ecuador

Especie	Distribución/Provincia
<i>Azolla caroliniana</i>	Guayas
<i>Azolla filiculoides</i>	Cotopaxi, Imbabura, Napo, Loja
<i>Azolla mexicana</i>	Cotopaxi
<i>Azolla microphylla</i>	Guayas, Galápagos

Fuente: Alvarado Díaz (2017).

Desde su origen se han llevado a cabo investigaciones con *azolla*; En América y Asia se ha probado su efectividad en cultivos de arroz (*Oryza sativa*) por inundación o secano, esto debido a que el helecho junto con la cianobacteria puede llegar a producir 1 200 kg de N/ha en condiciones ambientales óptimas, *azolla* aporta más de la mitad del nitrógeno que requiere el cultivo de arroz (Alvarado-Díaz, 2017).

En el proyecto “Aplicación de la simbiosis diazotrófica entre *Azolla* y *Anabaena* como abono verde para el cultivo del arroz en el Litoral Ecuatoriano” realizada por Montaña (2005), el autor obtuvo resultados del rendimiento de la *azolla* fresca de 20 t/ha/mes equivalente a 600 kg de nitrógeno/ha/año; la capacidad de fertilización de la *azolla filiculoides* tuvo rendimiento promedio de 7,42 t/ha de arroz, obtenido en invierno, dosificando 40 t/ha de biomasa de *azolla* como fertilizante; el autor sostiene que producir *azolla* es un negocio rentable que representa una Tasa Interna de Retorno (TIR) de 50,6%.

Montaña (2010) en el proyecto “Desarrollo del recurso *Azolla Anabaena* y aplicaciones en los sectores agrícola, pecuario, y acuícola”, realizó la generación y mantenimiento de cinco azollarios en Daule, Los Ríos y Loja, obteniendo producciones medias de *azolla* fresca de: 0,75 t/ha/día en San Gabriel, 0,43 t/ha/día en Boquerón, 1,83 t/ha/día en Guarumal (Daule), 0,79 t/ha/día en Vinces, Los Ríos y 0,25 t/ha/día en Saraguro (Loja).

Coronel (2012) realizó un estudio de especies químicas en el proceso de fijación biológica del nitrógeno a través de la simbiosis *Azolla–Anabaena* en varias localidades de

Guayaquil y, en cuanto al rendimiento de *azolla* se obtuvo valores entre 0,24 a 0,64 t/h/día, siendo los mejores resultados los tratamientos con presencia de sedimentos en Samborondón.

En los ecosistemas acuáticos de Cayambe se realizaron investigaciones de *azolla*, en lo referente a la FBN en forma de nitritos (NO₂) y nitratos (NO₃) presentes en el agua del helecho, el estudio tuvo como objetivo la evaluación del crecimiento y productividad y se realizó mediante la valoración de tratamientos que estudiaron las especies: *A. mexicana*, *A. caroliniana* y *A. filiculoides*; la fijación de nitritos y nitratos en el agua de cultivo no se vio influenciada por la presencia de *azolla*, deduciendo que el verdadero potencial de este helecho se encuentra en su materia vegetal como fuente de proteína (Cabezas, 2011).

Cadena & Enríquez (2013), investigaron el efecto de *azolla filiculoides*, en la productividad y mejoramiento del suelo en la Granja Experimental Yuyucocha, Imbabura, allí evaluaron tres abonos orgánicos y se concluyó que *azolla* presenta alto contenido de nutrientes en comparación al compost y humus. En los análisis de suelo *azolla* aportó a la retención de humedad y calidad de nutrientes del suelo.

Pulluquina-Reyes (2013), en investigaciones realizadas en Tungurahua menciona que *azolla* fue utilizada como biofiltro de aguas contaminadas ya que realizó la depuración después de varios días mediante el intercambio de gases con la atmósfera, con la fijación de nitrógeno y con ello la disminución de los contaminantes del agua.

En México, se evaluó el crecimiento y el tiempo de duplicación de 17 Ecotipos de *azolla* y se llegó a la conclusión que el helecho puede tener un tiempo de duplicación de aproximadamente de cinco días, bajo condiciones óptimas de radiación, temperatura, pH, conductividad eléctrica, y bajo contenido de nitrógeno inicial; además, la productividad de la biomasa está en función del tiempo de duplicación (Elvira-Espinosa et al., 2016)

Méndez-Martínez et al. (2018) comentan que *Azolla–Anabaena* se caracteriza por tener alto contenido de proteína y excelente producción de biomasa; además, aporta un alto nivel de fibra bruta usado como fuente principal en las dietas de peces (tilapia) y crustáceos, siendo considerado suplemento en la alimentación.

Aguiar (2020) refiere que para generar de 15 a 25 kg de *azolla* semanal es necesario construir o disponer de un estanque de 2,00 m de ancho por 6,00 m de largo y al momento de la siembra se debe tener en cuenta el tipo de suelo para usar un plástico que permita retener el agua.

Robledo (2021) sostiene, en la ganadería se emplean insumos e implementos de alto costo, que contribuyen a la degradación de los sistemas productivos; en su investigación analiza y plantea alternativas de alimentación sostenible con el ambiente en localidades de Colombia. En este contexto, propone el cultivo de *Azolla–Anabaena* como suplemento proteico en ganado porcino, bovino y avícola debido a sus altas potencialidades alimenticias,

para ello se implementó el cultivo del helecho en un sistema acuático, la fuente de alimento fue el excremento de las garzas; un requerimiento adicional fue dejar libre 30% del espejo de agua para el óptimo crecimiento. Mediante esta investigación se concluyó que los ganaderos producen 1 000 litros de *azolla*, equivalente a 500 kg en materia seca en una superficie de 500 m², que diariamente fue administrada al ganado.

4.7. Anabaena

Anabaena perteneciente al reino Bacteria, son microorganismos procariotas pertenecientes al género de cianobacterias fotosintéticas (*phylum Cyanobacteria*), son conocidas como algas verde-azules debido a su coloración; además, albergan células especializadas llamadas heterocistes que tienen la capacidad de fijar nitrógeno atmosférico (Lira-Gómez, 2019). Su capacidad fijadora es 1,8 kg de N/ha/día y se utiliza generalmente en cultivos de arroz (Franco-Magues, 2004).

Para Mayz-Figueroa (2004), las cianobacterias son organismos aeróbicos que existen hace aproximadamente 2 700 millones de años, mayormente viven y se reproducen en sistemas acuáticos, semi acuáticos y terrestres. Algunas especies realizan simbiosis con plantas como hongos, musgos y helechos, tal es el caso del helecho *azolla*, que se asocia a la cianobacteria (Aubriot et al., 2009). En la Tabla 4, se describe la taxonomía de *Anabaena azollae* y en la Tabla 5, se muestran los principales parámetros que requiere para el desarrollo.

Tabla 4.

Taxonomía Anabaena

Reino	Plantae
División	Cyanophytas
Clase	Cyanophyceae
Subclase	Hormogonophycideae
Orden	Nostocales
Familia	Nostocaceae
Género	Anabaena
Especie	<i>azollae</i>

Fuente: Montañó (2010)

Tabla 5.*Condiciones óptimas para el desarrollo de Anabaena*

Parámetro	Descripción
Temperatura	15 a 22°C
Absorción de nutrientes	Mayor absorción de nitrógeno y fósforo.
pH	8 – 9

Fuente: Coello Aguilar (2008)

4.8. Simbiosis Azolla–Anabaena

La asociación Azolla–Anabaena funciona mediante la recepción de la cianobacteria Anabaena, que fija nitrógeno atmosférico en las cavidades de las hojas del helecho acuático, la planta lo almacena y usa para su metabolismo esencial. La fijación de nitrógeno producto de la simbiosis, varía según la especie de *azolla*, también influyen los factores externos del ambiente sobre la cantidad de biomasa que se producirá; al fijar mucho nitrógeno la tasa de crecimiento se incrementa, obteniendo como resultado abundante materia rica en Nitrógeno (Cabezas, 2011). Para la producción de la simbiosis, se incorporan nutrientes dependiendo del tipo de suelo; las fuentes de fertilización más utilizadas: N aportado por la atmósfera, P (super fosforo triple) y K (muriato de potasio) aplicar dos sacos por hectárea y material orgánico (estiércol de ganado seco) 50 sacos por hectárea (Franco-Magues, 2004).

Delgadillo-López et al. (2011) señalan que las principales ventajas de esta simbiosis son: se realiza in situ, es una práctica sustentable amigable con el ambiente, resulta económico (no consume energía), contribuye a la reducción del cambio climático, se puede realizar a base de prácticas agrarias tradicionales y permite recuperar las propiedades nutricionales del suelo. Entre las desventajas: no se reproduce en superficies contaminadas, el desarrollo de las plantas se limita cuando las concentraciones de nutrientes son tóxicas al acumularse mucho contaminante en el área foliar, el nitrógeno es devuelto al ambiente, es considerado invasivo y complicado de erradicar por lo que solo se debe cultivar en áreas destinadas para este propósito ya que puede matar a la fauna marina que se encuentre debajo de ella. Además, *azolla* es denominada “hiperacumulador” es decir que tiene la capacidad de acumular y eliminar del agua metales pesados como Hg y Cr.

Ruíz-Alencastro (2015) menciona que la simbiosis es susceptible al ataque de plagas y enfermedades, algunas resultan perjudicial ya que atacan directamente a las raíces y se adhieren a las hojas, entre las que se mencionan: hongos provocando manchas grises en el haz de las hojas del helecho; insectos como barrenador (*Elasmopalpus angustellus*), barrenillo pardo y gris (*Anthonomus eugenii Cano*), polilla (*Lobesia botrana*) y arácnidos (*Arachnida*) quienes utilizan las hojas de *azolla* para su alimentación; moluscos como caracoles de tierra (*Helix Aspersa*) y de agua (*Pomacea Bridgessi*) que se alimentan directamente de las raíces y hojas de *azolla*.

4.9. Acelga (*Beta vulgaris* L.)

Es una planta con grandes hojas verdes y tallos blancos, empleados principalmente para el consumo humano. Pertenece al grupo de las hortalizas de hoja; además, su ciclo de cultivo es de 55 a 65 días (Meléndez, 2015). Según Delgado-Zambrano (2016), las variedades de acelga más conocidas son: amarilla de Lyon con hojas grandes, onduladas, de color verde amarillo muy claro, penca de color blanco de hasta 10 cm y abundante producción. Otras variedades se clasifican por el tipo de hoja (lisa o rizada), por el tamaño y color de las pencas. Las principales variedades son: *Lucullus*, *Ruibarbo*, *Brightlights*, *Bright yellow*, *Fordhook gigant*, *Gigante carmesí*. En la Tabla 6, se presenta la taxonomía de la acelga (*Beta vulgaris* L.).

Tabla 6.

Taxonomía de la acelga

Reino	Plantae
Subreino	Tracheobionta
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida (dicotiledóneas)
Orden	Caryophyllales
Familia	Amaranthaceae
Género	Beta
Especie	<i>vulgaris</i> L.

Fuente: Delgado (2016).

4.9.1. Requerimientos edafoclimáticos de la acelga

Martínez et al. (2003) señalan, se puede cultivar en zonas desde 1 200 a 2 700 m s.n.m., la temperatura óptima para el crecimiento y desarrollo oscila de 13 a 18 °C, si desciende bajo los 5 °C la planta detiene su crecimiento; además, se adapta con facilidad a suelos francos, profundos, bien drenados, ricos en materia orgánica y con valores de pH entre 5,8 a 6,8, aunque también tolera suelos salinos. Miranda-Quimis (2018) añade que el cultivo requiere suelos con pH entre 6 a 7,5 lo que permite que la acelga pueda asimilar los nutrientes disponibles en el suelo o aplicados por el productor.

Meléndez (2015) sugiere que, para el desarrollo del cultivo el suelo debe mantener un estado óptimo de humedad; en condiciones generales la acelga (*Beta vulgaris* L.), requiere riego de 400 mm/ciclo, dependiendo de la estación del año, en la época seca se riega con una frecuencia de 4 a 8 días. Las principales plagas y enfermedades que atacan al cultivo de acelga son: minador de hojas (*Liriomyza* sp), caracoles (*Achatina fulica*), babosas (*Deroceres* spp.), gusano blanco (*Diloboderus abderus* (Sturm.)), gusano de alambre (*Agriotes* spp), pulgilla (*Epitrix* spp), y pulgón (*Schizaphis graminum*).

Infoagro (2017), considera el marco de plantación de 0,60 m entre hileras y 0,25 m entre plantas, con densidad de siembra 86 000 plantas/ha y rendimientos entre 15 a 25 t/ha.

Además, MAGAP (2012) reporta rendimientos de 15 a 20 t/ha del cultivo de acelga; Meléndez (2015), expone rendimientos de 14,13 t/ha, anteriormente Ecuador no registraba datos sobre la producción de acelga, pues su producción era mínima en comparación a otras hortalizas; sin embargo, en la última década representa un rubro importante en la zona interandina, a nivel nacional en zonas rurales Tungurahua alcanza la mayor producción, seguido por la provincia de Chimborazo. Meléndez (2015) señaló que la acelga presentó rendimientos de 14,13 t/ha. Además, Torres Revelo (2007) indicó que los rendimientos del cultivo fueron de 13,53 t/ha y Acevedo et al. (2012) mencionaron que los rendimientos alcanzaron los 9,04 t/ha.

Miranda-Quimis (2018) ejecutó la investigación: Evaluación de productos nitrogenados en el cultivo de acelga (*Beta vulgaris*) en el cantón Jipijapa, la altura de las plantas de acelga obtenidos a los 60 días fue 48,49 cm empleando urea, como fuente nitrogenada. El número de hojas reportado por Meléndez (2015) en la investigación: Comportamiento Agronómico del Cultivo de Acelga (*Beta Vulgaris L.*) en Quevedo a los 15 días fue 5 hojas, a los 30 días obtuvo 13 hojas y a los 45 días 18 hojas aplicando Jacinto de agua (5 kg/m²). El diámetro de las pencas generalmente varía de 3 a 4 cm de ancho (Eroski, 2020).

En lo que respecta al peso de la planta Costa (2015), en investigaciones realizadas usando Estiércol Caprino y Bocashi en Acelga (*Beta vulgaris var. cicla Pers*) en Zapotepamba del cantón Paltas obtuvo un peso de 0,45 kg/planta en el tratamiento testigo y 0,6 kg/planta en el tratamiento con bocashi a los 75 días; Miranda-Quimis (2018) manifestó un peso de 0,63 kg/planta utilizando urea, y Sánchez (2021), obtuvo un peso de 0,68 Kg/ha al aplicar fertilizantes nitrogenados. Meléndez (2015) manifiesta que el adecuado peso comercial en el cuál debe ser cosechada la acelga es entre 0,75 y 1,00 kg por planta.

En lo que concierne al peso Acosta-Proaño (2015) realizó la evaluación de la respuesta de la fertilización foliar en Guayaquil, obtuvo 0,79 kg/planta en el tratamiento con abonos orgánicos y en el tratamiento de Urea + Abono completo se logró 0,74 kg/planta.

4.9.2. Requerimientos nutricionales de la acelga

El cultivo demanda principalmente N, P, K, los aportes de nutrientes varían de acuerdo a la fase en la que se encuentre en menor proporción requiere B y Zn en dosis de 0,30 mg/l, Cu y Mo en dosis de 0,06 mg/l (Sádaba et al., 2010). En la Tabla 7 se muestran los macronutrientes que requiere el cultivo de acelga.

