

**Universidad Técnica Nacional
Sede Guanacaste
Ingeniería Agronómica con Énfasis en Riego y Drenaje**

Evaluación de la respuesta del cultivo de arroz (*Oryza sativa*), a cuatro niveles de nitrógeno combinados con *Azolla filiculoides*, Bagaces, Guanacaste, 2024

**Trabajo final de graduación como requisito para optar
por el grado académico de
licenciatura en Ingeniería Agronómica con Énfasis en
Riego y Drenaje**

**Juan Carlos Cantillano Bustos
Gustavo Valverde Villalobos**

**Guanacaste
2024**

Miembros del Tribunal Evaluador

MSc. María de los Ángeles Arias Alfaro
Tutor

Ing. Douglas González López
Lector

Ing. Alfredo Josué Rodríguez Villegas
Lector

Lic. Iván Durán Méndez
Director de carrera

Dedicatoria

Este trabajo de investigación se lo dedicamos a nuestras familias, y en especial a nuestros padres que fueron un pilar fundamental para que pudiéramos concluir con este grado universitario. Sin su apoyo en todos los aspectos, hubiera sido un camino mucho más difícil.

También queremos dedicárselo a nuestro compañero de carrera Thomas Pérez Noguera, quien nos inculcó muchos valores durante nuestra etapa de estudio. Y que por situaciones de la vida ya no se encuentra en este mundo terrenal, pero sí en nuestros corazones.

Agradecimientos

Primero que todo le damos gracias a Dios por dejarnos llegar hasta aquí, por darnos la fortaleza para enfrentar las dificultades presentadas en el camino.

A todos los profesores que tuvimos a lo largo de la carrera, que de una u otra forma aportaron su granito de arena en nuestra formación como profesionales.

Un agradecimiento especial a la profesora Marielos Arias Alfaro, quien nos compartió sus conocimientos en todos los cursos que tuvo asignados, y quien nos guio en la elaboración de este trabajo.

A todos, muchas gracias.

Tabla de contenidos

Miembros del Tribunal Evaluador	ii
Dedicatoria.....	iii
Agradecimientos	iv
Índice de tablas.....	vi
Índice de figuras.....	vi
Resumen.....	viii
Capítulo I. Introducción.....	ix
1.1 Introducción	10
1.2 Área de estudio.....	11
1.3 Delimitación del problema.....	14
1.4 Justificación	15
1.5 Situación actual del conocimiento del tema.....	16
1.6 Objetivos	20
1.6.1 <i>Objetivo general</i>	20
1.6.2 <i>Objetivos específicos</i>	20
Capítulo II Marco teórico referencial	21
2.1 Historia del arroz.....	22
2.2 Importancia del arroz	22
2.3 Etapas fenológicas del cultivo del arroz.....	23
2.4 Variedades.....	24
2.5 Requerimientos del cultivo del arroz	25
2.6 Preparación del terreno para la siembra.....	25
2.7 Principales plagas y enfermedades.....	27
2.8 El nitrógeno en el cultivo del arroz	30
2.9 Cosecha del arroz	31
2.10 Abonos verdes.....	32
2.11 <i>Azolla filiculoides</i>	33
2.12 Análisis financiero (costo-beneficio)	34
Capítulo III Marco metodológico	35
3.1 Paradigma.....	36
3.2 Enfoque y tipo de investigación.....	36
3.3 Hipótesis.....	37
3.4 Variables del análisis	37
3.5 Modelo estadístico	40
3.6 Instrumentos de validación	41
3.7 Descripción de tratamientos.....	41
3.8 Preparación del terreno	42
3.9 Siembra	43
3.10 Riego.....	43
3.11 Manejo agronómico del cultivo del arroz	44
3.12 Elaboración del fertilizante a partir de <i>Azolla filiculoides</i>	45
3.13 Aplicación de la <i>Azolla filiculoides</i>	46

Capítulo IV. Presentación y análisis de resultados	47
Capítulo V. Conclusiones y recomendaciones	57
5.1 Conclusiones	58
5.2 Recomendaciones.....	60
Capítulo VI. Bibliografía y anexos	62
6.1 Bibliografía	63
6.2 Anexos	67

Índice de tablas

Tabla 1. Matriz operacional	37
Tabla 2. Descripción de los tratamientos	41
Tabla 3. Días después de la siembra que se aplicó fertilizantes químicos	44
Tabla 4. Aplicación de productos químicos	44
Tabla 5. Días después de la siembra que se aplicó Azolla	46
Tabla 6. Comparación de resultados del ANDEVA entre tratamientos.....	49
Tabla 7. Coeficiente de correlación Pearson para altura de planta, longitud de hoja y % de NDVI	52
Tabla 8. Relación costo/beneficio por ha.....	56
Tabla 9. Producción obtenida en los tratamientos.....	70
Tabla 10. Costo de fertilizantes químicos por ha	70
Tabla 11. Costo de insumos químicos por ha	70
Tabla 12. Costo de preparación del terreno por ha	71
Tabla 13. Costo para establecer la fertilización a base de Azolla por ha	71

Índice de figuras

Figura 1. Mapa del lugar de estudio.....	13
Figura 2. Comparación de resultados del ANDEVA entre bloques	48
Figura 3. Producción de arroz por ha.....	52
Figura 4. Análisis de la calidad del grano realizado a muestras de 100 gramos de arroz	53
Figura 5. Análisis del porcentaje de impurezas realizado a muestras de 1000 gramos de arroz	55
Figura 6. ANDEVA de la variable altura de planta entre tratamientos y bloques	67
Figura 7. ANDEVA de la variable longitud de la hoja entre tratamientos y bloques.....	67

Figura 8. ANDEVA de la variable % de NDVI entre tratamientos y bloques.....	68
Figura 9. ANDEVA de la variable macollamiento entre tratamientos y bloques	68
Figura 10. ANDEVA de la variable longitud de la espiga entre tratamientos y bloques.....	69
Figura 11. ANDEVA de la variable rendimiento final entre tratamientos y bloques	69
Figura 12. Preparación del terreno.....	71
Figura 13. Demarcación del terreno.....	72
Figura 14. Reproducción de <i>Azolla</i>	72
Figura 15. Mediciones en campo	73
Figura 16. Aplicación de fertilizante y <i>Azolla</i>	74
Figura 17. Desarrollo del cultivo	75
Figura 18. Cosecha	76
Figura 19. Análisis de laboratorio.....	77
Figura 20. Distribución de tratamientos.....	78

Resumen

La agricultura en la actualidad presenta muchas dificultades, problemas ambientales como la escasez del agua, los suelos infértiles y altos costos de insumos. Estos aspectos hacen que sea una prioridad buscar métodos de producción más eficientes y de menos costos.

En las investigaciones anteriores *Azolla Filiculoides* se ha aplicado principalmente en arroz inundado, el cual cuenta con una lámina de agua permanente que le permite al helecho reproducirse por sí solo en el terreno formando una cobertura completa (Espinosa, 2014, citado por Valle, 2024). Dado que en el arroz tipo seco no se cuenta con esta misma disponibilidad de agua, esta investigación evaluó el uso de la *Azolla* aplicado directamente al cultivo de forma manual.

Se evaluaron 6 tratamientos con 3 repeticiones en un modelo estadístico de bloques completos al azar, cada unidad experimental fue de 2,5 m², con una separación de 80 cm entre cada una, y de 60 cm entre bloques. Los tratamientos fueron: 100%N, 100% N + *Azolla*, 75% N + *Azolla*, 50% N + *Azolla*, 25% N + *Azolla* y 0% N + *Azolla*.

Los resultados obtenidos entre los tratamientos mostraron poca diferencia significativa, además, el tratamiento con los mejores datos fue el 4 (50% N + *Azolla*), y deja en evidencia que con el uso de este helecho se pueden tener buenos rendimientos y reducir considerablemente el uso de fertilizantes químicos.

Palabras clave: *Azolla filiculoides*, Arroz, Fertilización, Siembra en seco.

Capitulo I. Introducción

1.1 Introducción

El arroz es uno de los cereales más conocidos a nivel mundial, es este la base principal de la alimentación humana. Se ha caracterizado por ser el eje alimenticio, por su productividad y características nutricionales. Su historia se remonta desde hace 8.000 años atrás, principalmente en China y en algunos países de África (Castells, 2017, citado por Ledesma, 2022). Es necesario realizar investigaciones constantes en el cultivo del arroz por el rol que tiene en la alimentación de las personas. Buscar nuevas técnicas y alternativas que ayuden a incrementar la producción en la misma área de siembra, con el uso de los avances científicos como el mejoramiento genético, y el uso de técnicas menos nocivas que beneficien al ser humano y su entorno (IRTA, 2015, citado por Ledesma, 2022).

El nitrógeno es uno de los elementos esenciales para el desarrollo de las plantas, el que se encuentra disponible en el suelo no es suficiente para alcanzar altos rendimientos, por lo que debe ser complementado con fuentes de nitrógeno químicas y/o fijación biológica, por medio de leguminosas u otras fuentes. Sin embargo, los fertilizantes químicos aumentan los costos de producción y producen efectos negativos en el ambiente (Castillo et al., 2014, citado por Aguirre & López, 2020).

Existe un helecho llamado *Azolla* que tiene simbiosis con la bacteria *Anabaena*, la cual es fijadora de nitrógeno, al tener este potencial es uno de los fertilizantes orgánicos que mejor aceptación ha tenido en países de América, donde ha sido utilizado principalmente en arroz por inundación. Este helecho puede aportar más de la mitad del nitrógeno que

necesita el cultivo, y cuando las plantas de *Azolla* mueren aportan materia orgánica que mejora las características físicas del suelo, una vez que se descompone en el terreno (Efrén, 2017, citado por Aguiar, 2020).

Dado lo anterior esta investigación se vuelve relevante para determinar la respuesta agronómica y financiera del cultivo de arroz a la aplicación de diferentes dosis de nitrógeno en conjunto con una dosis de *Azolla* seca, para demostrar si tiene algún efecto positivo, que ayude a disminuir el uso del fertilizante químico.

1.2 Área de estudio

La investigación se realizará en el Asentamiento La Soga, Montenegro, posicionado dentro de las coordenadas geográficas 10°26'27"N y 85°11'33"O, pertenece al cantón de Bagaces que cuenta con una población aproximada de 15857 personas, se ubica dentro de la provincia de Guanacaste, Costa Rica. En este sitio es normal encontrar suelos de tipo vertisoles, entisoles e inceptisoles (Ministerio de Agricultura y Ganadería de Costa Rica [MAG], s.f).

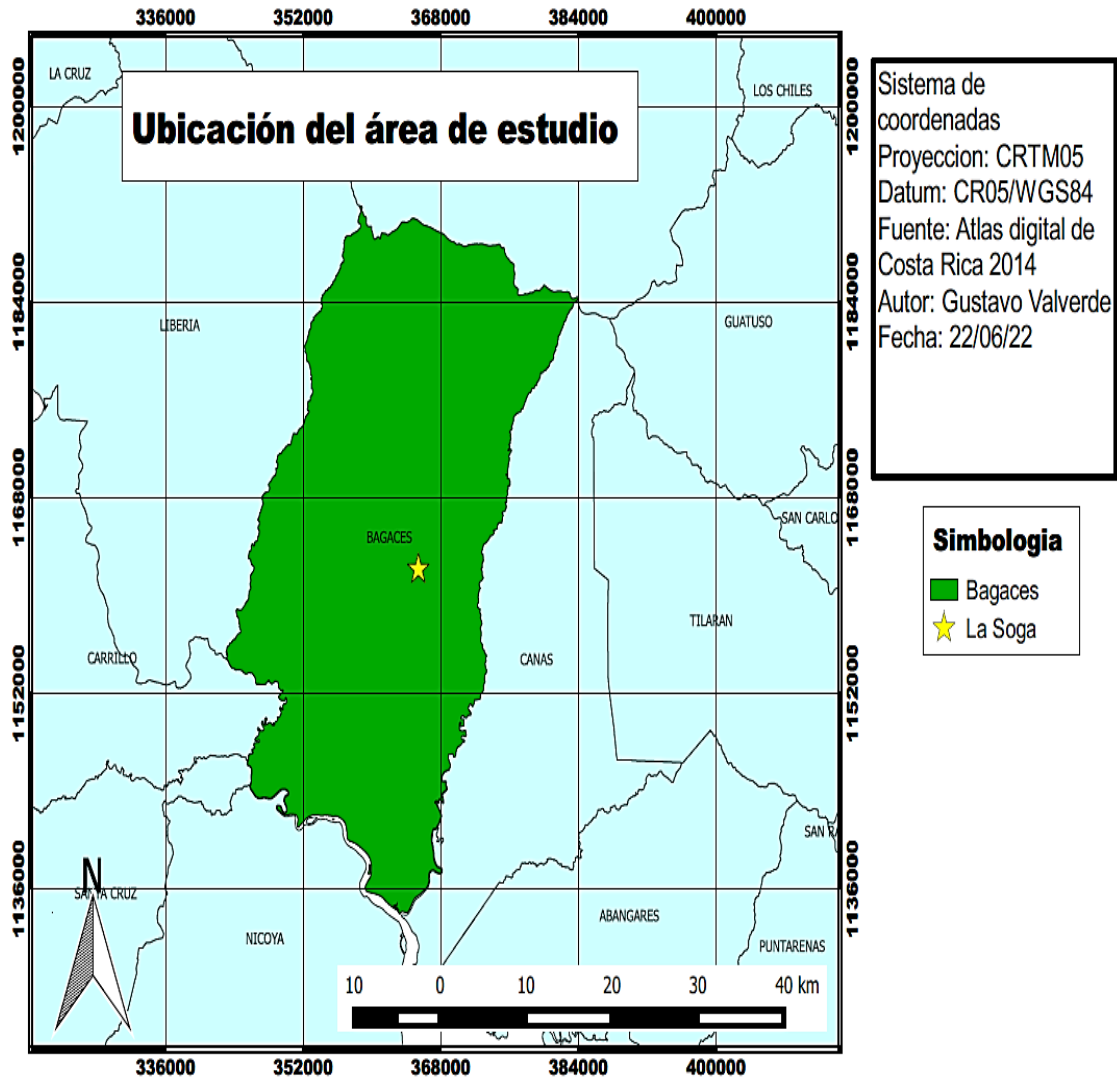
En el lugar se da una precipitación anual que va de los 1300 mm en las partes bajas y puede llegar hasta los 2500 mm en las partes altas, viéndose afectado por las características climáticas de la cordillera de Guanacaste. Esta precipitación se da de forma irregular, y es marcada por una estación seca que va de los meses de diciembre a abril en donde el promedio de lluvias es menor a los 50 mm, y una estación lluviosa entre los meses de mayo a noviembre con valores mayores a los 200 mm mensuales. Esto

dependerá de cuanto afecten las condiciones del “veranillo” y la canícula, puede tener más disminución de lluvias en años del fenómeno del niño (MAG, s.f).

La temperatura es bastante alta en verano, y en invierno la humedad relativa también es elevada. El promedio de la temperatura anual es de 27.9°C, pero con los efectos del cambio climático, en los últimos años ha llegado a alcanzar hasta los 36 °C, con una sensación térmica cercana a los 38 °C (MAG, s.f).

El área se encuentra dentro del distrito de Riego Arenal Tempisque, los habitantes se dedican principalmente a la agricultura y la ganadería y aprovechan la disponibilidad del agua, y en una menor parte al comercio. En el asentamiento se siembra arroz, caña de azúcar y pasto en gran parte del área. Existen grandes empresas en esta zona, como el Ingenio el Viejo y el Ingenio Taboga, que en conjunto con instituciones como el SENARA le dan asistencia al lugar en cuanto al mantenimiento de caminos, lo que favorece que se mantengan en buenas condiciones para el traslado de los productos. En una menor cantidad se dan cultivos como la sandía, algodón, y algunos frutales. Todos estos cultivos que se producen podrían verse beneficiados con el uso de la *Azolla* en un futuro.

Figura 1. Mapa del lugar de estudio



Nota: Tomado de QGIS 2.18 Las Palmas [software de sistema de información geográfica] basado en el Atlas, 2014.

1.3 Delimitación del problema

Desde hace muchas décadas en la agricultura se usan los paquetes de fertilización a base de fórmulas químicas para desarrollar la actividad, pero en los últimos años problemas globales como la guerra entre Rusia y Ucrania, y la inestabilidad del dólar aumentaron excesivamente el precio de estos productos, que afectan a los productores de arroz y generan un impacto negativo en el planeta. Al existir estos problemas económicos y ambientales que se enfrentan en la actualidad es importante determinar si ¿es posible reducir o eliminar por completo el uso de fertilizantes químicos y producir de una forma óptima con *Azolla*.?

A los problemas anteriores se le debe sumar uno aún más grave, y es que según él (Instituto Regional de Estudios en Sustancias Tóxicas [IRET], 2016), citado por (Mora, 2019), Costa Rica se ubica en el primer lugar a nivel mundial en el uso de productos químicos por hectárea en los cultivos, supera a países como China y Estados Unidos, los cuales usan entre un 7% y un 86% menos respectivamente. Es importante reducir el uso de estas sustancias y ajustarse a la imagen de país verde que se tiene a nivel mundial.

Para buscar una respuesta y solución a los enunciados anteriores se plantea el uso del helecho *Azolla* como una alternativa para disminuir el uso de fertilizantes químicos, al aplicarlo en forma de materia seca combinado con cuatro dosis de nitrógeno. El uso de la *Azolla* casi siempre se utiliza verde en los cultivos, pero únicamente se reproduce en lugares donde se puede mantener una lámina de agua permanente en el terreno.

Es importante recalcar que dentro de la Región Chorotega existen lugares que no tienen acceso al riego y en los cuales se siembra arroz tipo seco, el cual depende únicamente de las precipitaciones que se den durante el ciclo del cultivo. Al aplicar el helecho en forma seca, se puede abarcar los sectores del país que presentan esta problemática. Para ello se hará la investigación en una parcela del Asentamiento La Soga, Bagaces, Guanacaste, para determinar si el uso de esta alternativa produce un efecto positivo en los rendimientos del cultivo de arroz, y además reducir el impacto ambiental que producen las fórmulas químicas de fertilizantes. Se hará el estudio en los meses de setiembre a diciembre del año 2023, abarca una buena parte de los meses lluviosos en los que realizan la siembra los productores que no cuentan con riego.

1.4 Justificación

La presente investigación busca dar respuesta sobre la rentabilidad de la incorporación de *Azolla* dentro del cultivo del arroz, y compararse con la fertilización química tradicional. Ya que según S. Pasos (comunicación personal, 03 de junio, 2023), quien es productor de arroz de la zona de Bagaces, indica que el alto costo de los insumos para esta actividad lo ha llevado a tener que reducir las dosis de fertilizantes en el cultivo, comenta que en años anteriores aplicaba 180 kg de fertilizante por hectárea en cada aplicación, y actualmente para mantener sus costos tuvo que reducir estas dosis a la mitad, sin embargo, sus rendimientos finales se vieron afectados, y tiene un margen de ganancia aún menor.

Si bien es cierto el uso de abonos verdes es algo que se practica desde hace varios años, no se ha implementado en una totalidad de la producción, lo que plantea una posible desconfianza por parte de los productores de usar técnicas alternativas. Al obtener resultados confiables y científicamente probados, se busca dar un instrumento comparativo. Es necesario buscar una opción para sustituir el fertilizante químico, pero al final un impacto mayor y aún más importante sería brindar un producto más económico para los agricultores que viven condiciones difíciles por falta de recursos para desempeñar la actividad arrocera.

A medida que pasan los años los avances tecnológicos también traen beneficios para la agricultura, ayudan a mitigar el daño ambiental y da un uso eficiente de los recursos naturales, como lo ha hecho la implementación de drones en los campos y sistemas de riego completamente programables que disminuyen considerablemente el uso del agua en las aplicaciones. Y por qué no, incluir en este campo tecnológico el sembrar y cultivar su propia fuente de fertilización. Según S. Pasos (comunicación personal, 03 de junio, 2023) la compra de fertilizantes representa un rubro importante a lo largo del ciclo del arroz, indica que gran parte de sus ganancias las invierte en pagar deudas de insumos químicos adquiridos a casas comerciales.

1.5 Situación actual del conocimiento del tema

En la actualidad en Costa Rica el uso de fertilizantes verdes se caracteriza por el uso de leguminas, las cuales se aplican como cobertura vegetal del terreno en busca de la incorporación al suelo y que brinden un aporte de nitrógeno a los cultivos, elemento

esencial para el desarrollo de la planta. Según G. López (comunicación personal, 14 de julio, 2022) Conarroz realizó recientemente algunos usos de la *Azolla filiculoides* como abono verde en cultivo del arroz, aplican dosis de hasta 3t/a de *Azolla* fresca, la cual es reproducida en el terreno y posteriormente la dejan descomponerse para que se incorpore al terreno.

Es importante recordar y recalcar que en los últimos dos años el costo de los fertilizantes químicos ha tenido un aumento de precio bastante considerable, usar una alternativa más rentable se vuelve una necesidad aún mayor. En la última década el Dr. Mariano Montaña en conjunto con el Instituto de Ciencias Químicas y Ambientales de la Espol en Ecuador tienen estudios del uso de la *Azolla*, desde el 2012, desarrollaron proyectos de siembra del helecho para después utilizarlo como fertilizante en los cultivos. Sus pruebas de campo determinan que una hectárea tratada con un fertilizante común como la urea produce un promedio de 4 toneladas, pero con el *Azolla* se puede cosechar hasta 8 toneladas. (Federación Nacional de Arroceros [FEDEARROZ], 2012, párr.1)

La *Azolla* presenta características interesantes para el campo de la agricultura, tiene propiedades de purificación del agua y una investigación desarrollada en 2018 por el Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA) de Colombia determinó que la *Azolla* también funciona como un agente de control biológico efectivo de las arvenses en el cultivo de arroz, se demostró que suprime el crecimiento de arvenses hasta en un 80%, tanto en el trasplantado como en el de semilla directa. Se puede decir que es una alternativa que ayuda a reducir el uso de fertilizantes químicos y también de herbicidas (Luna, 2018).

El uso de la *Azolla* tiene estudios principalmente en el cultivo del arroz, pero también puede funcionar en otros cultivos como lo determina un estudio del 2019 por parte de la Universidad Nacional del Callao en Perú, investigaron la Potencialidad del helecho de *Azolla* como biofertilizante alternativo en el cultivo de cebada. Algo positivo fue el incremento del rendimiento en grano de plantas de cebada *Hordeum vulgare L.*, al aplicar *Azolla* como fertilizante. También pudieron determinar mediante un análisis foliar que el porcentaje de nitrógeno en 100 gramos de materia seca de *Azolla* es equivalente al 3.72%. Recomiendan utilizar este helecho en otros cultivos para probar su funcionalidad y además recalcan que todo el proceso de la elaboración del abono a base de *Azolla* es un beneficio a mediano y/o largo plazo, ya que los costos de producción en el año del estudio resultaron similares al abono químico, pero el costo de los abonos químicos prácticamente se triplicó en los últimos dos años, entendiéndose que este punto actualmente no es tan exacto (Mandujano, 2019).

En la mayoría de los estudios donde se utilizó *Azolla*, esta logró superar los resultados de los demás tratamientos, sin embargo, en la literatura también se registra la investigación de la Universidad Santa María la Antigua (USMA) en Panamá del 2022, realizaron una investigación cuyo objetivo principal fue establecer la capacidad de *Azolla pinnata* como sustituto de la fertilización nitrogenada amoniacal, sin reducción en el rendimiento de cosecha en el cultivo de arroz de subsistencia. En esta ocasión no obtuvieron diferencia significativa en los resultados obtenidos en cuanto a rendimiento de cosecha (González & Barahona, 2023).

Aunque en las investigaciones realizadas en Ecuador en los últimos 10 años han obtenido rendimientos que prácticamente doblan la producción del arroz con el uso de la *Azolla*, en la realizada en Panamá apenas se consiguió igualar el resultado de los demás tratamientos, lo que no deja de ser un resultado positivo, ya que evidencia que puede ser un sustituto de los productos químicos. Evidentemente existen muchas variables que pueden causar distintas conclusiones, una de ellas es que dichas investigaciones tienen prácticamente 10 años de diferencia en donde las condiciones a nivel mundial variaron mucho, por lo que actualizar constantemente el tema se vuelve importante para el campo de la agricultura.

1.6 Objetivos

1.6.1 Objetivo general

Evaluar la respuesta agronómica y financiera del cultivo de arroz (*Oryza sativa*) a la aplicación de *Azolla filiculoides*, con un ensayo de campo y análisis del costo beneficio, en busca de una alternativa de fertilizante nitrogenado para los agricultores de la Región Chorotega.

1.6.2 Objetivos específicos

Determinar el comportamiento de las fases fenológicas vegetativas del arroz (*Oryza sativa*), a través de mediciones biométricas, para la identificación de las características agronómicas.

Cuantificar la producción de arroz (*Oryza sativa*), mediante los datos de cantidad y calidad, para la determinación de los rendimientos productivos.