Tabla 7.*Requerimientos del cultivo de acelga*

Elemento	Requerimiento	
	Kg/ha	mg/l
Nitrógeno	140	56
Fósforo	400	160
Potasio	200	80
Magnesio	140	56
Azufre	100 g/planta	

Fuente: Costa (2015).

Miranda-Quimis (2018) indica, los principales nutrientes requeridos por este cultivo: Nitrógeno dosificación 150–200 kg/ha. Fósforo dosificación entre 80–100 kg/ha como P_2O_5 . Potasio dosis de 60–100 kg/ha en forma de K_2O (si el análisis de suelo indica menos de 200 ppm), este elemento mejora el régimen hídrico de la planta y aumenta su tolerancia a la sequía, heladas y salinidad. Las plantas bien provistas con K sufren menos de enfermedades y producen hasta 20 t/ha.

Coila (2017) realizó experimentos en Puno – Perú empleando diferentes niveles de N, P y K, no encontró diferencias en la aplicación de P y K, mientras que en la aplicación de 80 kg/ha de N se logró mayor producción del cultivo, también recomienda una fertilización media de 60–70–60 kg/ha de N– P_2O_5 – K_2O que anteriormente brindó altos rendimiento en otros sectores del país.

Meléndez (2015), manifiesta que los requerimientos de N y K son elevados durante el ciclo del cultivo; a los 15 días después de la siembra se debe aplicar fertirriego cada dos días 0,10 g/m² de nitrógeno (N), 0,15 g/m² de anhídrido fosfórico (P_2O_5) y 0,10 g/m² de óxido de potasa (K_2O); a partir de los 30 y hasta los 60 días y cada cuatro días aplicar 0,20 g/m² de nitrógeno (N), 0,15 g/m² de anhídrido fosfórico (P_2O_5) y 0,10 g/m² de óxido de potasa (K_2O); de los 60 días hasta la cosecha 0,30 g/m² de nitrógeno (N) y 0,10 g/m² de óxido de potasa (K_2O).

Al existir deficiencia de los macro y micronutrientes el cultivo de acelga presenta algunas alteraciones: Falta de nitrógeno: crecimiento y desarrollo tardío de las hojas y follaje escaso. Falta de fósforo: presenta clorosis en los márgenes de las hojas nuevas, encorvamiento de puntas foliares y formación de raíces lastimadas e incoloras. Falta de calcio: poco desarrollo radicular, formación de raíces oscuras, cortas y fraccionadas, hojas con clorosis marcada y en ocasiones pudrición apical. Falta de hierro: se muestra color verde pálido en hojas recién formadas. Falta de magnesio: formación de manchas necróticas en las hojas. Falta de zinc: disminución del tamaño de las hojas. Falta de cobre: desarrollo de tallos débiles y marchitos (Salas, 2019).

4.10. Calidad de agua para riego

Para la calidad del agua para riego se toman como referencia los límites establecidos en el Texto Unificado De Legislación Secundaria De Medio Ambiente (TULSMA), la cual indica que el agua de uso agrícola es la destinada únicamente para la irrigación de cultivos, prohíbe el uso de aguas servidas para riego, exceptuando aguas servidas tratadas que cumplan con los niveles de calidad establecidos (Tapia, 2015).

El agua a emplearse para el riego, debe ser previamente analizada para determinar pH, conductividad eléctrica, alcalinidad, dureza, cloro y sodio principalmente; además, se requiere análisis del total de sólidos disueltos, B, Ca, Mg, relación de adsorción de sodio (RAS), N, P, K, SO₄, Fe, Mn, Cu, Mo y Zn. Los resultados se expresan en miligramos por litro (mg/l), que es igual a partes por millón (ppm) en soluciones acuáticas (Swistock, 2021).

El pH del agua debe estar dentro de un rango de 6,5 a 8,4; la Conductividad Eléctrica según Mula (2014) la clasifica como CE < 0,7 mS/cm: no hay problema, 0,7 < CE < 3 mS/cm: problema creciente y CE > 3 mS/cm: problema grave. Los niveles elevados de conductividad pueden dañar los medios de crecimiento y la función de enraizamiento, lo que provoca desequilibrios de nutrientes y problemas de absorción de agua; además, cuanto más salina sea el agua (mayor conductividad eléctrica), mayor esfuerzo tiene que hacer la planta para absorber dicho líquido.

Swistock (2021) sostiene que el RAS se utiliza para determinar las concentraciones de Na, Ca y Mg en el agua de riego; por lo general se considera óptimo y seguro para las plantas un valor inferior a 2,0 mg/l, aportando fertilidad y aireación al suelo. La dureza está en función del contenido de Ca y Mg del agua, se consideran niveles ideales para el crecimiento de las plantas de 100 a 150 mg/l; además, la Asociación de Calidad de Agua (WQA) (2004) de Estados Unidos clasifica la dureza total del agua: Suave (0 a 17 mg/l), Ligeramente dura (17 a 60 mg/l), Moderadamente dura (60 a 120 mg/l), Dura (120 a 180 mg/l) y muy dura (mayor a 180 mg/l); las concentraciones por encima de 150 mg/l se acumulan en las superficies de contacto, causando depósitos foliares de cal; por el contrario, el agua extremadamente blanda, por debajo de 50 mg/L, puede requerir fertilización adicional de Ca y Mg. La alcalinidad se considera ideal con valores de 30 a 100 mg/l, pero los niveles de hasta 150 mg/L pueden ser adecuados para muchas plantas, por encima de este valor el pH se puede elevar causando problemas nutricionales (deficiencia de Fe y Mn, desequilibrio de Ca y Mg), por debajo de 30 mg/L no brinda resistencia contra las alteraciones de pH. La alcalinidad del agua del estanque puede variar mucho a lo largo del día si hay algas y plantas fotosintéticas.

En los sulfatos se consideran rangos normales de 0 a 960 mg/l en agua de riego (Sancha et al., 2005). El N es el elemento más demandado por el cultivo, el rango aceptable en fertirrigación es de 50 a 150 mg/l (Swistock, 2021); además, en la guía para agua de riego

Tapia (2015) comenta que el Nitrógeno (NO_3^-) debe encontrarse entre los límites de 5 a 30 mg/l.

En el K los niveles elevados no representan una limitante en el crecimiento de las plantas; sin embargo, los niveles superiores a 10 mg/l indican contaminación del agua a través de fertilizantes convencionales. El Ca debe estar en el rango de 40 a 100 mg/l, por debajo del rango se debe realizar la adición de fertilizantes de calcio, mientras que los niveles altos pueden provocar deficiencia de fósforo o magnesio. El Mg debe encontrarse en valores superiores a 25 mg/l, si no es el caso se debe adicionar este elemento en el abono. El Na tolera rangos inferiores a 50 mg/l si el valor supera este rango, puede causar toxicidad en plantas sensibles y es difícil de eliminar del agua por lo que se requiere ósmosis inversa, destilación o dilución para su disolución. El Cl puede dañar las plantas por una excesiva absorción foliar, algunas plantas sensibles a este elemento pueden tolerar hasta 30 mg/l y por lo general, la mayoría de las plantas resiste rangos de hasta 100 mg/l (Swistock, 2021).

4.11. Tasa Marginal de Retorno

Perrin et al., (1998), (citado en Evans, 2005) señala que el análisis económico de la investigación, representa un análisis de las variables el cual tiene como finalidad determinar la tasa de retorno y de esta manera recomendar a productores y agricultores o a su vez escoger otras tecnologías. Es un procedimiento para calcular las tasas marginales de retorno entre distintos tratamientos de menor costo a otros de mayor inversión y comparando las tasas de retorno contra una tasa de retorno mínima aceptable.

$$TMR = \frac{\text{Incremento Beneficio Neto}}{\text{Incremento TCV}} \times 100$$

5. Metodología

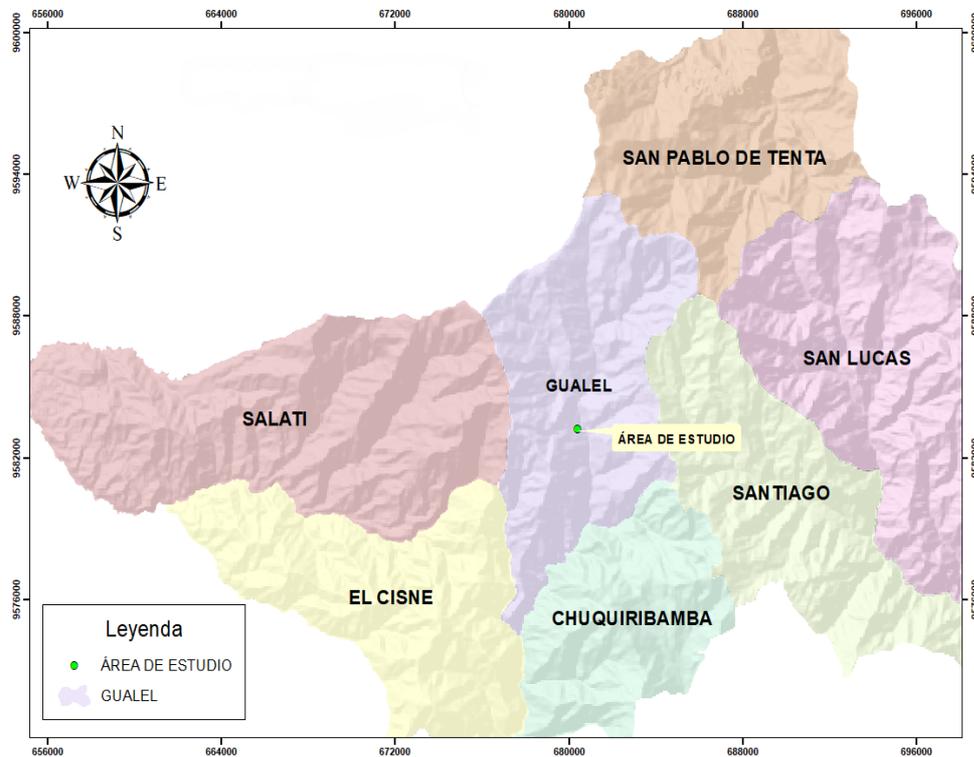
5.1. Ubicación

5.1.1. Ubicación Política.

El trabajo experimental se desarrolló en la parroquia Gualiel, cantón y provincia de Loja. Gualiel tiene una extensión aproximada de 101 km². Limita al Norte con la parroquia San Pablo de Tenta del cantón Saraguro, al Sur con las Parroquias Chuquiribamba y El Cisne, al Este con la parroquia Santiago y al Oeste con la parroquia El Cisne del cantón Loja; y las parroquias Morales y Salatí del cantón Portovelo, provincia El Oro (GAD - Gualiel, 2019).

Figura 3.

Ubicación del área de estudio en la parroquia Gualiel, cantón y provincia Loja



5.1.2. Ubicación Geográfica.

El lugar corresponde a las siguientes coordenadas geográficas: UTM (WGS 84, zona 17 S), Norte 9583227 m, Este 680375 m, Altitud 2544 m s.n.m.

5.1.3. Ubicación Ecológica.

- Zona de vida: Según Holdridge (bmh–M), bosque muy húmedo montano.
- Temperatura: mínima 6 °C, máxima 14 °C, promedio anual de 10 °C, generando un clima templado frío.
- Precipitación: 1 250 mm anuales.
- Humedad relativa ambiental: 86 % (GAD - Gualiel, 2019)

5.2. Metodología para el primer objetivo

5.2.1. Producir nitrógeno bien expresado en condiciones accesibles para los agricultores.

Condiciones iniciales del campo experimental

Se recolectó un kilogramo de muestra de suelo del predio, luego se envió al laboratorio de la Estación Santa Catalina del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), ahí se determinó pH y contenido de macro y micronutrientes. La textura del suelo se realizó con el método de Bouyoucos en el Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional de Loja (Anexo 2 y 12); una vez calculados los porcentajes de las partículas de arenas, limos y arcillas se ubican en el diagrama de texturas (Anexo 13) del departamento de agricultura de los Estados Unidos (USDA).

Construcción de los azollarios

Con la finalidad de producir nitrógeno bien expresado para condiciones accesibles para los agricultores de la parroquia Gualiel, se construyeron dos azollarios de 3,00 m de largo, 2,00 m de ancho y 0,60 m de profundidad, separados por 0,60 m entre ellos; posteriormente se impermeabilizó con geomembrana de 200 μm .

Se tomaron muestras para conocer la calidad de agua para riego: pH, nutrientes disponibles (N, Ca, Mg, Na, K, Cl, B, Carbonatos y Sulfatos), Dureza, Conductividad Eléctrica y Relación de Adsorción de Sodio realizados en el laboratorio del INIAP, para ello se envió una muestra de un litro en botella de plástico nueva y como recomendación del laboratorio no se debía usar botellas de gaseosas, fertilizantes o agroquímicos.

En los azollarios se colocó un sustrato de 0,20 m y se colocó agua hasta una altura de 0,40 m, equivalente a un volumen de 2,40 m³.

Siembra y análisis de *azolla filiculoides*

Se sembró la variedad de *azolla filiculoides* en los reservorios, con un intervalo de un mes entre cada uno. Cada semana y hasta que la superficie estuvo cubierta completamente con el helecho acuático, se tomaron muestras de agua para determinar el contenido de nitrógeno (método Kjeldahl); se determinaron pH, conductividad eléctrica, elementos disponibles (Ca, Mg, Na, K), RAS y dureza del agua del azollario; además se tomaron datos semanales de crecimiento y producción de los azollarios.

A los 47 días, cuando el azollario se llenó, se cosechó la biomasa, luego se dejó drenar en una malla de plástico por 24 horas y finalmente se pesó y envió un kilogramo de la biomasa en un recipiente plástico al laboratorio de análisis de suelos plantas y aguas del (INIAP), para el análisis del contenido de N, P, K, Ca y Mg.

5.3. Metodología para el segundo objetivo

5.3.1. Evaluar el efecto del nitrógeno bien expresado en el cultivo de acelga (*Beta vulgaris L.*).

Se realizó un semillero de acelga en bandejas germinadoras, se colocó sustrato de suelo, a los ocho días de la siembra aparecieron las primeras hojas de las plántulas.

Se preparó el suelo del área experimental, se trazaron 12 unidades experimentales de 2,40 m x 1,80 m, con 24 unidades básicas (plantas) cada una, se sembró a 0,40 m entre plantas y 0,50 m entre hileras, dispuestas en un diseño experimental de bloques al azar con cuatro tratamientos y tres réplicas. Finalmente, se identificaron los tratamientos (Anexo 1) y repeticiones con letreros (Figura 4).

Figura 4.