Realizar un estudio financiero, en base a un modelo costo-beneficio, para la comprobación de la rentabilidad económica.

Capítulo II Marco teórico referencial

2.1 Historia del arroz

El cultivo del arroz tiene como su lugar de origen las zonas bajas y altas del China, aunque también se tienen registros que pudo haber dado inicio en la India. Pero los principales datos plantean que hubo muchas rutas de propagación, de Asia hacia los demás continentes (Campo, 2013, citado por Junco, 2020). Se cree que se cultiva desde hace unos 10 mil años en las regiones húmedas de Asia, en donde se empezó a posicionarse como el alimento esencial para más de la mitad de la población del mundo, además es el segundo cultivo con más área cultivada en el planeta (Baraja, 2019, citado por Junco, 2020).

El género *Oryza* cuenta con 23 especies comprobadas, sin embargo, solo 2 de ellas son cultivadas, ya que todas las demás especies se consideran como silvestres. El *Oryza sativa* es el género más cultivado y el más conocido, el cual es de origen asiático y el segundo es el *Oryza glaberrima* originario de Nigeria, África. Se tienen 3 subespecies principales del género *Oryza*, las cuales son: Indica, Japónica y Javánica. En las regiones tropicales y subtropicales se siembra principalmente la especie Indica (Morgado, 2013, citado por Junco, 2020).

2.2 Importancia del arroz

El cultivo del arroz es de suma importancia tanto a nivel mundial como nacional, en Costa Rica forma parte importante en la dieta básica de la población, por esto se considera una prioridad para el país poder mantener la producción para tener un autoabastecimiento (Retana et al., 2014, citado por Vignola et al., 2018). Se tienen datos que el consumo per-cápita ronda los 48 kg de arroz al año, el 68% de este consumo se cubre con la producción nacional, así

que se tiene que importar el restante 32 % para poder cubrir la demanda del país (Corporación Arroceras Nacional [CONARROZ], 2014), citado por (Vignola et al., 2018).

Además, el cultivo del arroz es un aspecto importante en la agricultura del país, ya que el 43,9% del área sembrada con cultivos anuales es de arroz. Dan una fuente importante de empleo para las personas de las zonas rurales de Alajuela, Guanacaste y Puntarenas en donde se produce la actividad (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos [INEC], 2014) citado por (Vignola et al., 2018).

2.3 Etapas fenológicas del cultivo del arroz

El cultivo del arroz cuenta con tres fases importantes en su ciclo productivo, estas son: vegetativa, reproductiva y maduración. Además, estas fases de crecimiento se dividen en etapas fenológicas, las que establecen el estado de desarrollo de la planta. Las fases o etapas del arroz se pueden ver influenciadas por el clima y el manejo agronómico del cultivo.

En la fase vegetativa se encuentran las etapas fenológicas: germinación, plántula, macollamiento y elongación del tallo. Esta fase da inicio con la germinación de la semilla y culmina con la diferenciación del primordio floral. Es aquí donde se determina el número de macollas y posteriormente el número de panículas por unidad de área. Esta fase varía depende de la variedad establecida y de las condiciones del clima, pero normalmente tiene una duración de 35 a 50 días.

En la fase reproductiva se encuentran las etapas fenológicas: iniciación de primordio, embuchamiento, espigamiento y floración. En esta fase se desarrollan las espiguillas que

tendrá cada panícula, tarda entre los 30 y 35 días. Un aspecto importante es que esta fase solo se puede observar al abrir la planta para notar su desarrollo.

En la fase de maduración se encuentran las etapas fenológicas: etapa lechosa, etapa de maduración y senescencia, y termina cuando el grano alcanza su madurez completa. En esta fase las espiguillas se convierten en granos efectivos y se determina el peso individual de cada uno de ellos, es importante recalcar que no todas las espiguillas lograran ser granos efectivos. La duración de este proceso ronda entre los 30 y 45 días según sea la variedad y tiempo de siembra (Garcés & Medina, 2018).

2.4 Variedades

En Costa Rica se siembran muchas variedades de uso comercial, pero no todas se adaptan a las mismas condiciones edafológicas y climáticas, hay muchos factores más que afectan la producción entre un lugar y otro. Entre las principales variedades que se cultivan en el país están: Palmar 18, Puita INTA, CR4477, Nayudel FL, NayuribeB FL, Sierpe FL 250 y Lazarroz FL. Una de las más conocidas y cultivadas por los productores es la Palmar 18, sin embargo, en los últimos años la variedad Lazarroz FL se convirtió en una de las preferidas de los agricultores.

Lazarroz FL: Esta variedad tiene su origen del programa de mejoramiento del FLAR (Fondo Latinoamericano del arroz de Riego). Tiene un ciclo intermedio que dura entre los 110 y 115 días, con una altura de la planta que va de los 115 a 120 cm. Es una variedad que posee buena adaptabilidad haciéndola bastante tolerante a las plagas y enfermedades, además, se adapta al tipo de siembra ya sea bajo riego o seco. Posee un rendimiento alto, de un grano largo

con buena calidad culinaria que cumple con los requisitos del material más consumido en el país (Oficina Nacional de Semillas [ONS], 2015).

2.5 Requerimientos del cultivo del arroz

El cultivo del arroz tipo seco tiene requerimientos de suelos molisoles como suelos óptimos que ayudan a la retención de humedad en el terreno, también pueden funcionar suelos mollisoles/alfisoles, mollisoles/inceptisoles, alfisoles/inceptisoles, entisoles/inceptisoles, inceptisoles, inceptisoles/andisoles y vertisoles. Entre otros requerimientos se encuentra el pH que debe oscilar entre los rangos de $>5,5$ a 5 a 7 a 8 , la pendiente de los terrenos para que favorezcan la retención de las lluvias debe ser de $0-10\%$ y como máximo del 20% . Este cultivo se desarrolla en altitudes desde los 0 hasta los 200 msnm y como un máximo hasta los 500 msnm, es necesario que se cuente con una precipitación óptima de los 1500 a los 2500 mm. La temperatura ideal varía entre los 22 °C y hasta los 34 °C, un aspecto importante que ayuda al desarrollo de la planta es la radiación solar óptima >12 (MJ/m² día); media ≥ 10 a (Vignola et al., 2018).

2.6 Preparación del terreno para la siembra

El arroz puede se puede cultivar en dos formas de siembra, estas son seco e inundado. En el tipo seco se empieza con una pasada de rastra pesada o rompedora a una profundidad mayor de 20 cm, esto en busca de eliminar malezas y estimular la emergencia de los bancos de semillas de estas mismas malezas, para posteriormente ser controladas con el uso de herbicidas. Depende del estado del terreno se le debe aplicar una o dos pasadas de rastra, esto

para favorecer la disponibilidad de tierra suelta en donde la semilla pueda penetrar fácilmente y alcanzar una buena germinación (Guzmán, 2006).

Para cultivar arroz de tipo inundado se debe dar una nivelación previa en el terreno, además de la construcción de muros para poder mantener la lámina de agua. Esta lámina de agua será la que ayude al paso del tractor con llantas tipo fangueadoras, el paso de esta logra una incorporación total del suelo con los rastrojos presentes, aunque es una técnica poco amigable con el terreno ya que produce mucho lavado de la materia orgánica y nutrientes del suelo (Guzmán, 2006).

La siembra en tipo secano se puede realizar de distintas formas, el espeque se utilizó en los inicios de la actividad. Y actualmente el uso de maquinaria ayuda a facilitar esta actividad, con el tractor se puede sembrar por medio de voleo de la semilla, la cual requiere ser tapada posteriormente con un pase de rastra fina por encima del terreno sin profundizar mucho para no afectar la germinación de la planta. Además, existen sembradoras que se acoplan al tractor completamente diseñadas para la siembra del arroz, pero requieren de condiciones secas para su adecuada funcionalidad (Tinoco & Acuña, 2009).

Para la siembra de tipo inundado se usa la siembra directa de la semilla, esta puede ser seca o previamente germinada. Por las condiciones del terreno esta siembra normalmente se realiza con personas las cuales volean la semilla a mano o con una moto bomba. Y posteriormente el terreno debe drenar para que la semilla pueda germinar de la mejor forma (Tinoco & Acuña, 2009).

2.7 Principales plagas y enfermedades

Es importante darle un buen manejo agronómico al cultivo para evitar el daño causado por las plagas y enfermedades, es un problema presente siempre en los ciclos del cultivo. Es necesario realizar un programa de combate de plagas y enfermedades para determinar la cantidad y el daño causado y así proceder a su combate con aplicaciones preventivas.

Entre las principales plagas que afectan el cultivo del arroz están las siguientes:

- **Jobotos (*Phyllophaga spp*):** Aunque su daño se ha visto reducido por el control que se le ha dado, aun afecta al arroz durante todo su ciclo, pero principalmente en los meses de agosto a octubre. Se ve favorecido por las condiciones secas del pacifico norte y la región huetar norte, en donde las condiciones del terreno le ayudan para su reproducción y así afectar las raíces de las plantas.
- **Abejones negros (*Eutheola bidentata*):** Es una plaga que causa daño a las larva y adulto, los adultos perforan la planta a nivel de la corona de la raíz y las larvas consumen las raíces de las plantas. Esta plaga está presente principalmente en terrenos que fueron cultivados anteriormente de pasto.
- **Grillo topo (*Neocurtilla hexadactyla*):** Su daño principal lo produce en la raíz de la planta al alimentarse de ella, ataca principalmente antes del macollamiento. Posteriormente puede afectar toda la planta, normalmente su presencia aumenta en terrenos cercanos a los ríos.
- **Chinilla (*Blissus leucopterus*):** Esta es una plaga de suelo, allí viven las ninfas y los adultos, se ve beneficiada cuando se tienen pocas precipitaciones, lo que le permite

crear colonias dentro del terreno y extenderse a la totalidad del cultivo, se alimentan de la savia de la planta y causan marchitez y/o pérdida de vigor.

- **Barrenador de la caña (*Diatraea sp*) y Novia del arroz (*Rupella albinella*):** Estas dos plagas son conocidas como taladradores, las cuales afectan más al arroz tipo inundado. Las larvas de las dos especies pueden perforar los tallos para alimentarse de la savia, esto genera que se produzcan corazones muertos y/o panículas blancas en la planta. Si el ataque se da antes de los 50 días se puede controlar con solo estimular el macollamiento de la planta, después de este tiempo el control no llega a ser tan satisfactorio.
- **Pulguillas del arroz (*Chaetocnema sp*) (*Epitrix cucumeris*):** Estas dos especies son muy similares, los adultos de estas especies son de color negro brillante, se reproducen con mayor facilidad en condiciones seca y/o de poca precipitación. El mayor daño que causan se da durante los primeros 50 días, raspan el follaje de la planta y pueden causar la pérdida por completo de la plántula.
- **Gusano cogollero (*Spodoptera spp*):** Esta plaga ataca normalmente al menos una vez durante el ciclo del arroz, afecta mayormente durante los primeros 30 días, son larvas grandes con un color gris verdoso y poseen unas bandas laterales. El daño lo ocasiona al alimentarse de las hojas, causan grandes defoliaciones en las plantas que afectan la fotosíntesis y por ende afectan el crecimiento de estas.
- **Sogata (*Tagosodes oryzae*):** Este insecto es una plaga que afecta muy activamente a las variedades susceptibles, los adultos y las ninfas se alimentan de la savia de la planta, provoca reducción en el crecimiento y marchitamiento.

Normalmente el daño ocurre después de los 50 días, y una característica importante es que este insecto ayuda a propagar la enfermedad de la hoja blanca (VHB).

- **Chinches (*Oebalus insularis*):** Este insecto causa gran daño en el cultivo del arroz, los adultos se alimentan de los granos en desarrollo hasta que alcanzan el estado pastoso. Causan el manchado del grano y posteriormente afecta la calidad molinera. No siempre se presenta una población excesiva de este insecto, por lo que es recomendable hacer un muestreo constante.
- **Acaro del vaneo (*Steneotarsonemus spinki*):** Su lugar de habitad son las vainas de las hojas, en donde también se reproduce. Tiene un alto porcentaje de propagación, y afecta entre el inicio de la emergencia del primordio floral y el inicio de la formación de la panícula. En esta etapa afecta los granos del cultivo e impide el llenado del grano, y como resultado granos efectivos (Tinoco & Acuña, 2009).

Entre las principales enfermedades que afectan el cultivo del arroz están las siguientes:

- ***Pyricularia grisea Cav*:** Existen algunas variedades más resistentes a esta enfermedad, sin embargo, siempre presentan síntomas como pequeños puntos café poco definidos y algunas lesiones en forma romboidal en las hojas. Se ve favorecida cuando la humedad relativa es alta, y afecta las hojas entre los 10 y 20 días, los síntomas son visibles entre los 4 y 8 días después de la infección. En las condiciones de arroz tipo seco el daño puede ocurrir entre los 25 y 30 días. Este hongo también puede afectar la base de la panícula, tornándola de un color café y la vuelve más frágil, incluso al punto de quiebre.