Diseño de bloques al azar con tres réplicas

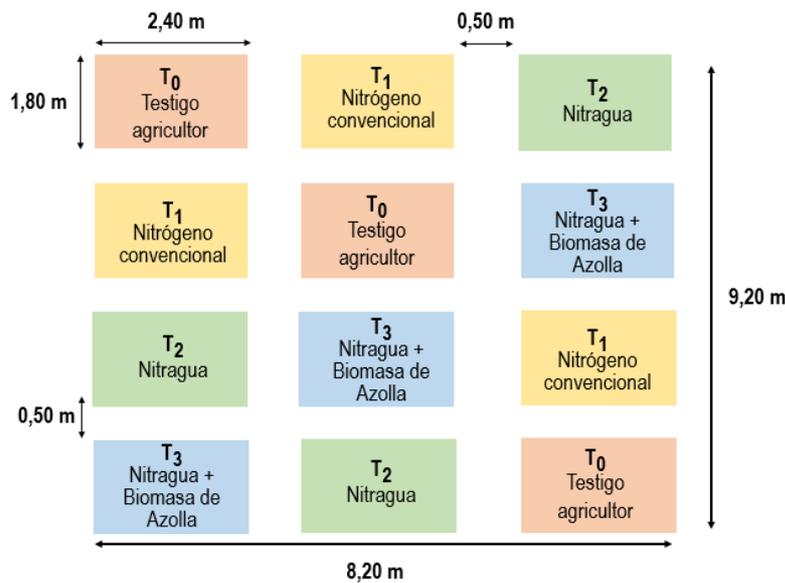
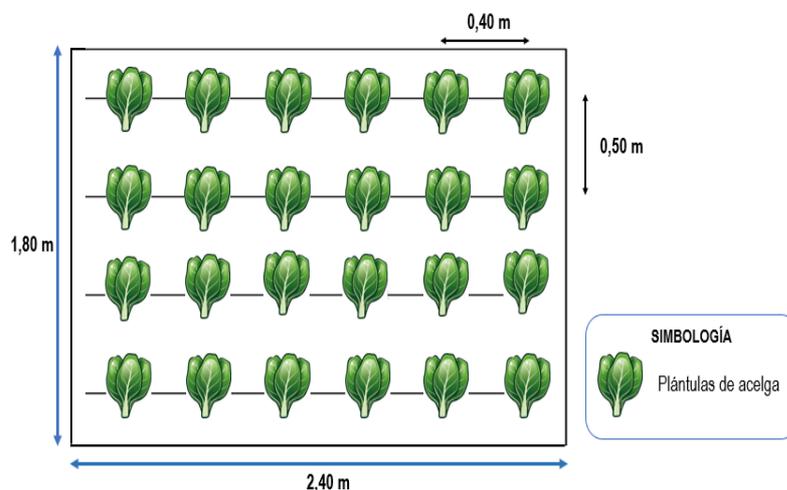


Figura 5.

Unidad experimental y unidades básicas



En la Tabla 8 se presenta los factores para y las dosis aplicadas para el requerimiento del cultivo de acelga de 140 kg N/ha.

Tabla 8.

Factores y dosis del experimento

Código	Descripción	Dosis
T ₀	Testigo agricultor	
T ₁	Vigorizador 30–10–10	1 500 mg/l de (planta) cada semana
T ₂	NitrAgua (agua del azollario)	17,14 mg/l, cada 10 días
T ₃	Biomasa de <i>azolla</i> + NitrAgua	17 500 mg/l + 17,14 mg/l, cada 15 días

El trasplante se realizó a los 30 días cuando las plántulas tuvieron cuatro hojas verdaderas, se colocó una planta en cada hoyo. A partir de allí se procedió a regar las plántulas de acelga conforme a las especificaciones de cada tratamiento y en cada unidad básica se realizó el registro de datos.

Con la finalidad de mantener el cultivo libre y evitar la competencia por nutrientes se realizaron controles con implementos manuales (deshierba). Durante el desarrollo del cultivo se realizaron visitas periódicas para observar presencia de plagas y enfermedades que se controlaron con un concentrado casero de ají (*Capsicum annuum*) licuado con ajo (*Allium sativum*), en dosis de 10 ml/L de agua.

5.3.2. Requerimientos hídricos del cultivo de acelga

Con la información de la ubicación geográfica y características físicas de la zona (clima, cultivo y suelo), se calculó la evapotranspiración del cultivo (ET_c), con la siguiente expresión:

$$ET_c = kc * ET_o$$

Para determinar las láminas de agua se consideró las características físicas del suelo de Gualel; con datos de temperatura máxima y mínima (°C) y humedad relativa (%) obtenidos del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial, velocidad del viento (km/día) e insolación (horas) obtenidos con del programa Google Earth Pro se calculó la Evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o) a través del método de Penman-Monteith en el programa CROPWAT. El coeficiente del cultivo (kc) se obtuvo del manual de la FAO N° 56, página 79 (2011).

$$\text{Lámina de agua aprovechable: } LAA = \left(\frac{(CC - PMP)}{100} \right) * \frac{d_{suelo}}{d_{agua}} * Pr$$

$$\text{Lámina de agua rápidamente aprovechable (LARA): } LARA = LAA * UR$$

$$\text{Frecuencia de riego: } FR = \frac{ET_c}{LARA}$$

5.3.3. Requerimientos de nutrientes en el cultivo de acelga

El plan de fertilización con Vigorizador 30–10–10 se realizó con el análisis inicial del suelo, la disponibilidad y requerimiento de Nitrógeno, así:

Peso de la hectárea

Volumen: $10\ 000\ m^2 * prof\ de\ raíz\ (m)$

$$Ph = V * da$$

$$V = m^3$$

$$da = kg/m^3$$

Disponibilidad: Disponibilidad $(\frac{mg}{kg} a \frac{kg}{ha})$

Disponibilidad: Demanda $(\frac{mg}{kg}) * Ph\ (kg)$

Demanda

$$D = Requerimiento - Disponibilidad$$

Finalmente Demanda por planta (g/l).

En los tratamientos con *Azolla*, se realizó el cálculo de la fertilización con los resultados del análisis de NitrAgua y biomasa que contienen N, P, Ca, K y Mg.

5.3.4. Variables registradas

Altura y número de hojas por planta, la altura entre el cuello de la planta y el ápice de la hoja superior se registró con un flexómetro y el número de hojas por planta se registró cada 15 días (Anexo 3).

Diámetro del tallo, se registró en diez plantas a los 30, 45 y 60 días desde el trasplante.

Peso de la producción, a partir de los 50 días desde el trasplante, una vez las hojas de acelga presentaron desarrollo y madurez fisiológica se inició con la cosecha y periódicamente se registró el peso en una balanza electrónica.

Tasa marginal de retorno, los costos de producción de esta investigación se definieron por los costos de los tratamientos con Vigorizador 30–10–10 y *Azolla*.

Los ingresos se determinaron en función del rendimiento del cultivo de acelga y el precio de venta en los distintos mercados. La Tasa Marginal de retorno es la relación entre los ingresos netos y costos marginales de los tratamientos, así:

$$TMR = \frac{IN1 - IN2}{CV1 - CV2}$$

Dónde:

IN1= Beneficio Neto del T₁

IN2 = Beneficio Neto del T₂

CV1 = Costo variable del T₁

CV2 = Costo variable del T₂

6. Resultados

6.1. Producción de nitrógeno bien expresado.

6.1.1. Crecimiento y producción de *azolla filiculoides*

En las Figuras 6 y 7 se muestra el crecimiento y producción de *azolla filiculoides* Gualiel a una altitud de 2545 m.s.n.m., temperatura 10 °C y humedad relativa 86 %, desde la siembra con una superficie de 0,12 m² equivalente a 0,10 kg de biomasa; durante los 47 días se evidencia un comportamiento lineal, un crecimiento de 0,12 m² diario y en el periodo 5,65 m² (Anexo 5).

Figura 6.

Crecimiento de azolla filiculoides. Gualiel, Loja. 2021

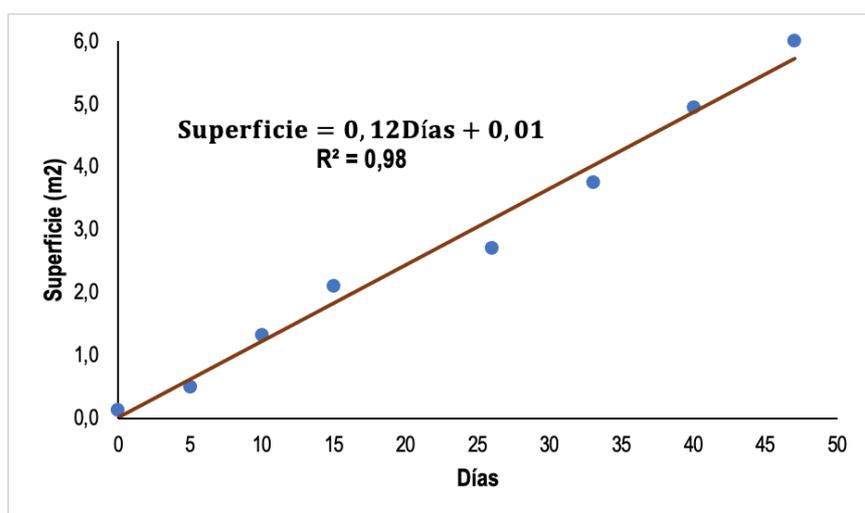
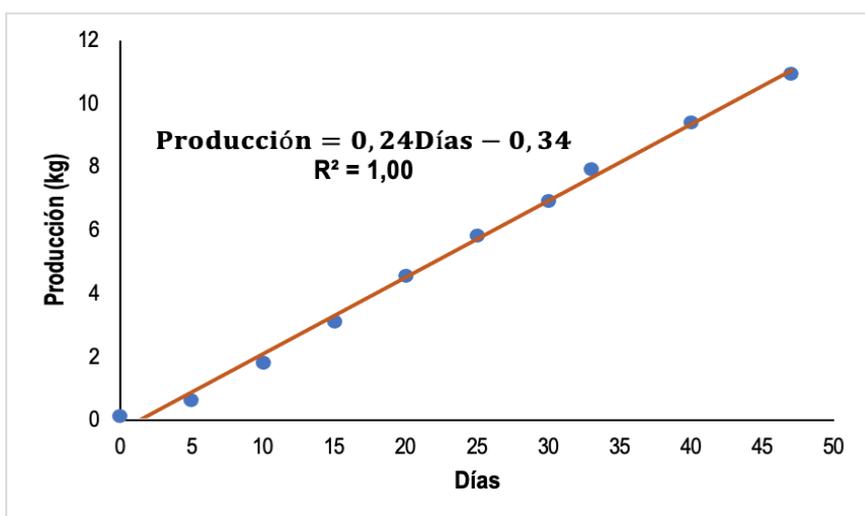


Figura 7.

Producción de azolla filiculoides. Gualiel, Loja. 2021



La producción incrementó 0,24 kg por día y la producción acumulada de biomasa de *azolla filiculoides* fue de 0,4 t/ha/día, equivalente a 12 kg de Nitrógeno/ha/día.

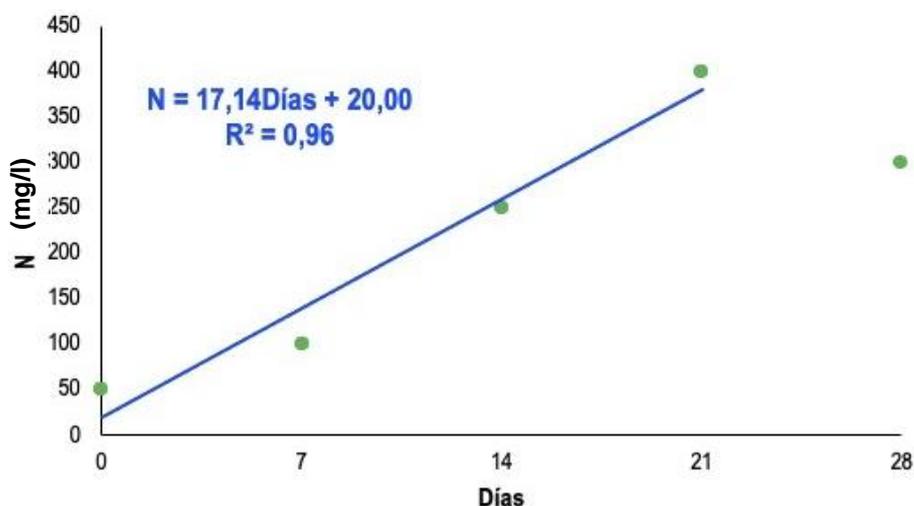
6.1.2. Análisis químico del agua del azollario

Nitrógeno

El nitrógeno en el agua del azollario (NitrAgua) hasta los 21 días tiene un crecimiento lineal con un promedio de 17 mg/l diariamente (Figura 8), en este tiempo se alcanza un valor de 400 mg/l, luego el N empezó a descender.

Figura 8.

Contenido de N en la NitrAgua en mg/l. Gualal, Loja. 2021

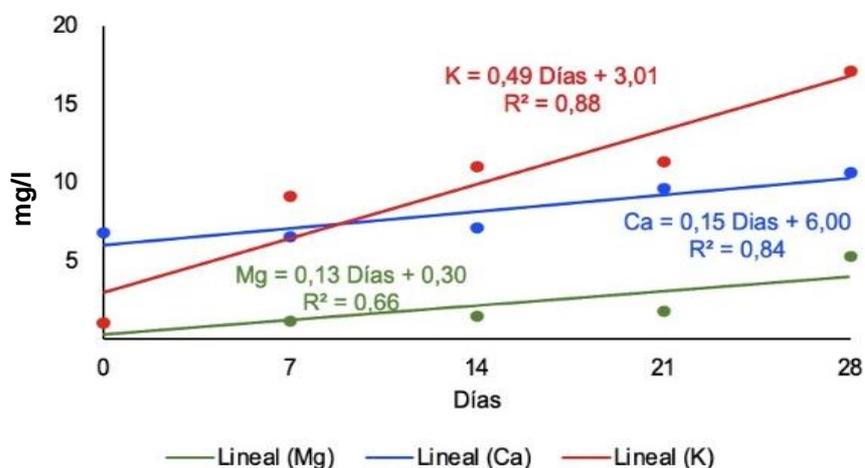


Potasio, Calcio y Magnesio

El potasio a los 7 días incrementó su valor a 9 mg/l, hasta los 21 días se mantuvo entre 10 a 11 mg/l, a los 28 días se elevó a 17 mg/l, con una producción de 0,49 mg/l diario. El Ca y Mg tuvieron una producción diaria de 0,15 y 0,13 mg/l, respectivamente (Figura 9). El crecimiento en los tres elementos fue lineal.

Figura 9.

Contenido de K, Ca y Mg en la NitrAgua en mg/l. Gualal, Loja. 2021

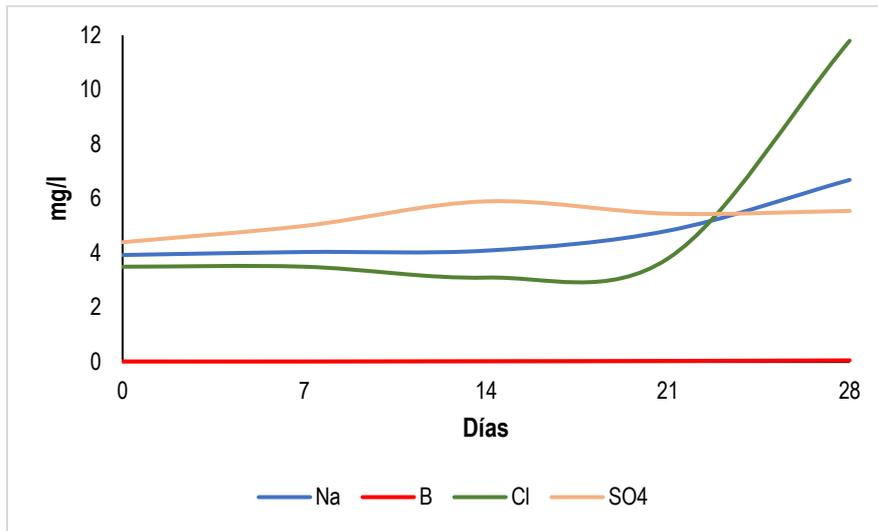


Sodio, Boro, Cloro y Sulfatos

Para el Na, B, Cl y SO₄, se observa en la Figura 10 una producción estable hasta los 21 días, luego se incrementó a excepción del SO₄ y B.

Figura 10.

Contenido de Na, B, Cl y SO₄ en la NitrAgua en mg/l. Gualiel, Loja. 2021

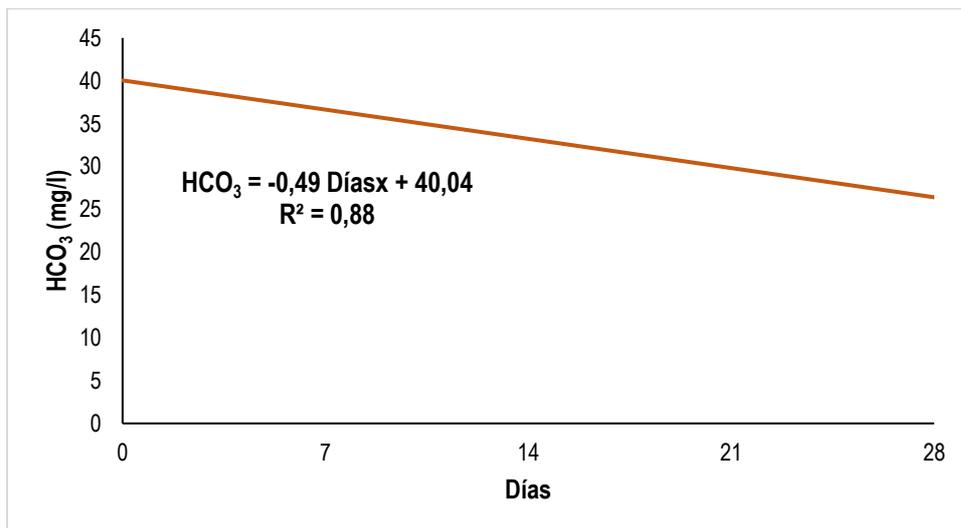


Bicarbonatos

En la Figura 11, se aprecia que el Bicarbonato (HCO₃) disminuyó 0,49 mg/l diariamente des 40 a 27 mg/l aproximadamente durante los 28 días de registro de datos.

Figura 11.

Contenido de HCO₃ en la NitrAgua en mg/l. Gualiel, Loja. 2021



pH, Conductividad Eléctrica (CE) y Relación de Adsorción de Sodio (RAS)

El pH (Figura 12) durante todo el ciclo se mantuvo en valores desde 6,86 a 7,33, considerado prácticamente neutro, y a partir de los 18 días, el pH empezó a descender. La conductividad eléctrica a los 14 días fue 0,14 mS/cm y a los 28 días se duplicó a 0,25 mS/cm, tuvo un incremento de 0,01 mS/cm/ diario y crecimiento lineal durante el ciclo; la cantidad de sodio (RAS) presentó valores similares en el ciclo y se obtuvo su valor más alto a los 28 días (Figura 13).

Figura 12.

pH de NitrAgua. Gualel, Loja. 2021

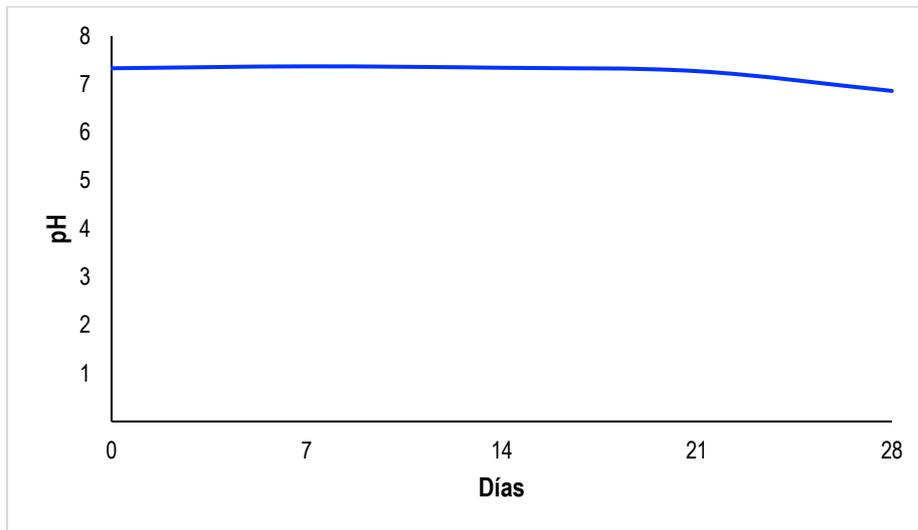
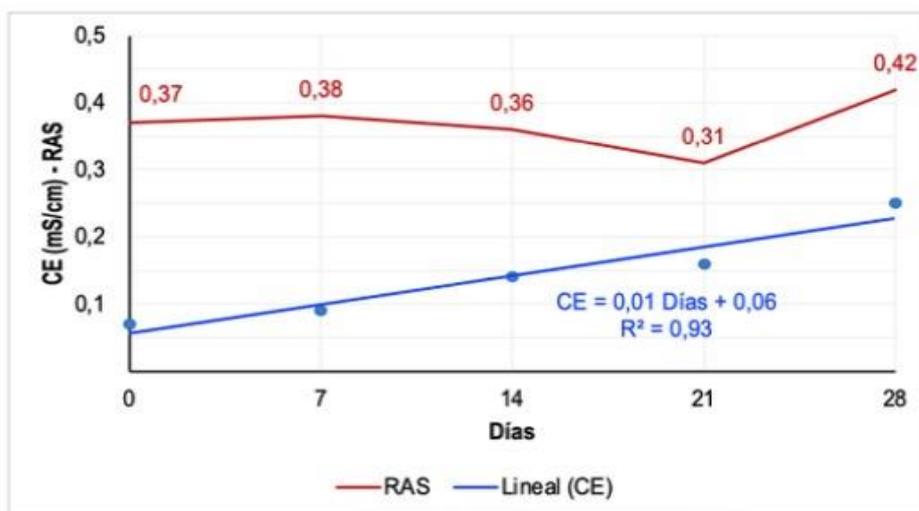


Figura 13.

CE y RAS en la NitrAgua. Gualel, Loja. 2021

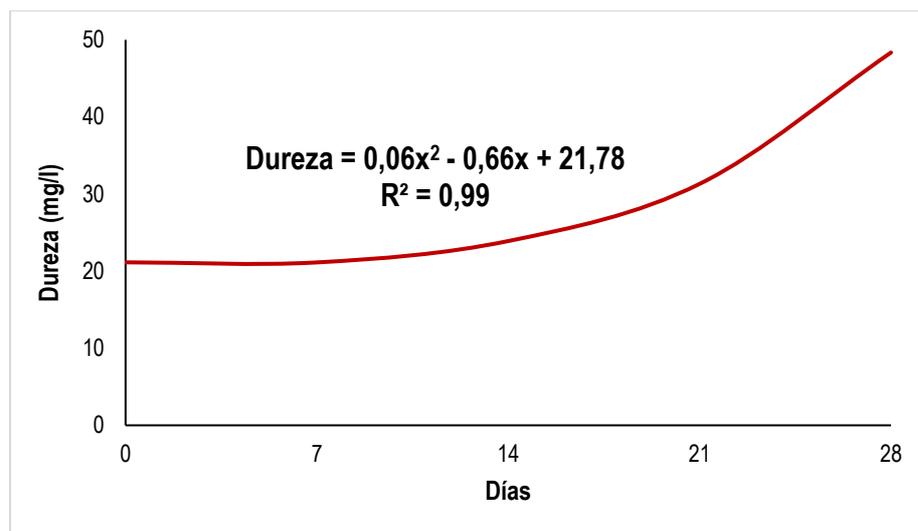


Dureza

La Dureza se comportó según un modelo cuadrático (Figura 14), con valores ascendentes a partir de la siembra de *azolla filiculoides* hasta 48,35 mg/l a los 28 días.

Figura 14.

Dureza de la NitrAgua en mg/l. Gualiel, Loja. 2021



6.1.3. Análisis químico de biomasa de *azolla filiculoides*

En la Tabla 9, se evidencia que *azolla filiculoides* presenta 3,50%/100 g de biomasa seca; además, en el helecho están presentes los principales macronutrientes.

Tabla 9.

*Contenido de nutrientes cada 100 g en la biomasa de *azolla filiculoides**

	N	P	K	Ca	Mg
<i>azolla filiculoides</i>			%		
	3,50	4,22	4,23	0,70	0,25
Interpretación	M	A	A	A	M

A = Alto, M = Medio.

6.2. Evaluación del efecto del nitrógeno bien expresado en el cultivo de acelga

6.2.1. Diseño agronómico del cultivo de acelga.

Se determinó la lámina de riego del cultivo de acelga del predio de la parroquia Gualel.

Evapotranspiración del cultivo de referencia (ETo)

En la Tabla 10 se presentan los valores mensuales de ETo en mm/día.

Tabla 10.

Evapotranspiración del cultivo de referencia

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
ETo (mm/mes)	75	66	74	71	65	68	79	83	79	87	79	79
ETo (mm/día)	2,42	2,37	2,38	2,35	2,1	2,26	2,55	2,67	2,63	2,8	2,62	2,54

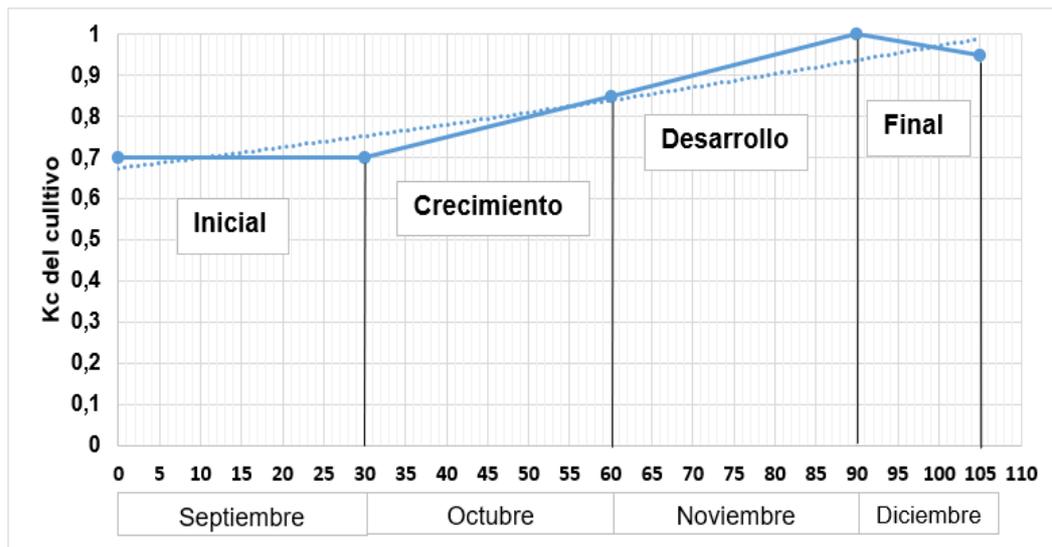
Los valores de ETo comprendidos de 2,1 a 2,67 mm/día, corresponden al cultivo de referencia en los predios de la parroquia Gualel a una altitud de 2 545 m s.n.m.

Coefficiente del cultivo (Kc)

Con los datos del Manual FAO N° 56 se estimaron los coeficientes del cultivo de acelga para las etapas fenológicas: 0,70 en septiembre, 0,85 en octubre, 1,00 en noviembre y 0,95 en diciembre y etapas de desarrollo de 30 días, 60 días, 90 días y 15 días correspondientes a la etapa inicial, crecimiento, desarrollo y etapa final respectivamente del cultivo (Figura 15).

Figura 15.

Coefficiente del cultivo de acelga (Beta vulgaris L.)



Evapotranspiración del cultivo (Etc)

En la Tabla 11 se presenta la Etc para el periodo de septiembre a diciembre para Gualel (Anexo 14), en la que se puede observar que el mayor índice de requerimiento hídrico para el cultivo corresponde al mes de noviembre con 2,62 mm/día.

Tabla 11.*Evapotranspiración del cultivo de acelga*

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
ET _o (mm/día)	-	-	-	-	-	-	-	-	2,63	2,8	2,62	2,54
kc	-	-	-	-	-	-	-	-	0,7	0,85	1	0,95
ET _c (mm/día)	-	-	-	-	-	-	-	-	1,84	2,36	<u>2,62</u>	2,41
ET _c (mm/mes)	-	-	-	-	-	-	-	-	55,23	73,253	78,6	74,80

Parámetros de riego

El riego en el predio se realizó una a dos veces por semana, durante las primeras semanas después del trasplante, ya que a partir de ese momento en la parroquia se presentaron fuertes precipitaciones.

Para determinar las láminas de agua se consideró las características físicas del suelo de Gualiel (Tabla 12).

Tabla 12.*Datos del suelo para riego de la parroquia Gualiel*

Textura	Franco Arenosa	
Da	1,4	g/cm ³
Dagua	1,00	g/cm ³
PMP	10	%
CC	22	%
Ha	17,00	cm/m
Porosidad Total	49	%
Profundidad radicular	40,00	cm
ET _o	2,8	mm/día
Límite permisible	30	%
Kc	1	Desarrollo
Etc	2,62	mm/día
Umbral de riego	40	%

Lámina de agua aprovechable (LAA) = 67,2 mm.

Lámina de agua rápidamente aprovechable (LARA) = 26,8 mm.

Frecuencia de riego (Fr) = cada 10 días.

6.2.2. Requerimientos de nutrientes en el cultivo de acelga

a) Testigo agricultor (T₀)

En este tratamiento no se aplicó ningún fertilizante natural o artificial. Se regó tomando en cuenta la lámina de agua rápidamente aprovechable, regando 5 mm/planta/semana.

b) Vigorizador 30–10–10 (T₁)

Se realizó el análisis inicial del suelo de Gualiel que se muestra en la Tabla 13.

Tabla 13.

Análisis químico del suelo al inicio del ensayo en la parroquia Gualiel

Textura	pH	M.O. %	N ppm	P ppm	K meq/100g	Ca meq/100g	Mg meq/100g	Ca/Mg	Mg/K	Ca+Mg/K	∑ bases meq/100g
Franco Arenosa	7,29	4,01	42	175	1,36	9,91	1,48	6,68	1,09	8,39	12,75

En la Tabla 14 se muestra los requerimientos del cultivo de acelga, disponibilidad de nutrientes del suelo y dosis del fertilizante convencional Vigorizador 30–10–10.

Tabla 14.

Requerimientos del cultivo de acelga, disponibilidad de nutrientes del suelo y las dosis del fertilizante convencional Vigorizador 30–10–10

Elemento	Requerimientos del cultivo		Disponibilidad del suelo	Fertilizante Vigorizador (30-10-10)
	kg/ha	mg/l	mg/l	g/l
N	140	56	42,0	1,5
P	100	40	175,0	-
K	200	80	531,8	-
Mg	140	56	179,9	-

De acuerdo con los requerimientos del cultivo y la disponibilidad de nutrientes del suelo fueron necesarios 1 500 g/l de Nitrógeno de fertilizante por planta en cada riego una vez por semana desde el trasplante.

Así:

Peso de la hectárea: 2 800 000 kg

Disponibilidad N: 117,6 kg/ha N

Demanda: 140 kg/ha – 117,6 kg/ha

Demanda = 22,4 kg/ha

Demanda = 0,45 g N (planta)

Vigorizador

N = 1,5 g

Aplicación

150 mg/l en 10 semanas (1 500 mg/l).

c) Aplicación del agua del azollario o NitrAgua (T₂)

En cada riego se aplicó 17,14 mg/l una vez por semana para cumplir con el requerimiento del cultivo.

d) Aplicación de la biomasa seca de *azolla* + NitrAgua (T₃)

La aplicación de biomasa fue de 50g por planta, es decir 17 500 mg/l en 4 aplicaciones cada 15 días desde el trasplante y la aplicación de NitrAgua 17,14 mg/l (Anexo 4).