- **Virus de la hoja blanca:** Presenta los síntomas más visibles después de los 40 días, en variedades con un ciclo intermedio. Produce rayas blancas de diferentes grados de tonalidad en la hoja, y puede provocar puntos blancos y amarillos que en casos graves blanquea totalmente la lámina de la hoja y la marchita. Existen algunas arvenses como la *Echinochloa* y *Digitaria sp* que son hospederas de este virus, por lo que es importante eliminarlas del terreno en donde se cultive el arroz.
- **Añublo de la vaina del arroz (*Rhizoctonia solani*):** Esta enfermedad ha aumentado en los últimos años, y su daño también incrementó en los cultivos. Este hongo causa lesiones en la parte inferior de las hojas, específicamente en las vainas foliares. Las lesiones que provoca son manchas de color paja que toman una forma alargada y elíptica. El periodo de afectación normalmente es entre los 40 y 50 días.
- **Manchado del grano de arroz:** Esto se produce por la interacción de varios patógenos al mismo tiempo y que afectan directamente al grano. Es recomendable aplicar fungicidas de manera preventiva cuando da inicio la floración, y si el daño es muy severo es necesario aplicar otra dosis a los 10 días después (Tinoco & Acuña, 2009).

2.8 El nitrógeno en el cultivo del arroz

La mayoría de los suelos en la actualidad son deficientes de nitrógeno, por lo que la incorporación de este elemento se vuelve fundamental para que el desarrollo del cultivo sea el adecuado. Este elemento es de mucha importancia ya que ayuda en el crecimiento de las

plantas, en la cantidad de macollos, en el tamaño de las hojas y brinda mayor contenido de proteínas en los granos (Espinoza, 2015, citado por Armijos, 2021).

Cuando existe deficiencia de nitrógeno en las plantas se presentan síntomas muy evidentes de la necesidad de este elemento, uno de estos síntomas es el tamaño de las hojas que en la mayoría de los casos se quedan más pequeñas, por lo que se altera el proceso de fotosíntesis de la planta y por consiguiente afecta el crecimiento del cultivo (Barzola, 2016, citado por Armijos, 2021).

Otro efecto de la deficiencia de este elemento se presenta en la coloración de las hojas, toman un color verde claro e incluso llegan al amarillamiento, afecta el macollamiento y posteriormente esto se traduce en bajos niveles de producción y pérdidas para el agricultor, por lo que es necesario aplicar las cantidades adecuadas y en un tiempo justo, ya que el exceso de este elemento también puede traer consecuencias para la planta (Escobar, 2015, citado por Armijos, 2021).

2.9 Cosecha del arroz

Es importante que la cosecha se realice en el momento oportuno para obtener una buena calidad del grano que se ajuste para las exigencias del mercado, para la determinación del momento de la cosecha depende de la variedad y cuanto dure su ciclo. Además, es importante revisar los granos para verificar que su madurez es la ideal, ya que no es recomendable esperar que la planta se torne de color café, porque algunas variedades pueden verse de color verde y ya estar listas para ser cosechadas (Tinoco & Acuña, 2009).

Lo recomendable es que la cosecha se inicie a mediados de la mañana para esperar que el rocío que se encuentra sobre las plantas se seque por completo, y así evitar pérdidas de granos al quedarse pegados en los elevadores de las cosechadoras. El rango óptimo de humedad debe estar entre los 18 y 22 %, para evitar que los granos cultivados no germinen tiempo después en el transporte y puedan llegar sin algún tipo de fermentación a la planta procesadora (Tinoco & Acuña, 2009).

El tipo de maquinaria a utilizar depende del tiempo de la cosecha y de las condiciones del terreno, normalmente en verano se utilizan cosechadoras con llantas las cuales hacen la labor más rápido, pero en invierno se dificulta el uso de llantas por lo que se debe de cambiar estas por orugas para poder realizar la cosecha y no perder el cultivo (Tinoco & Acuña, 2009).

2.10 Abonos verdes

Los abonos verdes normalmente son plantas que se utilizan como cobertura del terreno, pueden ser restos de plantas cultivadas específicamente para este fin o restos de plantas que queden de cosechas anteriores. La finalidad de esta técnica es aportar nutrientes al suelo y mejorar la estructura de este. Normalmente se utiliza un método de rotación del cultivo con la planta usada como abono verde, pero también pueden utilizar en asociación con los cultivos e incluso usarse como una alternativa para combatir la erosión. Las leguminosas han sido las plantas principalmente utilizadas para este fin de conservar y ayudar en la fertilidad del suelo, esta práctica es aún más importante en zonas áridas donde normalmente hay poca materia orgánica y bajos niveles de nutrientes importantes para el

desarrollo de la planta como lo es el nitrógeno (Sing et al., 2010, citado por García et al., 2010).

2.11 *Azolla filiculoides*

Es un helecho tipo semi acuático, que presenta una característica simbiótica con la bacteria *Anabaena azollae*, la cual le brinda sustento por parte del nitrógeno que capta y la planta funciona como un hospedero, y así se obtiene un sinergismo entre ambos. Este helecho tiene una alta propagación, lo hace en forma de esporas y por medio de fragmentación de sus partes al rozar entre ellas mismas. Esta característica la hace altamente adaptable en las condiciones que se encuentre, evidentemente necesita agua para poder reproducirse. Debido a esta alta tasa de reproducción en muchos países ha sido considerada como un problema ya que también puede provocar obstrucciones (Carrapico et al., 2010).

En el cultivo del arroz le toma alrededor de 15 días para cubrir y empezar a fertilizar la totalidad de una hectárea, esto con solo aplicarla en 200 m², además ayuda a proteger el suelo, purifica el agua del cultivo y reduce el impacto ambiental. Es una alternativa que puede ser utilizada en todos los cultivos sin presentar efectos secundarios, y también funcionar como alimento para algunos animales. Incluso en su estado de materia seca posee un 7% de nitrógeno, lo cual ayuda a mejorar la fertilidad del suelo con su descomposición e incorporación (Agrytec, 2011, citado por Delgado & Zorrilla, 2017).

En países de Asia se utiliza hace cientos de años como fertilizante de arroz tipo inundado, se tiene conocimiento que puede llegar a fijar 500 kg/N/ha al año, esto como un dato mínimo.

Incluso puede llegar a superar los 1000 kg/N/ha al año, depende del manejo y las condiciones (Montaño, 2005).

2.12 Análisis financiero (costo-beneficio)

El análisis de costo-beneficio es una herramienta que permite evaluar proyectos establece una relación entre los costos totales con los beneficios que se van a obtener, para poder tomar una decisión de seguir o desechar un proyecto. Este tipo de análisis busca un punto de equilibrio que permita que los beneficios obtenidos superen a los gastos en los que se incurre, para llegar a este punto en algunos casos se requiere de un tiempo mayor. También es importante considerar este tiempo de retorno, si es muy elevado puede llegar a afectar el proyecto y dejar de ser rentable o que no se puedan cubrir el total de los gastos antes de empezar a recuperar la inversión (Cervone, 2010, citado por Lara & Franco, 2017).

Capítulo III Marco metodológico

3.1 Paradigma

El paradigma positivista abarca aspectos como el cuantitativo, racionalista, sistemático gerencial, científico tecnológico, empírico y analítico. Estas características darán apoyo a investigaciones que busquen comprobar una hipótesis a través de medios estadísticos y establecer los parámetros de una variable en base a una expresión numérica (Ricoy, 2006, citado por Ramos, 2015).

Esta investigación se define como positivista, porque se parte de un sistema hipotético que busca determinar si la incorporación de *Azolla filiculoides* ayuda a reducir el uso de nitrógeno químico en el cultivo del arroz, los resultados obtenidos en el ensayo de campo serán procesados y comparados con datos de otras publicaciones que ayuden en la interpretación.

3.2 Enfoque y tipo de investigación

El enfoque cuantitativo se utiliza cuando se recopila información que ayude a probar las hipótesis, con la ayuda de técnicas estadísticas basadas en la medición numérica. Esto ayuda a describir patrones de comportamiento y analizar fundamentos teóricos que explican estos patrones (Hernández et al., 2010, citado por Ramos, 2015).

Esta investigación establece el enfoque cuantitativo porque se van a recopilar datos de campo de variables biométricas de la planta y resultados finales de rendimiento y calidad de la producción, y es de tipo experimental al analizar estos aspectos. Con la ayuda del software

estadístico (Infostat) los números serán analizados para determinar si existe diferencia significativa y aceptar o rechazar la hipótesis planteada.

3.3 Hipótesis

Ho: Con la aplicación de *Azolla filiculoides* en el cultivo de arroz, no se bajan los costos de producción, pero se mejora el rendimiento.

Ha: Con la aplicación de *Azolla filiculoides* en el cultivo de arroz, se bajan los costos de producción, y el rendimiento es igual o mayor al testigo.

3.4 Variables del análisis

Tabla 1. Matriz operacional

Objetivo específico	Variable	Conceptual	Operacional	Instrumental
Determinar el comportamiento de las fases fenológicas vegetativas del arroz (<i>Oryza sativa</i>), a través de mediciones biométricas, para la identificación de las características agronómicas.	Macollamiento	Cantidad de hijos por planta	Se realiza un conteo de la cantidad de hijos reproducidos por planta, a los 22 y 30 días después de la siembra, una vez que estén desarrollados.	Contador digital, libreta, bolígrafo

Determinar el comportamiento de las fases fenológicas vegetativas del arroz (<i>Oryza sativa</i>), a través de mediciones biométricas, para la identificación de las características agronómicas.	Contenido de clorofila en la hoja	Cantidad del pigmento verde capaz de absorber la energía lumínica y transformarla en energía química a través de la fotosíntesis	Se utiliza un instrumento tecnológico con la capacidad de medir cuantitativamente la intensidad de verde de la hoja al colocarlo sobre ella. Las mediciones se harán una semana antes y una semana después de la aplicación de fertilizante.	Medidor de clorofila SPAD-502, libreta, bolígrafo
Determinar el comportamiento de las fases fenológicas vegetativas del arroz (<i>Oryza sativa</i>), a través de mediciones biométricas, para la identificación de las características agronómicas.	Longitud de la hoja	Largo de la lámina de la hoja bandera	Se mide la longitud de la hoja desde el ápice hasta el extremo en donde se une al tallo. Las mediciones se harán una semana antes y una semana después de la aplicación de fertilizante.	Cinta métrica, libreta, bolígrafo
Determinar el comportamiento de las fases fenológicas vegetativas del arroz (<i>Oryza sativa</i>), a través de mediciones biométricas, para la identificación de las características agronómicas.	Altura de la planta	Es la distancia desde la base del tallo, hasta el ápice de la hoja más alta	se mide desde la base de la planta hasta la parte superior de la hoja más alta. Las mediciones se harán una semana antes y una semana después de la aplicación de fertilizante.	Cinta métrica, libreta, bolígrafo

Determinar el comportamiento de las fases fenológicas vegetativas del arroz (<i>Oryza sativa</i>), a través de mediciones biométricas, para la identificación de las características agronómicas.	Longitud de la espiga	Es la distancia desde la base de la espiga hasta su ápice	Se cortan las espigas de la planta para realizar una medición más sencilla, y medir la longitud de extremo a extremo de la espiga. Las mediciones serán a los 90, 100 y 110 días después de la siembra.	Cuchilla, libreta, cinta métrica, bolígrafo
Cuantificar la producción de arroz (<i>Oryza sativa</i>), mediante los datos de cantidad y calidad, para la determinación de los rendimientos productivos.	Calidad del grano	Es la calidad final del grano después de su cosecha	Se llevan las muestras al laboratorio del INTA, para determinar la calidad molinera en aspectos como: grano entero, grano quebrado, grano manchado. Será a los 110 días, cuando se cosechen las plantas.	Cuchilla, libreta, bolsas, cinta para etiquetar, bolígrafo
Cuantificar la producción de arroz (<i>Oryza sativa</i>), mediante los datos de cantidad y calidad, para la determinación de los rendimientos productivos.	Rendimiento final	Rendimiento total de la producción de las plantas	Se realiza la cosecha total de cada tratamiento, para darle el proceso de secado y posteriormente realizar un pesaje final, y determinar cual tiene mejor rendimiento.	Balanza digital, libreta, cuchilla, bolígrafo, bolsas, cinta para etiquetar

Realizar un estudio financiero, en base a un modelo costo-beneficio, para la comprobación de la rentabilidad económica.	<p>Relación Costo beneficio</p> <p>$B/C = \frac{VAI}{VAC}$</p> <p>VAI: Valor actual de los ingresos totales netos</p> <p>VAC: Valor actual de los costos totales netos</p>	Es un modelo que analiza la relación entre los costos finales y los beneficios de aplicar determinados productos	Se realiza el estudio de los gastos totales de cada una de las fertilizaciones y se relaciona con las producciones finales, para determinar cuál es la más rentable.	Libreta con los apuntes realizados, computadora para el análisis
---	---	--	--	--

3.5 Modelo estadístico

Para esta investigación se van a utilizar 6 tratamientos con 3 repeticiones, según (López & González, 2016, p. 77) el modelo estadístico para el diseño experimental de bloques completos al azar es el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij} \quad \begin{array}{l} i = 1, 2, 3, \dots, t \\ j = 1, 2, 3, \dots, r \end{array}$$

Donde:

Y_{ij} = variable de respuesta observada o medida en el i-ésimo tratamiento y el j-ésimo bloque.