El cultivo de acelga tuvo una población de 50 000 plantas/ha.

En la Tabla 15, se muestra el análisis del suelo al finalizar el experimento; con la incorporación de *azolla* al suelo, el contenido de nitrógeno ascendió casi al doble en relación al análisis inicial.

Tabla 15.

Análisis inicial y final del suelo de la parroquia Gualiel

Fase	pH	N	P	K	Ca	Mg	Ca/Mg	Mg/K	Ca+Mg/K	∑ bases
		ppm			meq/100g					meq/100g
Inicial	7,29	42	175	1,36	9,91	1,48	6,68	1,09	8,39	12,75
Final	6,52	80	97	1,26	13,24	2,38	5,57	1,89	12,44	16,87

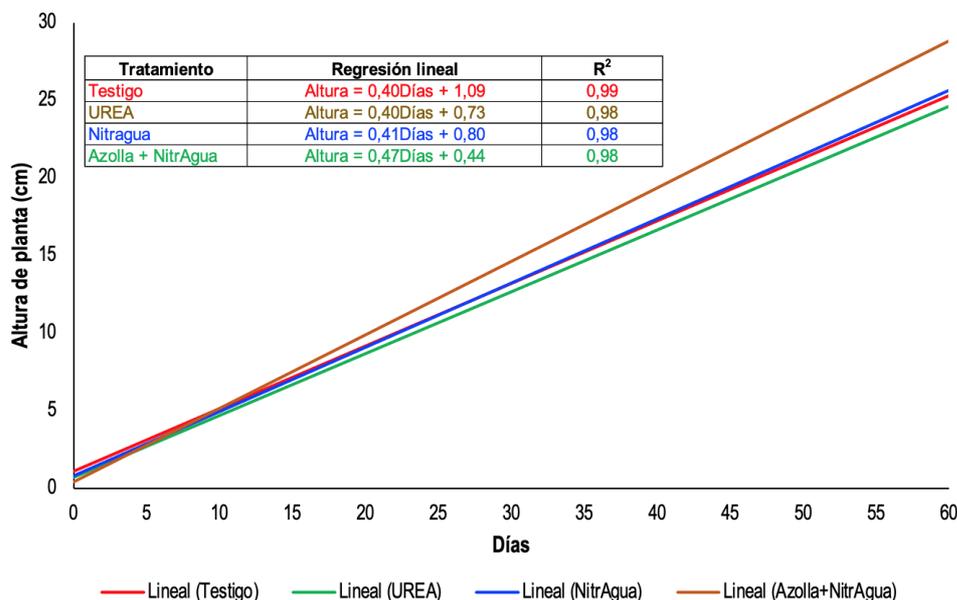
6.2.3. Variables evaluadas en el cultivo de acelga

Altura de plantas

En la Figura 16, se muestra los modelos de regresión lineal de la altura de planta. El crecimiento diario promedio va de 0,40 a 0,47 cm, el mayor crecimiento se obtuvo con la aplicación de biomasa de *Azolla* más NitrAgua.

Figura 16.

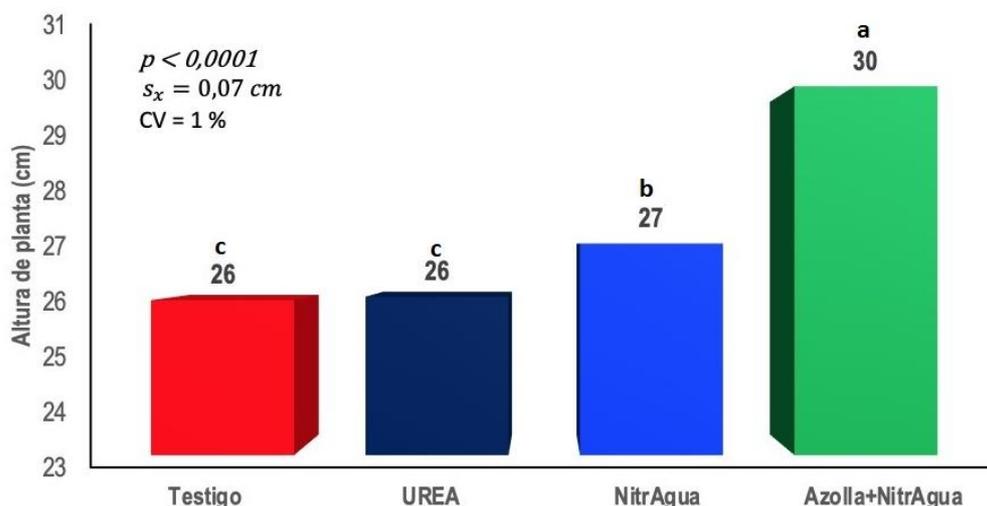
Modelo de regresión lineal para altura de acelga (*Beta vulgaris* L.)



En la Figura 17 se aprecia a los 60 días, que existe diferencia significativa en la altura de planta con la aplicación de biomasa de *Azolla* más NitrAgua con respecto a los otros tratamientos; con coeficiente de variación de 1%.

Figura 17.

Altura de planta de acelga (*Beta vulgaris* L.) en Gualal



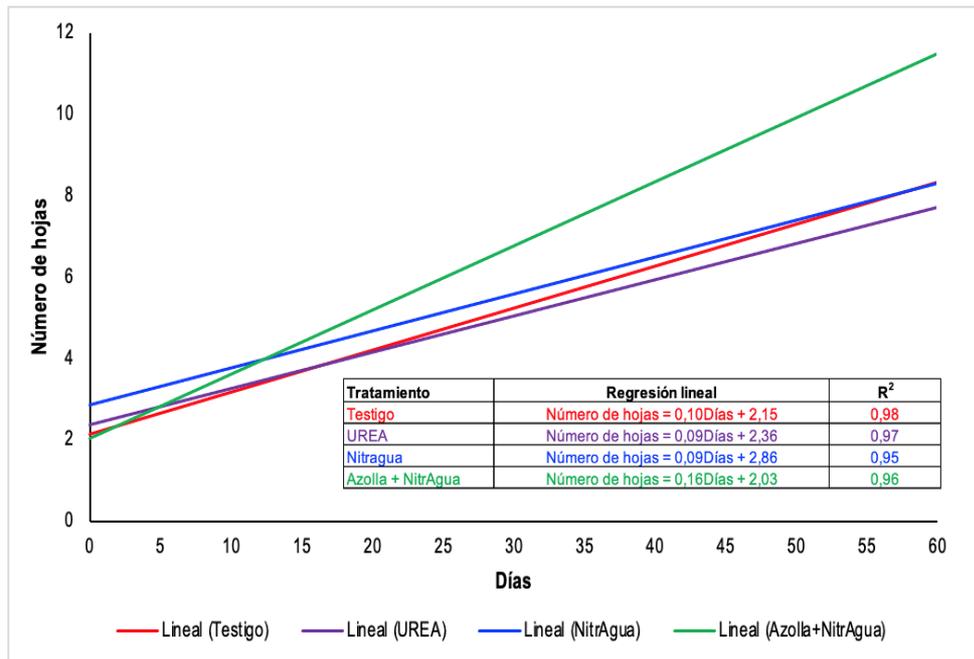
Valores con letra común no son significativamente diferentes (Duncan, $p > 0,05$).

Número de hojas

Los modelos de regresión lineal para el número de hojas (Figura 18), refieren promedios diarios de 0,10 a 0,16 hojas, el mayor crecimiento se obtuvo con la aplicación de biomasa de *Azolla* más NitrAgua, obteniendo 12 hojas verdaderas a los 60 días.

Figura 18.

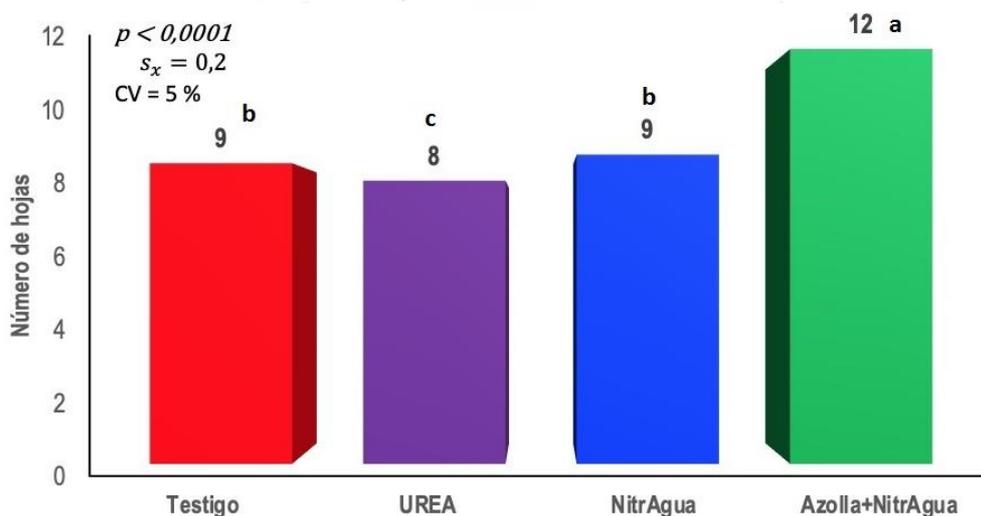
Modelo de regresión lineal para número de hojas de acelga (*Beta vulgaris* L.)



A los 60 días, existe diferencia significativa en el número de hojas (Figura 19) con la aplicación de biomasa de *Azolla* más NitrAgua con respecto a los otros tratamientos; con coeficiente de variación de 5%.

Figura 19.

Número de hojas de la planta de acelga (*Beta vulgaris* L.) en Gualel



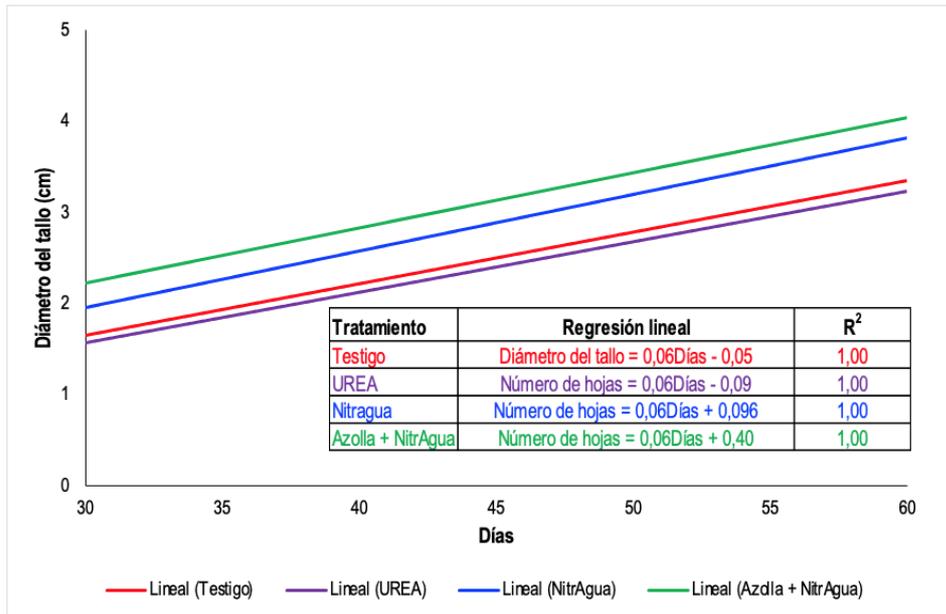
Valores con letra común no son significativamente diferentes (Duncan, $p > 0,05$).

Diámetro del tallo

En la Figura 20, se expone los modelos de regresión lineal del diámetro del tallo. El crecimiento diario promedio fue de 0,06 cm para los cuatro tratamientos.

Figura 20.

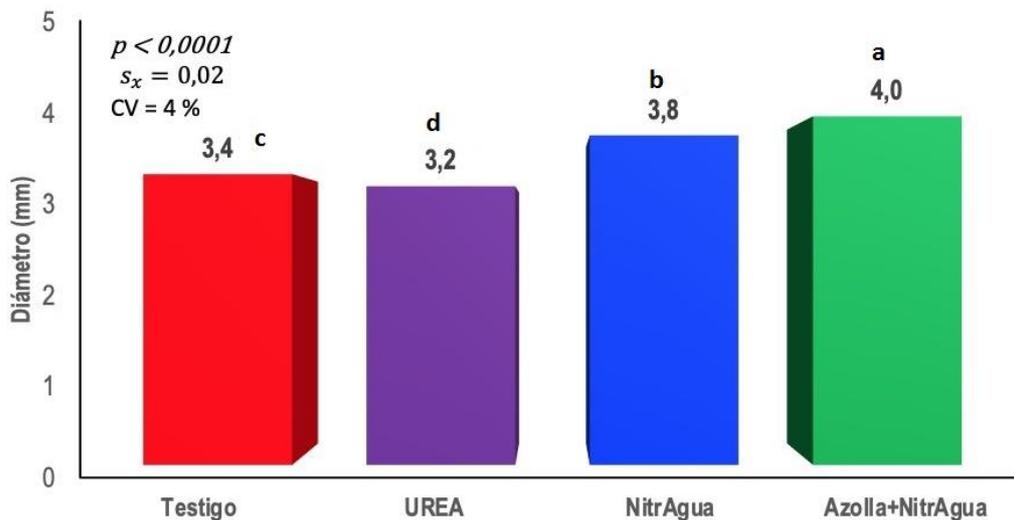
Modelo de regresión lineal para diámetro del tallo de acelga (*Beta vulgaris L.*)



En la Figura 21 se aprecia a los 60 días, que existe diferencia significativa en el diámetro del tallo con la aplicación de biomasa de *Azolla* más NitrAgua con respecto a los otros tratamientos; con coeficiente de variación de 4%.

Figura 21.

Diámetro del tallo de la planta de acelga (*Beta vulgaris L.*) en Gualal



Valores con letra común no son significativamente diferentes (Duncan, $p > 0,05$).

Peso de la acelga

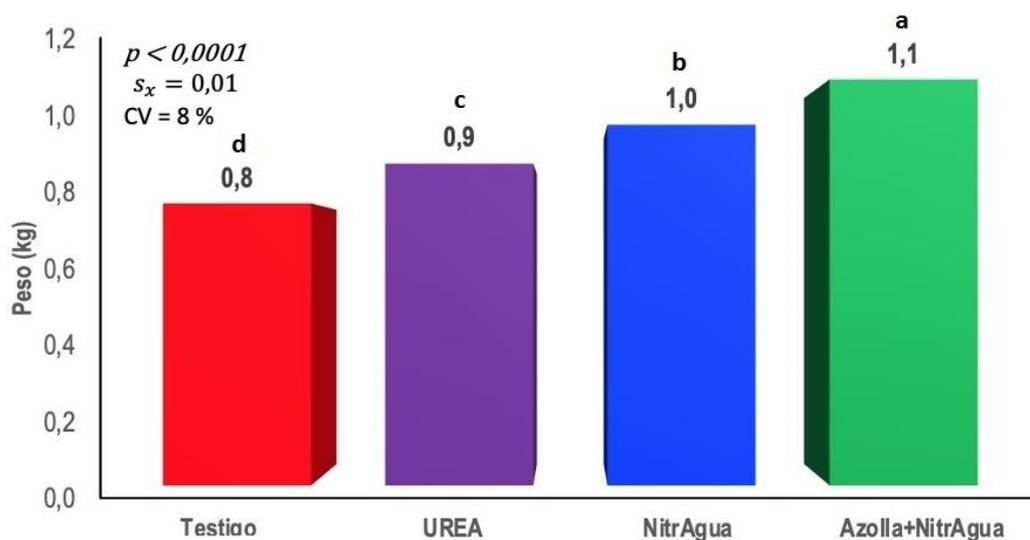
En la Figura 22 se presenta a los 60 días, que existe diferencia significativa en el peso de la acelga con la aplicación de biomasa de *Azolla* más NitrAgua con respecto a los otros tratamientos; con coeficiente de variación de 8%.