μ = media general de la variable de respuesta.

τ_i = efecto del i-ésimo tratamiento.

β_j = efecto del j-ésimo bloque.

ε_{ij} = error asociado a la ij-ésima unidad experimental.

3.6 Instrumentos de validación

Para validar los resultados se realizará un análisis estadístico de varianza por medio del software estadístico Infostat (versión estudiantil), con una confianza del 95%, y un nivel de significación $p \leq 0,05$, para que el modelo y los parámetros sean estadísticamente significativos. Además, se realizará la Correlación Pearson para determinar el porcentaje de influencia que existe entre las variables de altura de planta, longitud de la hoja y el % de clorofila (NDVI).

También se crearán gráficos de la calidad del grano una vez hecho los análisis de laboratorio para interpretar cual tratamiento obtuvo mejores resultados en cuanto a la calidad de la producción.

3.7 Descripción de tratamientos

Tabla 2. Descripción de los tratamientos

Tratamiento	Descripción	Dosis de N/ha	Dosis de P₂O₅/ha	Dosis de K₂O/ha	Dosis de Azolla/ha
1 (testigo)	100% N + 100% P ₂ O ₅ + 100% K ₂ O	183,6 kg	54 kg	112 kg	0
2	100% N + 100% P ₂ O ₅ + 100% K ₂ O + 100% Azolla	183,6 kg	54 kg	112 kg	3 t

3	75% N + 100% P ₂ O ₅ + 100% K ₂ O + 100% <i>Azolla</i>	137,7 kg	54 kg	112 kg	3 t
4	50 % N + 100% P ₂ O ₅ + 100% K ₂ O + 100% <i>Azolla</i>	91,8 kg	54 kg	112 kg	3 t
5	25% N + 100% P ₂ O ₅ + 100% K ₂ O + 100% <i>Azolla</i>	45,9 kg	54 kg	112 kg	3 t
6	0% N+ 100% P ₂ O ₅ + 100% K ₂ O + 100% <i>Azolla</i>	0 kg	54 kg	112 kg	3 t

Las dosis de cada elemento representan el total por hectárea en todo el ciclo del cultivo, basándose en la cantidad aplicada por los arroceros de la zona. En el caso de la *Azolla* la dosis se ajusta a investigaciones por parte de Conarroz, en donde usaron esas cantidades en forma de cobertura verde. Y será la referencia para esta investigación ya que no se cuenta con datos de dosis aplicadas en forma de *Azolla* seca.

3.8 Preparación del terreno

Antes de iniciar la preparación mecanizada, se va a aplicar herbicida para el agotamiento de las arvenses dentro del terreno, esta aplicación se dejará actuar por 8 días para que haga mayor efecto. Transcurrido este tiempo se procederá a realizar dos pases de rastra, para romper y afinar el suelo. Finalmente se delimitarán las unidades experimentales con las

dimensiones establecidas y con ayuda de estacas y mecate, para que sean más fácil de distinguir.

3.9 Siembra

Se va a utilizar la variedad Lazarroz, una de las más cultivadas en la zona de Guanacaste. Con el método de cultivo en seco. Al ser un área pequeña será sembrada de forma manual, se distribuye la semilla al voleo y posteriormente se tapará con ayuda de una herramienta tipo rastrillo pasándolo por encima sin profundizar mucho, solamente para evitar que los pájaros se coman los granos de arroz. Normalmente utilizan 3 sacos de semilla por hectárea (138 kg), lo que determina 13,8 gramos por m², para un total de 31,05 gramos de semilla en cada unidad experimental.

3.10 Riego

Para efectos de este trabajo la parcela de investigación cuenta con disponibilidad de riego, por si se presenta una sequía muy prolongada debido al fenómeno del niño que afecta al país este año. Dicho riego se aplicaría solo en un caso extremo que llegue a superar los 7 días sin lluvias, y los riegos serían de tipo moje rápido, sin dejar que se forme lámina de agua. Dado que el arroz tipo seco depende de las precipitaciones que pueden ser muy variables, no se hará un cálculo para la aplicación de dichos riegos, solo se aplicarán mojes por igual a todas las unidades experimentales, para evitar que el cultivo muera o se vea afectado antes de concluir la investigación

3.11 Manejo agronómico del cultivo del arroz

Las dosis para aplicar de los productos químicos insecticida, fungicida, bactericida, herbicida y coadyuvante, se determinarán dependiendo de la afectación que se tenga por parte de plagas y enfermedades. Sin embargo, se manejarán aplicaciones de forma preventiva, los productos a aplicar se detallan a continuación:

Tabla 3. Días después de la siembra que se aplicó fertilizantes químicos

Días de aplicación	Aplicaciones de fertilizantes
10 DDS	10-30-10 (180 kg/ha)
22 DDS	46-0-0 (180 kg/ha)
40 DDS	26-0-26 (180 kg/ha)
60 DDS	26-0-26 (180 kg/ha)

DDG= días después de siembra

Las fórmulas de fertilizantes anteriores corresponden al manejo habitual del cultivo del arroz, y serían las utilizadas en los tratamientos que incluyen el 100 % del nitrógeno, para los restantes tratamientos se les hace el ajuste de la dosis.

Tabla 4. Aplicación de productos químicos

Días de aplicación	Aplicaciones de productos químicos
Siembra	Aplicación de herbicida antes de siembra
10 DDS	Aplicación de insecticida

22 DDS	Aplicación de herbicida e insecticida
40 DDS	Aplicación de insecticida, fungicida, bactericida con coadyuvante
60 DDS	Aplicación de insecticida, fungicida, bactericida con coadyuvante
70 DDS	Aplicación de insecticida, fungicida, bactericida con coadyuvante
90 DDS	Aplicación para proteger la espiga con insecticida, fungicida, bactericida con coadyuvante

DDS= días después de siembra

3. 12 Elaboración del fertilizante a partir de *Azolla filiculoides*

La recolección del helecho se hará 15 días antes de la preparación del terreno. Dado que se encuentra disponible en los canales de riego, de ahí se recolectarán 10 kilogramos del helecho para ponerlo a reproducir en un estanque artificial, y en el cual se va a mantener su desarrollo durante todo el estudio, para utilizar las cantidades que se necesiten. Posteriormente se le aplicará un proceso de secado, se realiza de forma natural al exponerlo al sol en una bandeja en un lapso de 2 a 3 días hasta que esté completamente deshidratado,

seguidamente se tritura con un molino manual para darle un aspecto más fino y fácil de distribuir en el terreno.

3.13 Aplicación de la *Azolla filiculoides*

Después de la elaboración del fertilizante a base de *Azolla*, será utilizado en el cultivo del arroz en aplicaciones distribuidas de la siguiente manera:

Tabla 5. Días después de la siembra que se aplicó *Azolla*

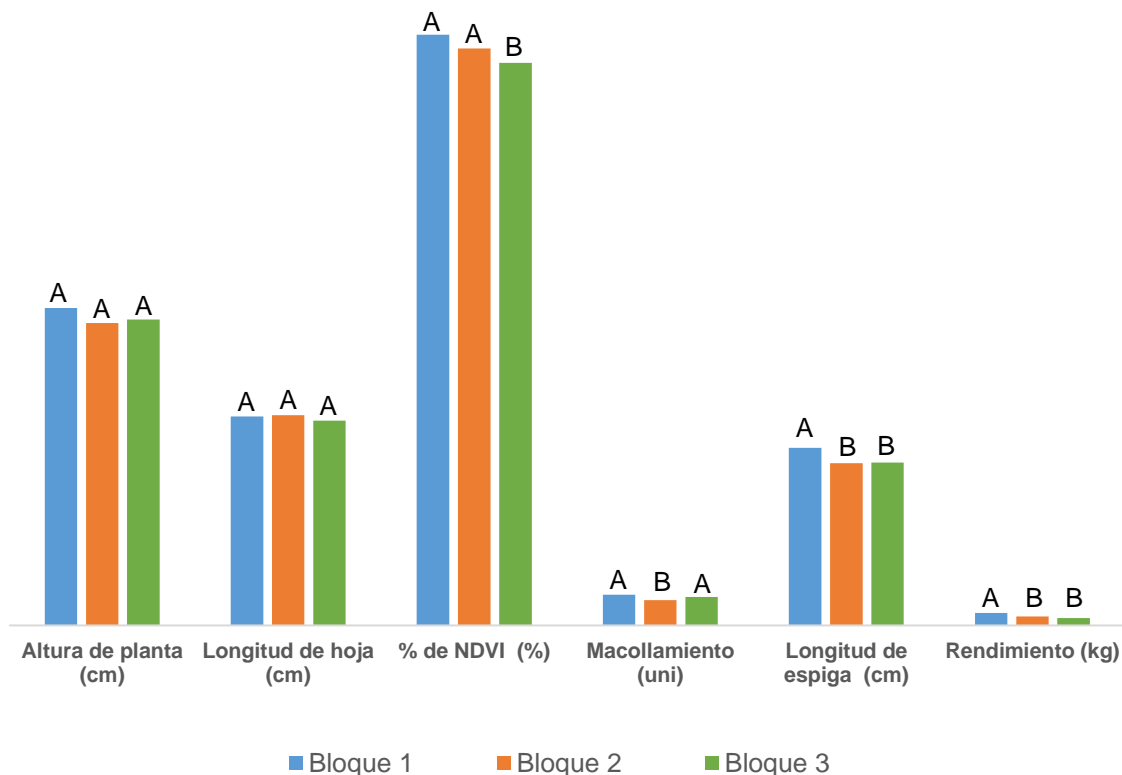
Días de aplicación	Cantidad de <i>Azolla</i>
10 DDS	750 kg/ha
22 DDS	750 kg/ha
40 DDS	750 kg/ha
60 DDS	750 kg/ha

DDS= días después de siembra

La toma de datos se hará una semana antes y una semana después de estas aplicaciones, para posteriormente correlacionar alguna influencia en las plantas de arroz.

Capítulo IV. Presentación y análisis de resultados

Figura 2. Comparación de resultados del ANDEVA entre bloques



Como se observa en la figura 2 los resultados obtenidos entre los bloques se comportaron de una forma muy similar. El bloque 1 tuvo los mejores resultados en las variables de altura de planta con 45,44 cm, % de NDVI con 84,56%, macollamiento con 4,42 unidades, longitud de la espiga con 25,42 cm y rendimiento con 1,78 kg. Únicamente fue superado por el bloque 2 en la variable de longitud de la hoja, en cual obtuvo 30,11 cm, sin embargo, en esta variable no mostraron diferencia significativa. A pesar de que no se establecieron condiciones distintas entre los bloques, el bloque 2 y 3 presentaban un grado mayor de pedregosidad en el suelo, que pudo retrasar la incorporación de los fertilizantes.

Tabla 6. Comparación de resultados del ANDEVA entre tratamientos

TRATAMIENTO	ALTURA PLANTA (cm)	LONGITUD HOJA (cm)	NDVI (%)	MACOLLAMIENTO (Unid)	LONGITUD ESPIGA (cm)	RENDIMIENTO (kg)
100% N + 100% P ₂ O ₅ + 100% K ₂ O	44,89 A	31,00 A	83,78 A	3,75 A	24,67 A	1,27 A
100% N + 100% P ₂ O ₅ + 100% K ₂ O + <i>Azolla filiculoides</i>	47,17 A	32,44 A	84,89 A	4,00 A	24,83 A	1,50 A
75% N + 100% P ₂ O ₅ + 100% K ₂ O + <i>Azolla filiculoides</i>	46,78 A	29,50 A	82,78 A	4,50 A	24,67 A	1,23 A
50 % N + 100% P ₂ O ₅ + 100% K ₂ O + <i>Azolla filiculoides</i>	45,39 A	29,83 A	83,22 A	3,83 A	24,17 A	1,60 A
25% N + 100% P ₂ O ₅ + 100% K ₂ O + <i>Azolla filiculoides</i>	41,44 B	28,83 A	83,17 A	4,33 A	23,67 A	1,37 A
0% N+ 100% P ₂ O ₅ + 100% K ₂ O + <i>Azolla filiculoides</i>	39,33 B	27,11 A	77,61 B	3,83 A	22,00 A	1,30 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Al analizar los resultados se evidencia la poca diferencia significativa entre los tratamientos, esto se puede atribuir al efecto positivo de la *Azolla*. También se observa que el tratamiento 2 (100% N + *Azolla*) fue el que obtuvo valores más altos en las variables vegetativas altura de planta, longitud de hoja, longitud de la espiga y % de NDVI (tabla 6). A pesar de lograr los mejores resultados en las variables anteriores, esto no le aseguró tener el mejor rendimiento. Ya que se vio afectado por las altas concentraciones de nitrógeno, las cuales alargan el ciclo vegetativo y por ende afecta y/o retrasa el proceso de maduración del grano (Perdomo y Barbazán s.f, citado por Zamora & Diaz, 2022).

La mayor altura de planta la obtuvo el tratamiento 2 (100% N + *Azolla*) con 47,17 cm y mostró diferencia significativa con los tratamientos 5 (25% N + *Azolla*) con 41,44 cm y 6 (0% N + *Azolla*) con 39,33 cm (tabla 6). Lo que coincide con un estudio realizado por Castillo & Silva (2020), de la eficiencia de uso y respuesta en rendimiento a diferentes dosis de N del cultivar de arroz, en donde los resultados fueron que las mayores alturas de las plantas de arroz correspondieron a las dosis más altas de nitrógeno (100 y 150 kg/N), y por otra parte dosis menores (0 kg/N) determinaron alturas menores.

El tratamiento con mayor longitud de la hoja fue el 2 (100% N + *Azolla*) con 32,44 cm (tabla 6), y concuerda con el resultado anterior donde también logró la altura de planta más alta. A pesar de ser el tratamiento con mayor cantidad de nitrógeno aplicado, no se presentó diferencia significativa entre tratamientos para esta variable.

En la variable de porcentaje NDVI en la planta el tratamiento 2 (100% N + *Azolla*) fue el que alcanzó valores más altos con 84,89% y mostró diferencia significativa únicamente con el tratamiento 6 (0% N + *Azolla*) con 77,61% (tabla 6), este resultado se puede deber a que el aporte de nitrógeno por parte de la *Azolla* toma más tiempo por su proceso de descomposición e incorporación al suelo. Nuevamente coincide con la investigación de Castillo & Silva (2020), donde el valor más alto de NDVI fue en su tratamiento con dosis más alta de nitrógeno, sin diferencia significativa con los tratamientos intermedios, y únicamente diferencia significativa con el tratamiento de 0% nitrógeno.

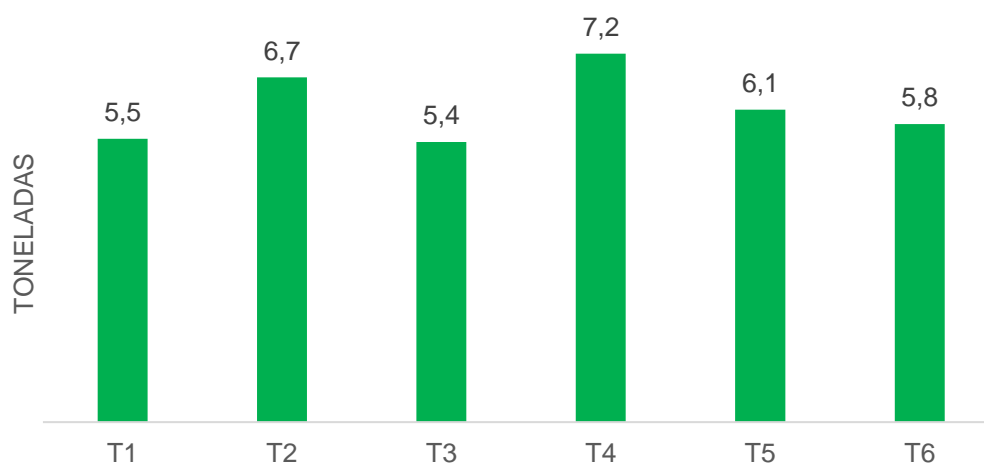
El tratamiento con la mayor cantidad de hijos por planta fue el 3 (75% N + *Azolla*) con 4,50 unidades (tabla 6), sin presentar diferencia significativa con los demás tratamientos.

Estos resultados son muy similares a los de la investigación de Zamora & Diaz (2022) en la Evaluación de cuatros niveles de nitrógeno y tres dosis de siembra en arroz (*Oryza sativa L.*), en donde no obtuvieron diferencia significativa para la variable de macollamiento, al aplicar diferentes dosis de nitrógeno por hectárea (0 kg, 120 kg, 150 kg, 180 kg), además mencionan que esta variable no solo depende de la aplicación de nitrógeno, sino que también está fuertemente influenciada por factores genéticos de las variedades (Paredes, 1992, Citado por Zamora & Diaz, 2022).

En la variable longitud de la espiga el tratamiento 2 (100% N + *Azolla*) fue el que obtuvo mejores resultados con 24,83 cm (tabla 6), pero no hubo diferencia significativa con los demás tratamientos. Lo que puede estar influenciado con que el efecto del nitrógeno en la panícula está más relacionado con la cantidad de espigas que con su tamaño (como se cita en Zamora & Diaz, 2022). En dicha investigación tampoco tuvieron diferencia significativa para esta variable al aplicar diferentes dosis de nitrógeno.

El rendimiento más alto lo obtuvo el tratamiento 4 (50% N + *Azolla*) con 1,60 kg (tabla 6), sin embargo, no hubo diferencia significativa con los demás tratamientos. Pero se demuestra que el cultivo con la mitad del fertilizante químico puede tener un buen rendimiento en combinación con *Azolla*. El resultado obtenido para esta variable concuerda con los datos de González & Barahona (2022), en su estudio *Azolla sp.* como sustituto de fertilizantes nitrogenados en el cultivo de arroz de subsistencia. En el cual no obtuvieron diferencias significativas entre sus tratamientos para la variable de rendimiento de cosecha, pero el tratamiento 5 (25% Urea – 75% *Azolla*) con uno de los porcentajes más bajos de nitrógeno químico fue el que logró el mejor rendimiento.

Figura 3. Cálculo de la producción de arroz por ha



Al analizar los datos obtenidos de la producción de arroz en esta investigación (tabla 9), se puede calcular que el tratamiento 4 (50% N + *Azolla*) alcanza las 7,2 t/ha (figura 3). Según Conarroz (2022), la variedad Lazarroz puede alcanzar entre 8-9 t/ha, claramente para llegar a estos promedios se deben tomar en cuenta muchos factores como suelo, clima, manejo agronómico, entre otros.

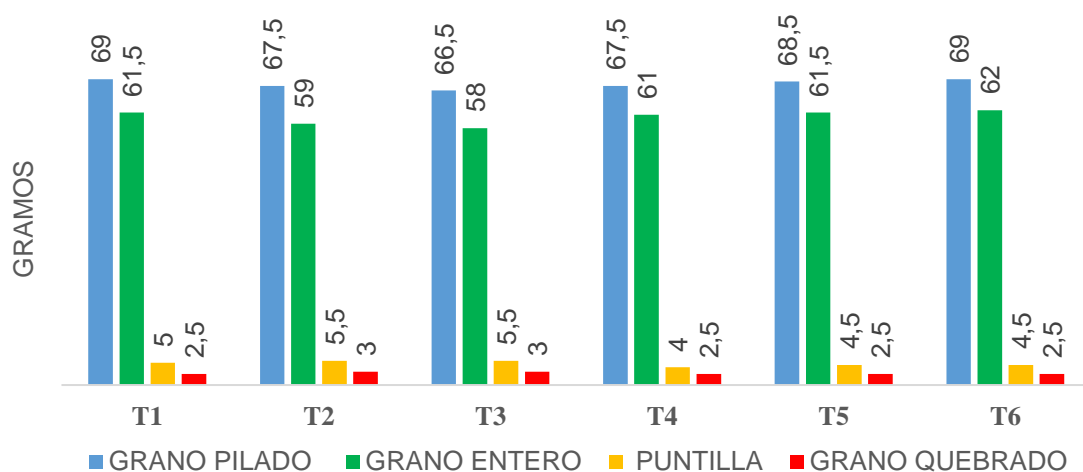
Tabla 7. Coeficiente de correlación Pearson para altura de planta, longitud de hoja y % de NDVI

Variable	Correlación
Altura de planta – Longitud de la hoja	86%
Altura de planta – % Clorofila (NDVI)	77%
Longitud de la hoja – % Clorofila (NDVI)	78%

Al analizar estas variables con la correlación Pearson se puede concluir que:

- La altura de la planta - longitud de la hoja, tienen una correlación del 86% (tabla 7). Lo cual demuestra que la longitud de la hoja está influenciada por la altura de la planta, ya que, entre mayor altura, mayor longitud de hoja se alcanzará.
- Altura de la planta - % de clorofila (NDVI), tienen una correlación del 77% (tabla 7). Esto indica que, al aumentar la altura de la planta se obtiene un % de clorofila (NDVI) mayor, claramente depende de que el desarrollo del follaje sea el ideal sin afectaciones por fertilización, riego, plagas o enfermedades.
- Longitud de la hoja - % Clorofila (NDVI), tienen una correlación del 78% (tabla 7). Evidencia que, al tener más longitud de hoja, se obtiene mayor lamina foliar dándole mejor capacidad fotosintética a la planta.

Figura 4. Análisis de la calidad del grano realizado a muestras de 100 gramos de arroz

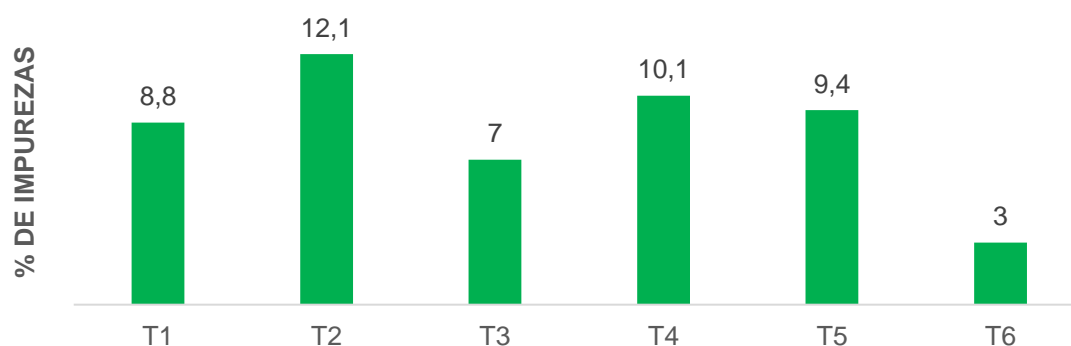


Los resultados de los análisis de la calidad del grano fueron muy similares, dado que se aplicó el fosforo y el potasio en partes iguales para todos los tratamientos, y solamente el nitrógeno estuvo regulado en diferentes dosis, pero el nitrógeno es más efectivo para alcanzar mayor cantidad de espigas y no para aumentar el tamaño de esta, ni para mejorar la calidad del grano (Zamora & Diaz, 2022). Uno de los parámetros más importantes para el productor es el grano entero, en este aspecto el tratamiento 6 (0% N + *Azolla*) tuvo mejor resultado con un 62%, pero no hay una diferencia significativa con el tratamiento 4 (50% N + *Azolla*) que tuvo un 61,5% (figura 4), y logró la mayor producción de arroz (figura 3).

En el caso de la puntilla el tratamiento 4 (50% N + *Azolla*) fue el que tuvo un menor porcentaje con un 4% (figura 4), pero no demuestra una diferencia significativa con ninguno de los demás tratamientos.

Según Conarroz (s.f), el grano quebrado debe ser menor o igual que 40%, y por ende el nivel permisible de rendimiento de pilado debe ser mayor o igual al 60 %. Todos los tratamientos entran en estos rangos de comercialización, pero entre mejor calidad se obtenga, mejor remunerado será el productor.