Los valores bajos del coeficiente de variación indica que los datos no estuvieron muy dispersos y que el experimento se condujo adecuadamente.

El rendimiento medio obtenido en los predios de la parroquia Gualiel en el cultivo de acelga fue 55 000 kg/ha equivalente a 55 t/ha (Anexo 7).

Figura 22.

Peso de la acelga (Beta vulgaris L.) en Gualiel



Valores con letra común no son significativamente diferentes (Duncan, $p > 0,05$).

6.2.4. Análisis económico (Tasa Marginal de Retorno).

Los costos variables se refieren en Tabla 16. El tratamiento que representa el mayor ingreso bruto es el de *Azolla* con NitrAgua, siendo el más dominante.

Tabla 16.

Costos variables del cultivo de acelga

Tratamiento	Cantidad de fertilizante Kg/ha	Precio fertilizante \$/kg	Costo fertilizante	Aplicación y Construcción	Costo Total
Testigo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Vigorizador 30-10-10	223,44	1,14	254,72	80,00	334,72
<i>Azolla</i> + NitrAgua	1558,00	0,06	933,48	100,00	1033,48

Tabla 17.*Ingreso bruto en el cultivo de acelga*

Tratamiento	Rendimiento Kg/planta	Número de plantas	Kg/tratamiento	Precio Kg	Ingreso bruto \$	Cosecha + transporte	Ingreso Bruto
Testigo	0,8	50000	40000,00	0,25	10000,00	465,00	9535,00
Vigorizador 30-10-10	0,9	50000	45000,00	0,25	11250,00	486,00	10764,00
Azolla + NitrAgua	1,1	50000	55000,00	0,25	13750,00	470,00	13280,00

Tabla 18.*Dominancia de tratamiento*

Tratamiento	Costos variables	Ingresos Brutos	Beneficio Neto	Análisis de dominancia
Testigo	0,00	9535,00	9535,00	
Vigorizador 30-10-10	334,72	10764,00	10429,28	
Azolla + NitrAgua	1033,48	13280,00	12246,52	D

Tabla 19.*Tasa de retorno marginal en los tratamientos del cultivo de acelga*

Tratamiento	Costos variables \$/trat	Costos marginales	Beneficio neto \$/tratamiento	Beneficios Netos marginales \$/trat	Tasa de retorno marginal %
Testigo			9535,00		
Vigorizador 30-10-10	334,72	335	10428,28	893,28	157
Azolla + NitrAgua	1033,48	1033	12246,52	1818,24	176

La tasa marginal de retorno es del 176%, en el tratamiento Azolla con NitrAgua, esto significa que por cada dólar invertido el agricultor recuperará el mismo y tendrá una ganancia de 1,76 dólares.

7. Discusión

7.1. Producción de nitrógeno bien expresado

Crecimiento y producción de azolla filiculoides

Las condiciones climáticas de la parroquia Gualiel fueron temperatura 10 °C, humedad relativa 86 %, valores que están dentro del rango propuesto por Cabezas (2011) que refiere en una investigación realizada en Cayambe (Pichincha), *azolla* no resiste temperaturas inferiores a 0 °C o superiores a 35 °C y la humedad entre 85 a 90 %. En lo referente a la intensidad de la luz, el helecho mantuvo su color verde natural hasta la cosecha; en el azollario se tuvo una lámina de agua de 0,40 m, al respecto Cabezas (2011) expone, la lámina de agua no debe ser menor a 0,30 m para que el helecho se desarrolle correctamente.

El crecimiento de *azolla filiculoides* en la parroquia Gualiel fue favorable, se obtuvo un incremento diario de 0,12 m²/día; es decir, *azolla* duplicó su valor diariamente, este resultado coincide con los obtenidos por Aguiar (2020) al reportar que la producción de biomasa se duplica entre 2 a 3 días; por su parte Pulluquina Reyes (2013) en Tungurahua mencionó que *azolla* se duplica en un tiempo aproximado de 5 a 7 días, lo cual difiere con lo obtenido en Gualiel.

Cabezas (2011) reporta que por 10 g de *azolla filiculoides* sembrado en una piscina de 10 cm de profundidad, en 12 días se multiplicó la biomasa del helecho, en la presente investigación a una profundidad de siembra de 60 cm, a los 26 días de siembra se reportó en el Azollario un incremento de biomasa en al menos un 50 % más.

El rendimiento de la biomasa de *azolla filiculoides* obtenido en la parroquia Gualiel es de 1 800 g/m², este valor difiere con Nasiba et al. (2022) los cuales en investigaciones acerca de las formas de cultivar *azolla caroliniana* en Vietnam, reportaron rendimientos de 22 815 g/m², se atribuye esta disparidad a las distintas condiciones climáticas de cada lugar. Con ello se demuestra que la altitud influye de manera significativa en los rendimientos del cultivo de *azolla*.

En la parroquia Gualiel, se obtuvo 0,39 t/ha/día, este valor coincide con los obtenidos por Coronel (2012) en localidades de Guayaquil los cuáles variaron entre 0,24 a 0,64 t/ha/día, pero difieren con Cabezas (2011) quien obtuvo rendimientos de 0,14 t/ha/día, esto debido a que las mayores dimensiones del azollario en Gualiel permitieron obtener mayor producción de biomasa en contraste al autor.

Los rendimientos reportados (0,39 t/ha/día) en Gualiel son menores a 1,2 t/ha/día, determinados por Montaña (2010), en ecosistemas de arrozales de Guayas esto se explicaría por el cuidado del cultivo de *azolla*, en contraste con Gualiel, donde el experimento se realizó al ambiente natural y sin protección solar. Montaña también reporta 0,75 t/ha/día de *azolla* fresca en San Gabriel (Daule), Boquerón (Daule) 0,43 t/ha/día, Guarumal (Daule) 1,83

t/ha/día, Vinces (Los Ríos) 0,79 t/ha/día y Saraguro (Loja) 0,25 t/ha/día, el rendimiento obtenido en Saraguro es similar a la de Gualiel debido a la altitud y condiciones climáticas similares.

Becerra et al. (1990) destacan que el rendimiento obtenido de *azolla* es 1,5/t/90 días de iniciado el experimento, esto contrasta con esta investigación en donde el rendimiento fue de 35/t/90 días. En México, Elvira-Espinosa et al. (2016), obtuvieron una producción de *azolla* (forraje fresco) de 1,0 a 2,0 t/ha/día, pues en el caso de la parroquia Gualiel se obtuvo un rendimiento de 0,39 t/ha/día de biomasa de *azolla*. Además, se determinó que en el proceso de fijación biológica del nitrógeno de la simbiosis *Azolla–Anabaena* en Gualiel fue de alrededor de 11,7 kg N/ha/día promedio, valor que difiere significativamente con el obtenido por Coronel (2012) que fue 3,0 kg N/ha/día.

Análisis químico del agua del Azollario o NitrAgua

El pH del azollario en la parroquia Gualiel, se mantuvo en valores cercanos a 7,0 considerados prácticamente neutros, estos datos están dentro del intervalo de 6,0 a 7,0 reportados por Cabezas (2011); sin embargo, el pH fue descendiendo, lo que coincide con valores obtenidos por Castro et al. (2002) quienes manifiestan que cuando se usa *azolla*, existe una tendencia a disminuir el pH del agua. Además, mencionan que, junto a la temperatura del agua, el pH es un factor muy influyente en las pérdidas de nitrógeno por volatilización.

La Conductividad Eléctrica presentó valores ascendentes hasta el día 28 donde alcanzó su mayor contenido (0,25 mS/cm), al respecto Mula, (2014) menciona que valores menores a 0,70 mS/cm no perjudica al cultivo debido al bajo contenido de salinidad y además el agua es absorbida con facilidad por el sistema radical.

La RAS en el día 28 tuvo el valor más alto 0,42 mg/l que es inferior a 2,0 mg/l planteado por Swistock (2021), esto significa que es óptimo para aplicación en los cultivos.

La dureza de NitrAgua alcanzó el máximo valor a los 28 días (48,35 mg/l), valor que no está dentro del rango establecido (100 a 150 mg/l) por lo tanto es considerada agua extremadamente blanda y según la Asociación de Calidad de Agua (WQA) (2004) es clasificada como agua ligeramente dura o agua con bajas cantidades de sales disueltas.

Los sulfatos del azollario tuvieron valores ascendentes desde el día 0 con 4,4, mg/l hasta el día 14 en donde alcanzó 5,9 mg/l, a partir de allí empezó a disminuir, estos valores se consideran aceptables pues cumplen con los límites de 0 a 960 mg/L en agua de riego (Sancha et al., 2005).

El N presente en nitrAgua se duplicó en siete días, el incremento diario fue de 17,14 mg/l y en el día 21 se tuvo la mayor concentración de nutrientes (400 mg/l) y a partir de ahí existen pérdidas por volatilización Castro et al. (2002) y posiblemente por falta de radiación

solar; este valor no está dentro del rango sugerido por Swistock (2021) que es de 50 a 150 mg/l) y Tapia (2015) de 5 a 30 mg/l; sin embargo, el cultivo asimiló el agua favorablemente pues se obtuvieron hojas grandes y rendimientos altos.

El K tuvo valores ascendentes, a partir de la siembra, en el día 21 se obtuvo 11,32 mg/l y en el día 28 fue de 17,11 mg/l, en este sentido Swistock (2021) indica contaminación del agua a través de agentes externos a los 28 días, por lo tanto sería recomendable aprovechar el agua en el día 21 desde la siembra.

Las concentraciones de Ca fueron ascendentes hasta los 28 días, se tuvo 10,6 mg/l, estos valores no están dentro del rango 40 a 100 mg/l reportados por (Swistock, 2021), por lo que se recomienda con este nutriente cosechar el agua 28 días después de la siembra.

El Mg durante la evaluación tuvo valores inferiores a 25 mg/l recomendado por Swistock (2021), en el día 28 se alcanzó la mayor concentración (5,37 mg/l), lo que significa que al igual que el Ca se debe realizar la cosecha en el día 28.

El Na tuvo valores ascendentes, en el día 28 se alcanzó el máximo contenido (6,69 mg/l) y según Swistock (2021) es lo adecuado, recomienda valores inferiores a 50 mg/l.

El Cl ascendió significativamente desde la siembra, en el día 28 se obtuvo 11,8 mg/l, que está dentro del límite de 30 mg/l que toleran algunas plantas sensibles (Swistock, 2021).

En lo referente al análisis de los elementos presentes en la biomasa de *azolla*, en la parroquia Gualiel los porcentajes de los nutrientes minerales fueron: 3,5 % N, 4,22 % P 4,23 % K, 0,7 % Ca y 0,25 % Mg; al respecto Montaña (2010) y Castro (2011), en un estudio realizado en Guayaquil registraron: 4,0 a 5,0 % N, 0,5 % P, 1,0 a 2,0 %, 0,5 % Ca, 0,5 % Mg y 0,1 % Fe asimilables, comparando estos resultados, en Gualiel se obtuvo menor contenido de N; el P y K alcanzaron valores mayores; no obstante, se obtuvieron valores similares para Ca y Mg.

Por lo antes expuesto, se puede mencionar que el contenido de nutrientes en *azolla*, varía de acuerdo a la localización geográfica, rango altitudinal y calidad de agua que se emplee para su reproducción.

Al finalizar la fase experimental, se socializaron los resultados acerca de la producción de Nitrógeno bien expresado y su aplicación en cultivos hortícolas en el cantón Loja: en Gualiel, a agricultores del barrio Rodeo y centro parroquial (Anexo 8); en Vilcabamba a la Asociación Agroartesanal de Productores Ecológicos de Café Especial del cantón Loja "APECAEL" (Anexo 11), en Gonzanamá al Centro de Desarrollo Productivo Lanzaca del Gobierno Provincial de Loja (Anexo 10) y en el cantón Vinces de la provincia Los Ríos en las comunidades "Matesito", "15 de agosto", "Tomasito Tin Tin", "Tomasita Tin Tin", Bananera "BANASOMA", Empresa Arrocera "Pura Pepa" y Empresa Agrícola "SOFRAN CIA LTDA" (Anexo 9).

7.2. Evaluación del efecto del nitrógeno bien expresado en el cultivo de acelga

Las condiciones climáticas de la parroquia Gualiel resultaron óptimas para el crecimiento y desarrollo del cultivo, aspecto que lo recalcan Martínez et al. (2003) al indicar que se puede cultivar desde 1 200 a 2 700 m s.n.m., la temperatura adecuada oscila de 13 a 18 °C. El suelo de Gualiel fue Franco Arcilloso, bien drenado y con contenido medio de materia orgánica (4,01%), el pH del suelo fue 7,29 y según Miranda Quimis (2018) está dentro del rango de 6,0 a 7,5 que permite tener una completa disponibilidad de nutrientes.

El marco de plantación fue 0,50 m entre hileras y 0,40 m entre las plantas con densidad de siembra de 50 000 plantas/ha, parecido al sugerido por Infoagro (2017) de 0,60 m entre hileras y 0,25 m entre plantas, con densidad de siembra 86 000 plantas/ha.

Al finalizar el experimento se puede deducir, que los distintos tratamientos influenciaron significativamente en el crecimiento y producción vegetativo del cultivo de acelga, por cuanto se hallaron diferencias estadísticas significativas; los mayores resultados se alcanzaron en el tratamiento que utilizó el sustrato conformado por Biomasa de *azolla filiculoides* + NitrAgua, superando la altura de las plantas con 30,0 cm a los 60 días, con la incorporación de Urea se obtuvieron 26,0 cm, resultados inferiores a los obtenidos por Miranda-Quimis (2018) quien a los 60 días obtuvo una altura de 48,5 cm empleando Urea, como fuente nitrogenada. El mayor número de hojas obtenido en Gualiel a los 60 días en el tratamiento de biomasa de Azolla + NitrAgua fue 12 hojas, este valor es menor al reportado por Meléndez (2015) quien a los 45 días obtuvo 18 hojas aplicando Jacinto de agua. El mayor diámetro de las pencas al momento de cosechar las hojas de acelga se obtuvo con biomasa de *azolla* + NitrAgua que fue 4,0 cm, en los otros tratamientos el valor oscila de 3,0 a 4,0 cm de ancho reportado por Eroski (2020).

En lo que respecta al peso de la plántula, los mayores resultados se obtuvieron con Biomasa de Azolla + NitrAgua; el peso obtenido con el testigo fue de 0,78 kg/planta a los 90 días, por su parte Costa (2015), en investigaciones realizadas en el cantón Paltas obtuvo 0,45 kg/planta en el tratamiento testigo y 0,6 kg/planta con bocashi a los 75 días; Miranda Quimis (2018) reportó 0,63 kg/planta, Sánchez (2021) 0,68 kg/planta empleando Urea, lo que difiere con esta investigación en donde aplicando vigorizador se obtuvo 0,89 kg/planta; esto permite concluir que las condiciones climáticas de la región Sierra favorecen el crecimiento del cultivo de acelga. Con la incorporación de Biomasa de Azolla + NitrAgua el peso promedio fue 1,10 kg/planta, superando las expectativas del investigador, pues Acosta Proaño (2015) alcanzó 0,74 kg/planta aplicando una fertilización con Urea. Así mismo, Meléndez (2015) manifiesta que el adecuado peso comercial en el cuál debe ser cosechada la acelga es entre 0,75 y 1,00 kg/planta y las acelgas obtenidas en todos los tratamientos están dentro de esos rangos.

En lo referente al rendimiento del cultivo MAGAP (2012) reporta que a nivel Nacional el cultivo de acelga genera entre 15 a 20 t/ha; en Gualiel con la aplicación de nitrógeno bien expresado como biofertilizante, el rendimiento fue 55 t/ha, este valor supera a lo reportado

por MAGAP (2012), Meléndez (2015) con 14,13 t/ha, Torres-Revelo (2007) lograron rendimientos de 13,53 t/ha y Acevedo et al. (2012) 9,04 t/ha.

De acuerdo a los resultados obtenidos se comprueba la hipótesis: la generación y aprovechamiento de nitrógeno bien expresado a partir de la simbiosis *Azolla-Anabaena* permite incrementar los rendimientos de acelga en los predios agrícolas de la parroquia Gualal, cantón y provincia de Loja.

8. Conclusiones

Al finalizar y luego de los resultados obtenidos se concluye:

- La obtención de Nitrógeno bien expresado a través de la simbiosis *Azolla–Anabaena* contribuye a incrementar los rendimientos de los cultivos en la agricultura familiar campesina de la parroquia Gualiel, pues el proceso de generación se realizó *in situ* a un costo accesible para los agricultores.
- El crecimiento de *azolla filiculoides* en la parroquia Gualiel fue 0,12 m² diarios y la producción de Nitrógeno bien expresado de 0,24 kg diarios, en un periodo de 47 días a partir de la siembra, obteniendo una producción de 0,4 t/ha/día, equivalente a 12 kg de N/ha/día.
- La NitrAgua contiene altas concentraciones de N, K, Ca, Mg, Na, HCO₃, Cl, SO₄, B, los cuales están disponibles para emplearla en los cultivos. La biomasa de *Azolla* contiene 3,5 % cada 100 gramos de N; además, están presentes nutrientes: Ca, K, Mg.
- En el cultivo, a los 60 días desde el trasplante se obtuvo: con la aplicación de *azolla* con NitrAgua las plantas de acelga alcanzaron 30 cm de altura, 12 hojas verdaderas y peso de 1,1 kg/planta; con la incorporación de NitrAgua se logró valores cercanos al tratamiento de *azolla* con NitrAgua con altura de planta 27 cm, 9 hojas verdaderas y peso de 1,0 kg/planta; con urea se alcanzó 26 cm de altura de planta, 8 hojas verdaderas y peso de 0,89 kg/planta y el tratamiento testigo presentó 26 cm de altura de planta, 9 hojas verdaderas y peso de 0,78 kg/planta, lo que demuestra que este helecho puede ser empleado como un biofertilizante y reemplazar a los fertilizantes comerciales que, a más de perjudicar la salud, representan costos elevados.
- La crecimiento y contenido de nutrientes en *azolla*, varía de acuerdo a la localización geográfica, rango altitudinal y calidad de agua que se emplee para su reproducción, pues en Gualiel se obtuvieron rendimientos menores a los de otros autores.
- El rendimiento del cultivo de acelga en la parroquia Gualiel fue de 55 t/ha en un periodo total de 90 días.
- El uso de la biomasa de *azolla* como biofertilizante permitió obtener una tasa marginal de retorno de 176%, lo que significa que por cada dólar invertido el agricultor recuperará el mismo y tendrá una ganancia de 1,76 dólares, esto permitió abaratar costos de producción al reducir la utilización de fertilizantes químicos nitrogenados, por ende, permitió obtener productos sanos y de buena calidad.

9. Recomendaciones

- Para la adecuada reproducción de la biomasa de *azolla filiculoides*, es necesario tomar en cuenta pH del agua, iluminación solar, humedad relativa, temperaturas del agua y del ambiente.
- Realizar otros análisis químicos de NitrAgua y bromatológicos de la biomasa de *azolla filiculoides*, con la finalidad de proponer diversas alternativas de manejo y aplicación en los cultivos, en donde se pueda incrementar la producción de los cultivos.
- Realizar más pruebas experimentales en diferente dosificación con el fin de determinar los rendimientos en diferentes cultivos, utilizando *azolla* como biofertilizante.
- Realizar la cosecha de la biomasa antes de que el azollario llene la superficie totalmente, pues el helecho comenzará a tornarse de un color rojizo cobre y esto dificultará que se reproduzca normalmente; y se recomienda recoger la NitrAgua a los 21 días desde la siembra, pues de esta manera se pueden aprovechar los nutrientes presentes en el agua; además, reponer frecuentemente la lámina de agua que es consumida por el helecho.
- Al producir *azolla* se debe realizar en superficies controladas pues en algunos lugares es considerada invasiva.
- Para disminuir los costos de producción con *azolla* se recomienda optar por reemplazar la geomembrana impermeabilizante por plástico negro de polietileno debido a que cumple la misma función de recubrir la superficie.

10. Bibliografía

- Acevedo, I., Contreras, J., González, R., Acevedo, I., & García, O. (2012). *Establecimiento y producción de un huerto orgánico piloto con la participación de familias semiurbanas, en Carora, estado Lara, Venezuela*. 12(3), 8.
- Acosta-Proaña, F. (2015). *Respuesta del cultivo de acelga (Beta vulgaris var. Cicla L.) a la fertilización orgánica foliar* [Universidad de Guayaquil].
<http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/8647/1/Acosta%20Proa%c3%b1o%20Felix%20Enrique.pdf>
- Aguiar, K. (2020). *La Azolla: Importancia y usos para mejorar la fertilidad y calidad del suelo y del agua en la agricultura*. [Universidad Técnica de Babahoyo].
<http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/8327/E-UTB-FACIAG-ING%20AGRON-000237.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Allan, D., & Graham, P. (2002). *Soil Biology and Fertility: Symbiotic Nitrogen Fixation, other N₂-fixing symbiosis*. University of Minnesota.
- Alvarado-Díaz, E. (2017). *Evaluación de la producción de biomasa de azolla filiculoides (helecho acuático) en función de la concentración y tipo de fertilizante, en condiciones de laboratorio, centro de biología de la Universidad Central del Ecuador* [Universidad Central del Ecuador]. <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/12941/1/T-UCE-0016-010.pdf>
- Andrade, F. H. (2016). *Los desafíos de la agricultura* (1.^a ed.). International Plant Nutrition Institute IPNI.
https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_los_desafios_de_la_agricultura_fandrade.pdf
- Andrade, F., Taboada, M., Lema, D., Maceira, N., Echeverría, H., Posse, G., Prieto, D., Sánchez, E., Ducasse, D., & Bogliani, M. (Eds.). (2017). *Los desafíos de la agricultura argentina: Satisfacer las futuras demandas y reducir el impacto ambiental*. Presidencia de la Nación, Ministerio de Agroindustria, INTA, Dirección Nacional Asistente de Información, Comunicación y Calidad.
- Arias, J. (2019). *Perspectivas de la agricultura y del desarrollo rural en las Américas: Una mirada hacia América Latina y el Caribe 2019-2020*.
https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/45111/1/CEPAL-FAO2019-2020_es.pdf

- Asociación de Calidad de Agua (WQA). (2004). *Control de dureza total en agua para uso industrial*. <https://www.hannacolombia.com/blog/post/663/control-dureza-total-en-agua-para-uso-industrial>
- Aubriot, L., Bonilla, S., Brena, B., Britos, A., Conde, D., Chalar, G., De León, L., Fabre, A., Gabito, L., Gravier, A., Hein, V., Kruk, C., Pérez, M., Piccino, C., Rodríguez-Gallego, L., & Vidal, L. (2009). *Cianobacterias planctónicas del Uruguay: Manual para la identificación y medidas de gestión*. Programa Hidrológico Internacional para América Latina y el Caribe (PHI-LAC). <http://limno.fcien.edu.uy/divulgacion/manual.de.cianobacterias.pdf>
- Becerra, M., Murgueitio, E., Reyes, G., & Preston, T. (1990). *Azolla filiculoides as partial replacement for traditional protein supplements in diets for growing-fattening pigs based on sugar cane juice*. 2(2). <https://www.fao.org/AG/AGa/agap/FRG/FEEDback/lrrd/lrrd2/2/maricel.htm>
- Benimeli, M., Plasencia, A., Corbella, R., Guevara, D., Sanzano, A., Sosa, F., & Fernández, J. (2019). *El nitrógeno del suelo* [Universidad Nacional de Tucumán]. <https://www.studocu.com/pe/document/universidad-catolica-sedes-sapientiae/suelos/el-nitrogeno-del-suelo-2019/12751686>
- Borja, J., & Valdivia, R. (2015). *Introducción a la agronomía* (Vol. 1). EDIMEC. <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/5221/1/Introduccion%20a%20la%20agronomia.pdf>
- Bracamonte, S., García, P., Fernández, R., Espinar, J., Rubio, Á., Meco, A., López, I., Sánchez, R., Sánchez, S., Moreno, M., & Sousa, A. (2015). La invasión del helecho acuático *Azolla filiculoides* en la marisma del Parque Nacional Doñana en 2005—2008. *SERIE LIMNOIBERIA*, 6. https://bibdigital.rjb.csic.es/medias/da/82/e4/b5/da82e4b5-f289-4638-8d83-efe60fdbf7c9/files/CIR_Inv_Hel_Acu.pdf
- Cabezas, R. (2011). *Relación simbiótica de azolla (*azolla caroliniana*, *A. filiculoides*, *A mexicana*)—*Anabaena* (*Anabaena azollae*) para la producción de nitrógeno en ecosistemas acuáticos de la zona de Cayambe, 2010* [Universidad Politécnica Salesiana del Ecuador]. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1830/12/UPS-YT00098.pdf>
- Cadena, S., & Enríquez, M. (2013). Efecto de *Azolla* sp., en la productividad y mejoramiento del suelo en la granja experimental Yuyucocha, Imbabura. [Universidad Técnica del Norte]. <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/2068/1/03%20RNR%20164%20TESIS.pdf>

- Calvo-García, S. (2011). Bacterias simbióticas fijadoras de nitrógeno. *Cuadernos del Tomás*, 3, 173-186.
- Cañadas. (2021). *Fichas técnicas: Plantas para sistemas agroecológicos* (p. 4). Centro de Agroecología y Permacultura. <https://bosquedeniebla.com.mx/wp-content/uploads/2021/06/azolla-ficha-tecnica-bosquedeniebla-2.pdf>
- Castro, R., Novo, R., & Castro, R. I. (2002). Uso del género azolla como biofertilizante en el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.). *Cultivos Tropicales*, 23(4), 7.
- Coello-Aguilar, M. G. (2008). *Aislamiento y caracterización de Anabaena sp. De la camaronera San Agustín, Machala Provincia de El Oro, Ecuador 2007 y evaluación de su crecimiento en función de la concentración de sal* [Escuela Politécnica del Ejército]. <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/829/1/T-ESPE-025571.pdf>
- Coila, M. (2017). *Efecto del estiércol de lombriz y ovino en la producción de acelga (Beta vulgaris L.) en invernadero – Puno* [Universidad Nacional del Altiplano]. <http://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/3278658>
- Coll-Morales, F. (2020). *Tipos de agricultura*. Economipedia. <https://economipedia.com/definiciones/tipos-de-agricultura.html>
- Coronel, J. I. (2012). *Estudio de las especies químicas amonio, nitrito y nitrato en el proceso de fijación biológica del nitrógeno del sistema azolla-anabaena, mediante técnicas colorimétricas y su aprovechamiento* [Escuela Superior Politécnica del Litoral]. <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/19482>
- Costa, T. (2015). *Uso de estiércol caprino y Bocashi en el cultivo de Acelga (Beta vulgaris var. cicla Pers) en el Colegio de Bachillerato Puyango de la parroquia Alamor*. <https://dspace.unl.edu.ec/handle/123456789/10819>
- Delgadillo-López, A., González-Ramírez, C., Prieto-García, F., Villagómez-Ibarra, J., & Acevedo-Sandoval, O. (2011). *Fitorremediación: Una alternativa para eliminar la contaminación*. 14(2), 17.
- Delgado-Zambrano, J. (2016). *Evaluación de tres variedades de acelga (Beta Vulgaris L.) cultivadas en el sistema hidropónico* [Universidad de Guayaquil]. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/9604>
- Dréo, J. (2015). Ciclo del nitrógeno. En *Wikipedia, la enciclopedia libre*. https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Ciclo_del_nitr%C3%B3geno&oldid=143866661

- Echegaray, E. (1887). *Diccionario general etimológico de la Lengua española* (Florida 251, Vol. 1). <http://bdh-rd.bne.es/viewer.vm?id=0000023209&page=1>
- Elvira-Espinosa, A., Quintero-Lizaola, R., Trinidad-Santos, A., & Leyva-Ruelas, G. (2016). Tasas de crecimiento y tiempo de duplicación de 17 Ecotipos de Azolla, colectadas en México. *ECORFAN*, 7.
- EQUAQUÍMICA. (s. f.). *Abonos Foliare "Miller" Vigorizador®*. http://ecuanoticias.ec/pdf_agricola/VIGORIZADOR.pdf
- Eroski. (2020). *Acelga | Introducción | Hortalizas y verduras*. <https://verduras.consumer.es/accelga/introduccion>
- Evans, E. (2005). *Análisis Marginal: Un Procedimiento Económico para Seleccionar Tecnologías o Prácticas Alternativas* [Universidad de Florida]. <https://edis.ifas.ufl.edu/pdf/FE/FE57300.pdf>
- FAO. (2011). *Enseñanzas de la revolución verde t06-s.htm*. <http://www.fao.org/3/w2612s/w2612s06.htm>
- FAO. (2013). *El manejo del suelo en la producción de hortalizas con buenas prácticas agrícolas*. 33.
- Franco-Magues, I. (2004). *Azolla-anabaena como un abono alternativo en la producción de arroz en el litoral ecuatoriano: Análisis económico financiero* [Escuela Superior Politécnica del Litoral]. <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/3790/1/6317.pdf>
- Franquesa, M. (2016, mayo 11). *Agricultura Convencional. Agroptima*. <https://www.agroptima.com/es/blog/agricultura-convencional/>
- GAD - Gualiel. (2019). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Parroquial Gualiel*. 393.
- GAD - Loja. (2014). *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial. Municipio de Loja*. <https://www.loja.gob.ec/files/image/LOTAIP/podt2014.pdf>
- Infoagro. (2017). *Agricultura. El cultivo de la acelga*. <https://www.infoagro.com/hortalizas/accelga.htm>
- Iñon, N. (2017). *Ciclo del nitrógeno*. 74.