Figura 5. Análisis del porcentaje de impurezas realizado a muestras de 1000 gramos de arroz



Para Conarroz (s.f), impurezas corresponde a granos de arroz fisiológicamente inmaduro o vanos, a basura aportada por arvenses y toda aquella materia extraña al arroz en granza. Se establece que el nivel permisible de impureza debe ser menor o igual a 20 %. Lo ideal que una muestra de arroz en granza seco y limpio ronde el 1,5% o menos de impurezas. A pesar de que todos los tratamientos están por debajo del porcentaje máximo, ninguno logró tener el porcentaje adecuado de impurezas, algo que puede perjudicar el precio al momento de su comercialización.

En el análisis de impurezas el tratamiento 2 (100% N + *Azolla*) fue el que presentó un porcentaje mayor con 12,1% (figura 5), al tener la mayor cantidad de fertilización esta también es aprovechada por las arvenses que al momento de la cosecha se ven reflejadas como un aporte de impurezas.

El tratamiento 6 (0% N + *Azolla*) mostró un porcentaje menor con 3% (figura 5). Al aplicarle una fertilización de efecto más lento, le permitió al cultivo desarrollarse hasta

formar una cobertura vegetal. Es importante mencionar que se realizó control de malezas, pero es muy difícil eliminarlas por completo.

Tabla 8. Relación costo/beneficio por ha

Tratamiento	Rendimiento t/ha	Precio pagado por t *	Ingresos	Gastos	Relación C/B
100% N	5,5	¢271 232	¢1 491 776	¢657 171	2,27
100% + <i>Azolla</i>	6,7	¢271 232	¢1 817 254	¢931 571	1,95
75% N + <i>Azolla</i>	5,4	¢271 232	¢1 464 653	¢842 418	1,74
50% N + <i>Azolla</i>	7,2	¢271 232	¢1 952 870	¢753 265	2,59
25% N + <i>Azolla</i>	6,1	¢271 232	¢1 654 515	¢664 112	2,49
0% N + <i>Azolla</i>	5,8	¢271 232	¢1 573 146	¢574 959	2,74

* Precio pagado por tonelada de granza seca y limpia según Conarroz (2022).

Al realizar una relación de costo/beneficio se tomó en cuenta la producción obtenida y los gastos totales, se puede observar como el tratamiento 6 (0% N + *Azolla*) es el que obtiene el mejor resultado con 2,74 (tabla 8). Al tener únicamente fertilización por parte de la *Azolla*, se reducen los gastos considerablemente, y demuestra que los altos costos de fertilizantes químicos son un factor determinante en la rentabilidad del cultivo.

A pesar de que el tratamiento 6 (0% N + *Azolla*) obtuvo la mejor relación de costo beneficio, y este obtiene una ganancia después de costos de ¢998 187. El tratamiento 4 (50% N + *Azolla*) alcanza ¢1 199 606, se logró un ingreso mayor por hectárea incluso después de pagar una fertilización más costosa. Esta diferencia de ¢201 419, es un monto que puede ayudar a sufragar otros gastos que tenga el productor, por ello se muestra como el tratamiento más rentable.

Capítulo V. Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

Es importante continuar con la búsqueda de alternativas amigables con el ambiente y así reducir el uso de insumos químicos, que traen consecuencias negativas para el planeta y su costo variable puede afectar la rentabilidad de un cultivo.

Con el uso de estas alternativas, los productores pueden “cultivar su propio fertilizante” y de esta forma no depender tanto de la disponibilidad o aumentos de precio que sufren los fertilizantes químicos a nivel mundial.

Los datos obtenidos fueron muy similares para todos los tratamientos, lo que evidencia que al utilizar únicamente *Azolla* se puede igualar los resultados de los productos químicos, pero con un costo menor. Por lo que esta alternativa es viable desde el punto de vista agronómico y financiero.

El mejor resultado en el rendimiento del cultivo lo tuvo el tratamiento 4 (50% N + *Azolla*), se demuestra que no hay problema en combinarlos para lograr una mayor producción.

Si aumenta la dosis de *Azolla* se podrían lograr mejores resultados, y eliminar por completo el uso del nitrógeno químico. Sin embargo, se tendrían que utilizar volúmenes muy altos del helecho, por lo que se incurriría en más gastos de manipulación y aplicación.

El uso combinado que se dio en el tratamiento 4 (50% N + *Azolla*) es el equilibrio perfecto ya que produce un efecto inmediato en la planta por parte del fertilizante químico y un efecto prolongado que brinda la *Azolla*.

Al lograr el mejor resultado con el tratamiento 4 (50% N + *Azolla*) se acepta la hipótesis alternativa, al reducir los costos y tener una producción mayor a la del testigo.

5.2 Recomendaciones

Aplicar el helecho verde, ya que al deshidratarlo por completo se dificulta su aplicación en condiciones ventosas.

Continuar con las investigaciones de este tipo, para determinar si aumentando la dosis de *Azolla* se obtienen mejores resultados, y en un futuro se podría fomentar la producción de fertilizante a base de *Azolla* de una forma industrializada.

Hacer análisis de suelos para verificar si la *Azolla* produce efectos posteriores en este, como el aumento de materia orgánica. Pero en investigaciones más prolongadas que le permitan un mayor tiempo de actuación en el terreno.

Aplicar *Azolla* en el terreno antes de la siembra, para que se descomponga y esté disponible al momento del establecimiento del cultivo. Ya que, al aplicarla después de la siembra, las plantas se presentan débiles y con amarillamiento en sus primeros días, lo que puede favorecer una problemática de plagas y enfermedades.

Realizar una buena preparación del terreno para el uso de este tipo de fertilizantes, y evitar suelos muy compactos o con alto grado de pedregosidad que afectan la incorporación de la *Azolla*.

Utilizar únicamente *Azolla* requiere de un monitoreo constante al cultivo para determinar alguna deficiencia de fosforo o potasio, y de ser así poder aplicarlo de forma foliar.

Establecer una o varias lagunas pequeñas dentro del terreno o cerca de él, en donde se pueda reproducir el helecho, para evitar gastos de traslado, y no aumentar costos en la producción del cultivo.

Capítulo VI. Bibliografía y anexos

6.1 Bibliografía

- Aguiar, K. (2020). *La Azolla: importancia y usos para mejorar la fertilidad y calidad del suelo y del agua en la agricultura* (Bachelor's thesis, BABAHOYO: UTB, 2020).
- Aguirre, M., & López, J. (2020). *Eficiencia de uso del nitrógeno en el cultivo de arroz bajo sistemas de rotaciones contrastantes*.
- Armijos, M. A. (2021). *Efecto de aplicación de npk y cascarilla de arroz como aporte nutricional en el cultivo de arroz (Oryza sativa)* (Doctoral dissertation, Universidad Agraria del Ecuador).
- Carrapico, F., Antunes, T., Sevinate, I., Teixeira, G., Serrano, R., Baioa, V., Pereira, A., Elias, F., & Bastos, M. (2010). *Azolla en Portugal. Lisboa-Portugal*. p 15.
- Castillo Riaño, G., & Silva Rodríguez, L. B. (2020). *Eficiencia de uso y respuesta en rendimiento a diferentes dosis de N del cultivar de arroz Parao sobre distintos antecesores invernales*.
- Corporación Arroceras Nacional (CONARROZ). (2022). *Informe anual estadístico*. San José, Costa Rica.
<https://www.conarroz.com/userfile/file/InformeAnualestad%C3%ADstico21-22final.pdf>
- Corporación Arroceras Nacional (CONARROZ). (sf). *Reglamento Técnico RTCR 406:2007. Arroz en Granza. Especificaciones y Métodos de Análisis para la Comercialización e Industrialización*. https://www.conarroz.com/userfile/file/RTCR_406-2007.pdf

- Delgado, D. A., & Zorrilla, C. M. (2017). *Evaluación del simbiote Azolla caroliniana-Anabaena azollae sobre la agroproductividad del cultivo de arroz y las propiedades químicas del suelo* (Bachelor's thesis, Calceta: ESPAM).
- Federación Nacional de Arroceros. (2012, 30 de julio). *Azolla: helecho acuático que sirve como fertilizante y protege los cultivos de arroz.* párr.1 <https://fedearroz.com.co/es/noticias/2012/07/30/azolla-helecho-acuatico-que-sirve-como-fertilizante-y-protege-los-cultivos-de-arroz/>
- Garcés, G., & Medina, J. (2018). *Fisiología del cultivo del arroz en el programa AMTEC*. Cartilla. Fedearroz-Fondo Nacional del Arroz.
- García, J., Murillo, B., Nieto, A., Fortis, M., Márquez, C., Castellanos, E., & Avila, N. Y. (2010). *Avances en investigación y perspectivas del aprovechamiento de los abonos verdes en la agricultura*. Terra Latinoamericana.
- González, A., & Barahona, L. (2023). *Azolla sp. como sustituto de fertilizantes nitrogenados en el cultivo de arroz de subsistencia*.
- Guzmán, D. (2006). *Manejo agronómico del cultivo de arroz (Oryza sativa L.) sembrado bajo riego en finca Ranchos Horizonte; Cañas, Guanacaste, Costa Rica*.
- Junco, S. (2020). *Manejo agronómico del cultivo de arroz (Oryza sativa) mediante Sistema Intensivo o SRI* (Bachelor's thesis, BABAHOYO: UTB, 2020).
- Lara, I., & Franco, C. (2017). *Análisis del costo-beneficio, una herramienta de gestión*. Revista: CE Contribuciones a la Economía.

- Ledesma, B. (2022). *Uso de nuevas tecnologías en el desarrollo de nuevas variedades de arroz* (Bachelor's thesis, BABAHOYO: UTB, 2022).
- López, E., & Gonzáles, B. (2016). *Diseño y análisis de experimentos, fundamentos y aplicaciones en agronomía*. http://cete.fausac.gt/wp-content/uploads/2020/11/Diseno_y_Analisis_de_Experimentos_2016a.pdf. P.77.
- Luna, D. (2018). *Arvenses en el cultivo de arroz y peces, rizpiscicultura*.
- Mandujano, J. (2019). *Potencialidad del Helecho Azolla SP. como biofertilizante nitrogenado alternativo en el cultivo de cebada de pequeños productores—Valle del Mantaro*.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería de Costa Rica. (s.f). *Caracterización del área de influencia de la agencia de extensión agropecuaria Bagaces*. <https://www.mag.go.cr/regiones/chorotega/CARACTERIZACION-AEA-BAGACES.pdf>.
- Montaño, M. (2005). *Estudio de la aplicación de Azolla Anabaena como bioabono en el cultivo de arroz en el Litoral ecuatoriano*. Guayaquil, EC. Revista Tecnológica ESPOL, Vol. 18.
- Mora, A. (2019). *Propuesta de lineamientos para el manejo de los residuos de los envases de plástico de los agroquímicos en la producción de café de la Cooperativa de Caficultores y de Servicios Múltiples de Palmares*.

- Oficina Nacional de Semillas. (2015). *Memoria anual 2015*. http://ofinase.go.cr/wp-content/uploads/2017/09/memoria_ons2015.pdf.
- Ramos, C. (2015). *Los paradigmas de la investigación científica*. Avances en psicología.
- Secretaria Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria (SEPSA). (Diciembre, 2023). Sonde de precios de insumos agropecuarios en Agroservicios. http://www.sepsa.go.cr/DOCS/2023-025-SondeoInsumos_diciembre.pdf
- Tinoco, R., & Acuña, A. (2009). *Manual de recomendaciones técnicas: Cultivo de arroz (Oryza sativa)*. San José, Costa Rica: INTA. <https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F01-2584.PDF>.
- Valle Acaro, E. P. (2024). *Evaluación del comportamiento de Azolla Anabaena (Azolla Filiculoides Var. Cristata) bajo diferentes dosis de sustrato orgánico en Santa Elena Ecuador* (Bachelor's thesis, La Libertad: Universidad Estatal Península de Santa Elena. 2024).
- Vignola, R., Poveda, K., Watler, W., Vargas, A., Berrocal, A., & Morales, M. (2018). *Prácticas efectivas para la reducción de impactos por eventos climáticos en costa rica cultivo de arroz*. CATIE. Minae. DCC. Adaptation Fund.
- Zamora Laguna, E. J., & Díaz Sevilla, O. G. (2022). *Evaluación de cuatros niveles de nitrógeno y tres dosis de siembra en arroz (Oryza sativa L.) var. NutreZinc en el Valle de Sébaco, 2020-2021* (Doctoral dissertation, Universidad Nacional Agraria).