- Kyrkby, E., & Römheld, V. (2007). *Micronutrientes en la fisiología de las plantas: Funciones, absorción y movilidad*.
- Larrazabal, M. (2018, agosto 27). Tipos de Fertilizantes. ¿Qué son, cómo se aplican y para qué sirven? *Marketing Agropecuario. Blog de Bialar. AgroMarketing Digital*. <https://www.bialarblog.com/tipos-de-fertilizantes-como-se-aplican-para-que-sirven/>
- Lira-Gómez, C. (2019, marzo). Anabaena: Características, hábitat, reproducción y nutrición. *Lifeder*. <https://www.lifeder.com/anabaena/>
- Loaiza, J. (2010). *El recurso suelo*. <https://docplayer.es/49406067-El-recurso-suelo-juan-carlos-loaiza-articulo-de-revision-the-soil-as-a-resource-resumen.html>
- Lozada-Mondragón, A. S. (2011). *Estudio de factibilidad para la creación de un centro agroturístico en la parroquia Luz de América, provincia Santo Domingo de los Tsáchilas*[Universidad Politécnica Salesiana del Ecuador]. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/2040/1/UPS-QT00068.pdf>
- Lumpkin, T. A., & Plucknett, D. L. (1980). Azolla: Botany, physiology, and use as a greenmanure. *Economic Botany*, 34(2), 111-153. <https://doi.org/10.1007/BF02858627>
- MAGAP. (2012). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Gobierno Autónomo Descentralizado de El Tambo*. <https://docplayer.es/114449162-Plan-de-desarrollo-y-ordenamiento-territorial-del-gobierno-autonomo-descentralizado-de-el-tambo.html>
- Martínez, A., Lee, R., Chaparro, D., & Páramo, S. (2003). *Postcosecha y mercadeo de hortalizas de clima frío bajo prácticas de producción sostenible* (Primera, Vol. 1). Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. https://books.google.com.ec/books?id=2aL2xUPJdYMC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Martínez, L. (1992). *El empleo rural en el Ecuador* (Vol. 1). INEM-ILDIS. <https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/56176.pdf>
- Mayz-Figueroa, J. (2004). Fijación biológica de nitrógeno. *Revista UDO agrícola*, 4(1), 1-20.

- Meléndez, N. (2015). *Comportamiento agronómico del cultivo de acelga (Beta vulgaris L.) con diferentes abonos orgánicos en la finca experimental «La María», año 2014* [Universidad Técnica Estatal de Quevedo].
<https://repositorio.uteq.edu.ec/jspui/bitstream/43000/1548/1/T-UTEQ-0184.pdf>
- Méndez-Martínez, Y., Pérez-Tamames, Y., Reyes, J., & Puente, V. (2018). *Azolla sp., un alimento de alto valor nutricional para la acuicultura. Biotecnia*, 20(1), 9.
- Miranda-Quimis, G. (2018). *Evaluación de productos nitrogenados en el cultivo de acelga (Beta vulgaris)* [Universidad Estatal del Sur de Manabí].
<http://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/1044/1/TESIS%202018%20FINAL.pdf>
- Montaño, M. (2005). *Estudio de la aplicación de Azolla Anabaena como bioabono en el cultivo de arroz en el litoral ecuatoriano*. 18(1), 5.
- Montaño, M. (2010). *Azolla en el mejoramiento de la salud, la economía y el medioambiente*.3.
- Montaño, M. (2015). *Historia de las ciencias en el Ecuador*.
<http://www.dspace.uce.edu.ec:8080/bitstream/25000/4460/1/Historia%20de%20las%20ciencias%20en%20el%20Ecuador.pdf#page=244>
- Montaño, M. (2021). *Azolla en el mejoramiento de la salud, la economía y el medioambiente*.
- Montaño, N. M. (2015). Biorremediación de suelos y aguas. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 31(2), 211-212.
- Moreno, J. (2022, mayo 20). *Capacitación en siembra de café y cultivo de azolla*. GPL.
<https://prefecturaloja.gob.ec/tecnicos-y-estudiantes-se-capacitan-en-siembra-de-cafe-y-cultivo-de-azolla/>
- Mula, J. (2014, agosto). La conductividad eléctrica del agua de riego. *Agromática*.
<https://www.agromatica.es/conductividad-electrica-del-agua/>
- Nasiba, K., Gulirukhsor, A., & Dilafruz, J. (2022). Formas de cultivar azolla caroliniana en las condiciones del Valle de Zarafshan. *E-Conference Globe*, 14-17.
- Navarro-García, G., & Navarro-García, S. (2013). *Química agrícola (Tercera)*. Mundi-Prensa.

- Pazos-Rojas, L. A., Marín-Cevada, V., Morales-García, Y., Báez, A., Villalobos-López, M. A., Pérez-Santos, M., & Muñoz-Rojas, J. (2016). *Uso de microorganismos benéficos para reducir los daños causados por la revolución verde*. 3(7), 14.
- Perrin, R.; Winkelmann, D.; Moscardi, E.; Anderson, J. (1988). Formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos; un manual metodológico de evaluación económica. México, Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. 53 p.
- Pulluquina-Reyes, A. (2013). *Evaluación y análisis del simbionte helecho acuático (azolla sp. – Anabaena azollae) y su aplicación como biofiltro en la depuración de aguas residuales en la provincia del Tungurahua-Ecuador* [Universidad Técnica de Ambato]. <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/6636/1/BQ%2045.pdf>
- Rivera, L., Vargas, O., Cun, M., & Rodríguez, I. (2020). *Comportamiento de la azolla (Azollaspp.) bajo diferentes condiciones ambientales y de manejo*. *Cumbres*, 3(2), 95-105. <https://doi.org/10.48190/cumbres.v3n2a9>
- Robledo, J. (2021). *Helecho de agua, una fuente de proteína en la ganadería | Contexto ganadero*. <https://www.contextoganadero.com/ganaderia-sostenible/helecho-de-agua-una-fuente-de-proteina-en-la-ganaderia>
- Ruíz Alencastro, J. L. (2015). *ELABORACIÓN DE UN ABONO ORGÁNICO A PARTIR DE Azolla filiculoides CON HIPERACUMULACIÓN DE HIERRO* [Universidad Politécnica Salesiana del Ecuador]. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/9051/1/UPS-QT06731.pdf>
- Sádaba, S., Uribarri, A., Aguado, G., del Castillo, J., & Astiz, M. (2010). Acelga en invernadero: Ciclo y exigencias de manejo. Guía práctica de cultivo. *Navarra agraria*, 181, 23-27.
- Salas, J. (2019). *Manejo de nutrición considerando capacidad de extracción de fertilizantes en la producción de acelga (Beta vulgaris)* [Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro]. <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/46451/K%2066045%20Salas%20Espinoza%2C%20Jorge%20Luis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Sancha, A., Espinoza, C., & Mena, M. (2005). *Criterios de calidad de suelos y aguas o efluentes tratados para uso en riego*. 3.

- Sánchez, H. (2021). *Efecto de tres variedades de acelga y un manejo etológico para la prevención de insectos plagas* [Universidad Agraria del Ecuador].
<https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/SANCHEZ%20ROSERO%20HELEN%20VICTORIA.pdf>
- Serrato, L. (2017). *Plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica del río Prado, departamento de Tolima*. StuDocu. <https://www.studocu.com/co/document/universidad-central-colombia/practica-de-ingenieria-4/plan-de-ordenacion-y-manejo-de-la-cuenca-hidrografica-del-rio-prado-1/5238201>
- Sevillano-García, F., Subramaniam, P., & Rodríguez Barrueco, C. (1986). *La asociación simbiótica fijadora de nitrógeno atmosférico Azolla-Anabaena*. CSIC - Centro de Edafología y Biología Aplicada de Salamanca (CEBA).
<https://digital.csic.es/handle/10261/85747>
- Swistock, B. (2021). *Interpretación de los análisis del agua de riego*. Penn State Extension.
<https://extension.psu.edu/interpretacion-de-los-analisis-del-agua-de-riego>
- Tapia, L. (2015). Registro Oficial Suplemento 387.
https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-09/Documento_Registro-Oficial-No-387-04-noviembre-2015_0.pdf
- Torres-Revelo, D. P. (2007). *Estudio de los impactos causados por la aplicación de un proyecto de agricultura biointensiva orientado hacia la seguridad alimentaria en Nueva Loja. Lago Agrio—Sucumbíos* [Universidad Técnica del Norte].
<http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/161>
- Trejo-Téllez, L. I., Gómez-Merino, F., Rodríguez-Mendoza, M., & Alcántar-González, G. (2005). *Fertilización foliar con urea en la partición de nitrógeno en espinaca*. 23(4), 10.
- Ube, J. L. (2021). *Importancia del nitrógeno para el crecimiento, desarrollo y rendimiento del cultivo de café (Coffea spp.) en Ecuador* [Universidad Técnica de Babahoyo].
<http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/9351/E-UTB-FACIAG-ING%20AGROP-000150.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Urzúa, H. (2005). *Beneficios de la fijación simbiótica de nitrógeno en Chile*. Pontificia Universidad Católica de Chile.
<https://repositorio.uc.cl/xmlui/bitstream/handle/11534/8277/000384349.pdf>
- Vásquez, E. (2012, enero 30). *Caracterización de tres especies de plantas (Rumex Crispus, Azolla Anabaena, Beta vulgaris) con potencial forrajero para consumo en*

alimentación animal. Engormix. <https://www.engormix.com/ganaderia-carne/articulos/caracterizacion-tres-especies-plantas-t29302.htm>

Witte, C.-P. (2011). Metabolismo de la urea en las plantas. *Plant Science*, 180(3), 431-438.
<https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2010.11.010>

Yara Latinoamérica. (2020, junio 25). *Ciclo del nitrógeno-Nitratos vs urea*.
<https://www.youtube.com/watch?v=mMskSnJUNlg>

11. Anexos

Anexo 1.

Preparación del diseño experimental para el cultivo de acelga



Anexo 2.

Análisis del suelo de la parroquia Gualiel, en el laboratorio de suelos de la UNL



Anexo 3.

Medición de altura de plantas a los 15 días del trasplante



Anexo 4.

Fertilización con biomasa de azolla en el cultivo de acelga



Anexo 5.

Azollarios llenos en el predio de la parroquia Gualiel, Loja. 2021.



Anexo 6.

Presencia de plagas en el cultivo de acelga en Gualiel, Loja. 2021



Anexo 7.

Peso de las hojas de acelga en Gualal, Loja. 2021



Anexo 8.

Socialización de resultados en la parroquia Gualal



Anexo 9.

Socialización de resultados en el cantón Vinces



Anexo 10.

Socialización de resultados en el cantón Gonzanamá



Anexo 11.

Socialización de resultados en la parroquia Vilcabamba



Anexo 12.

Análisis de textura del suelo de Gualiel.



FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
LABORATORIO DE SUELOS, AGUAS Y BROMATOLOGÍA

PROVINCIA:	Loja		
CANTÓN:	Loja		
PARROQUIA:	Gualiel	SECTOR:	Gualiel
REMITENTE:	Claudia Gissela Angamarca Angamarca	DIRECTOR DE TESIS:	PhD. Ramiro Vásquez
TESIS:	"Generación y aprovechamiento de Nitrógeno bien expresado mediante la producción del simbiote Azolla-Anabaena, en el cultivo de acelga (<i>Betavulgaris L.</i>) en la parroquia Gualiel, cantón y provincia Loja"		

1. RESULTADOS DE ANÁLISIS

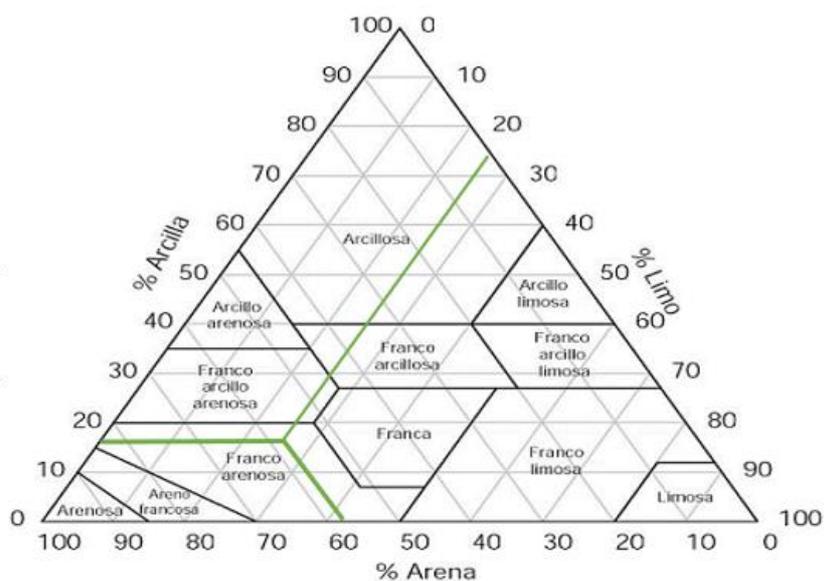
Cód. Lab.	Cód. Cam.	Análisis Mecánico % TFSA			Textura
		Ao	Lo	Ac	
3676	Área 1	58	25.64	16.36	FoAo

2. INTERPRETACIÓN DE ANÁLISIS

Cód. Lab.	Cód. Cam.	Clase Textural
3676	Área 1	Franco arenoso

Anexo 13.

Triángulo textural para clasificación del suelo de Gualel.



Anexo 14.

Evapotranspiración de referencia de Gualel.

Monthly ETo Penman-Monteith - untitled								
Country	Ecuador			Station	Gualel			
Altitude	2544	m.	Latitude	3.46	°S	Longitude	79.22	°W
Month	Min Temp	Max Temp	Humidity	Wind	Sun	Rad	ETo	
	°C	°C	%	km/day	hours	MJ/m ² /day	mm/day	
January	8.4	16.8	85	238	2.8	13.7	2.42	
February	8.6	15.8	86	210	2.5	13.5	2.37	
March	6.7	15.0	85	219	3.0	14.2	2.38	
April	7.0	15.0	85	225	3.5	14.3	2.35	
May	6.0	14.0	86	252	3.5	13.3	2.10	
June	6.0	14.0	84	293	5.4	15.4	2.26	
July	7.0	15.0	83	329	6.4	17.0	2.55	
August	7.0	12.0	80	324	7.2	19.3	2.67	
September	7.4	14.0	83	298	5.5	17.7	2.63	
October	6.0	16.5	82	266	4.6	16.7	2.78	
November	6.3	16.5	83	265	3.8	15.2	2.62	
December	7.0	15.2	83	269	4.2	15.6	2.54	
Average	7.0	15.0	84	266	4.4	15.5	2.47	

Anexo 15.

Certificación de traducción Abstract.

CERTIFICADO DE TRADUCCIÓN

Yo, Eduardo Alexander Vargas Romero, con número de cédula 1104605454 y con título de Licenciado en Ciencias de la Educación, Mención Inglés, registrado en el SENESCYT con número 1031-15-1437415

CERTIFICO:

Que he realizado la traducción de español al idioma Inglés del resumen del presente trabajo de integración curricular o de titulación denominado **“Generación y aprovechamiento de Nitrógeno bien expresado mediante la producción del simbionte Azolla-Anabaena, en el cultivo de acelga (Betavulgaris L.) en la parroquia Gualel, cantón y provincia Loja”** de autoría de **Claudia Gissela Angamarca Angamarca**, portadora de la cédula de identidad, número **1150349478**, estudiante de la carrera de Ingeniería Agrícola de la Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional de Loja, siendo el mismo verdadero y correcto a mi mejor saber y entender.

Es todo en cuanto puedo certificar en honor a la verdad, facultando al interesado hacer uso del presente en lo que se creyera conveniente.



CHECKED BY:

31-10-22

Lic. Eduardo Alexander Vargas Romero
ENGLISH TEACHER

Lic. Eduardo Alexander Vargas Romero, Mgs.

C.I. 1104605454

Registro del SENESCYT: 1031-15-1437415