6.2 Anexos

Figura 6. ANDEVA de la variable altura de planta entre tratamientos y bloques

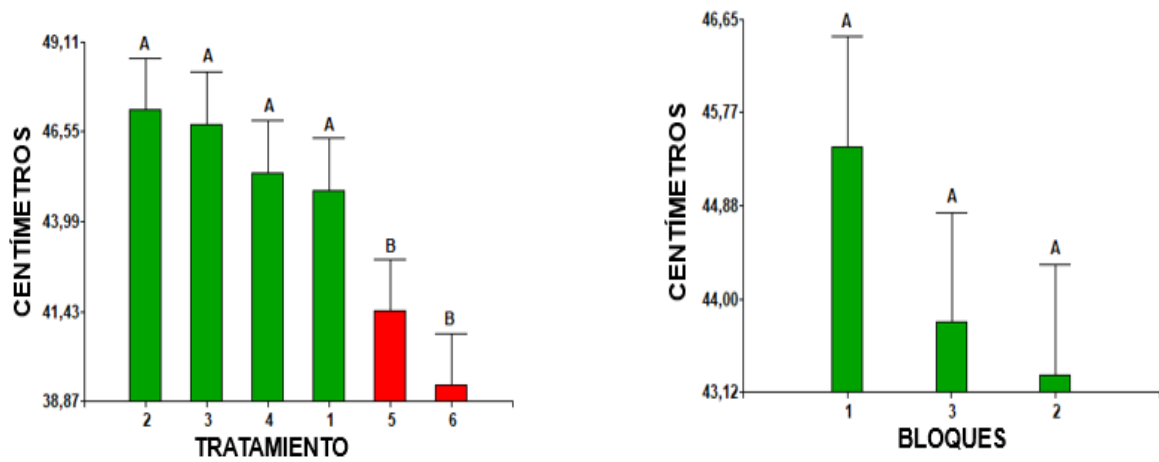


Figura 7. ANDEVA de la variable longitud de la hoja entre tratamientos y bloques

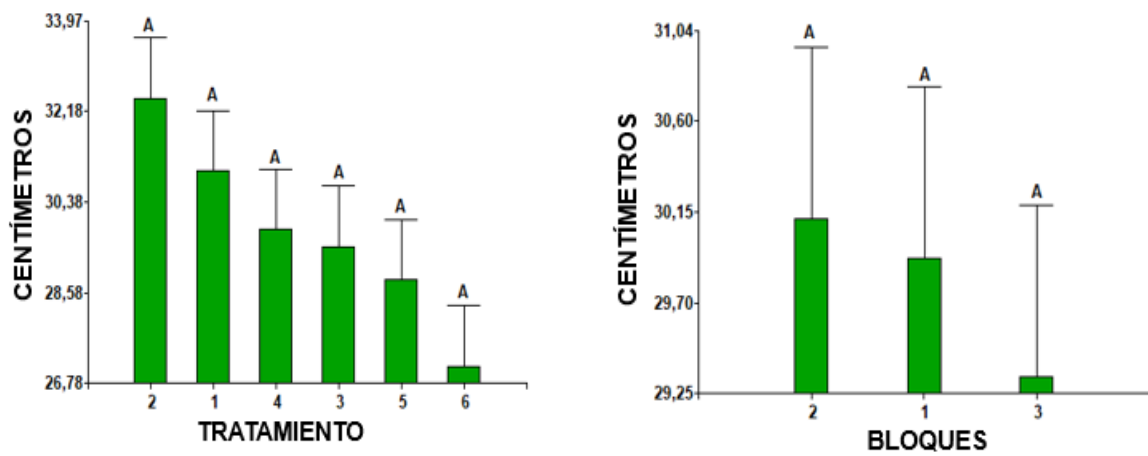


Figura 8. ANDEVA de la variable % de NDVI entre tratamientos y bloques

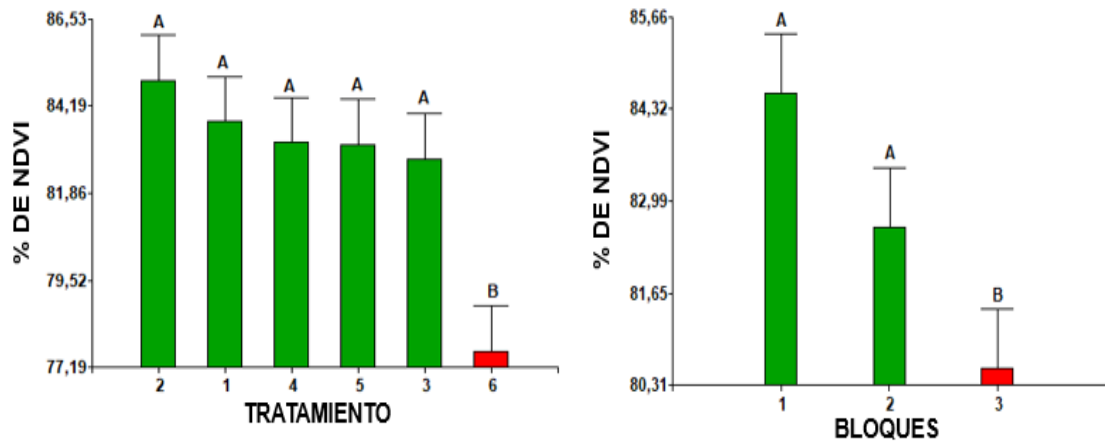


Figura 9. ANDEVA de la variable macollamiento entre tratamientos y bloques

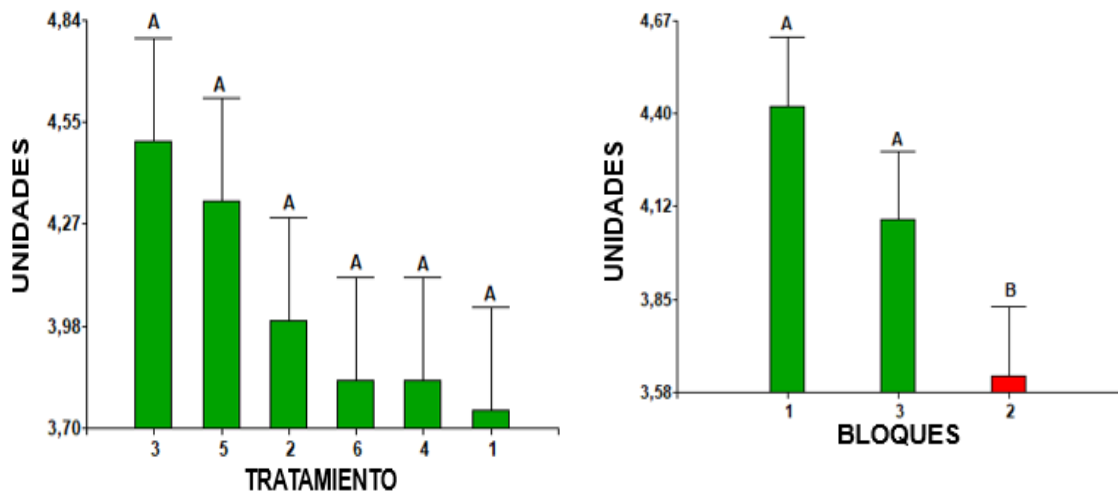


Figura 10. ANDEVA de la variable longitud de la espiga entre tratamientos y bloques

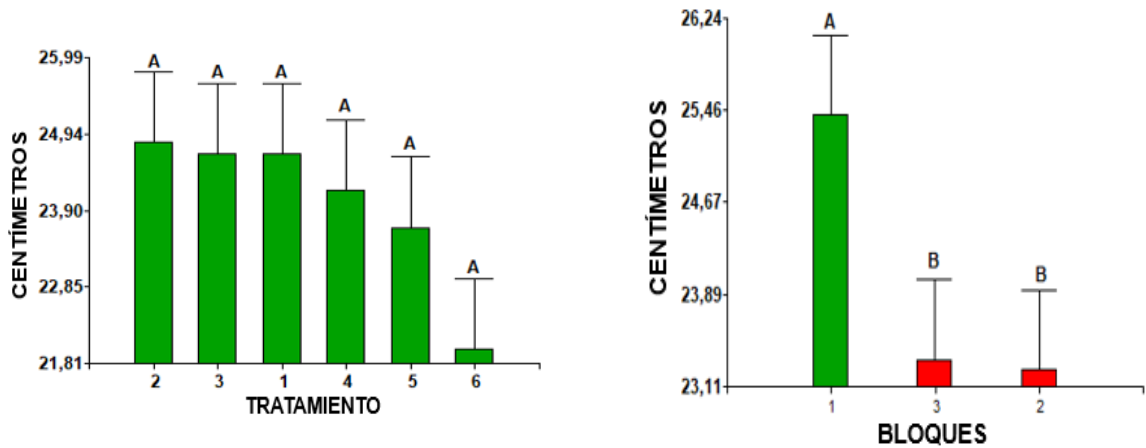


Figura 11. ANDEVA de la variable rendimiento final entre tratamientos y bloques

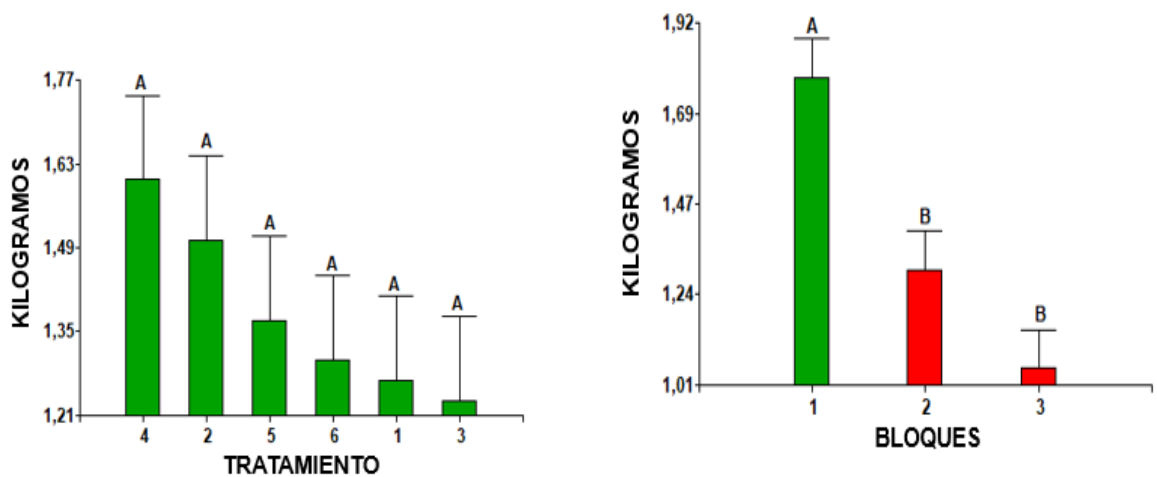


Tabla 9. Producción obtenida en los tratamientos

BLOQUE	Producción (kg)					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
I	1,8	2,0	1,4	1,9	1,6	2,0
II	0,9	1,4	1,2	1,6	1,4	1,3
III	1,1	1,1	1,1	1,3	1,1	0,6
Total	3,7	4,5	3,7	4,8	4,1	3,9

Tabla 10. Costo de fertilizantes químicos por ha

Costo de fertilización química			
Fertilizante	Cantidad	Precio	Total
10-30-10	4	€22 192	€88 768
46-0-0	4	€17 763	€71 052
26-0-26	4	€20 599	€82 396
26-0-26	4	€20 599	€82 396
Costo de aplicación			€32 000
Costo total de fertilizante			€356 612

Tabla 11. Costo de insumos químicos por ha

Costo de insumos químicos			
Producto	Litros	Precio	Total
Pega Dap Plus	1	€7 901	€7 901
Glisofato Glifocol	3,5	€4 249	€14 872
Insecticida Cascabel	2	€7 789	€15 578
Fungicida Kasumin	2	€14 604	€29 208
Costos de aplicación			€35 000
Total			€102 559

Tabla 12. Costo de preparación del terreno por ha

Costo preparación de terreno			
Labor	Cantidad	Precio	Total
Semilla	4	€32 000 *	€128 000
Rastra	2	€35 000	€70 000
Total			€198 000

* Precio incluye la siembra

Tabla 13. Costo para establecer la fertilización a base de Azolla por ha

Costo de fertilizante a base de Azolla	
Costo de 100 kilos de Azolla	€25 000
Costo de Primera aplicación	€25 600
Costo de segunda aplicación	€25 600
Costo de tercera aplicación	€25 600
Costo de cuarta aplicación	€25 600
Plástico negro para 3 estanques de 10x10 cada uno	€69 000
Hora de Back hoe para realizar estanques de 30 cm de profundidad	€30 000
Costo de personal para la recolección de Azolla	€48 000
Costo total	€274 400

Figura 12. Preparación del terreno

Figura 13. *Demarcación del terreno*



Figura 14. *Reproducción de Azolla*





Figura 15. Mediciones en campo

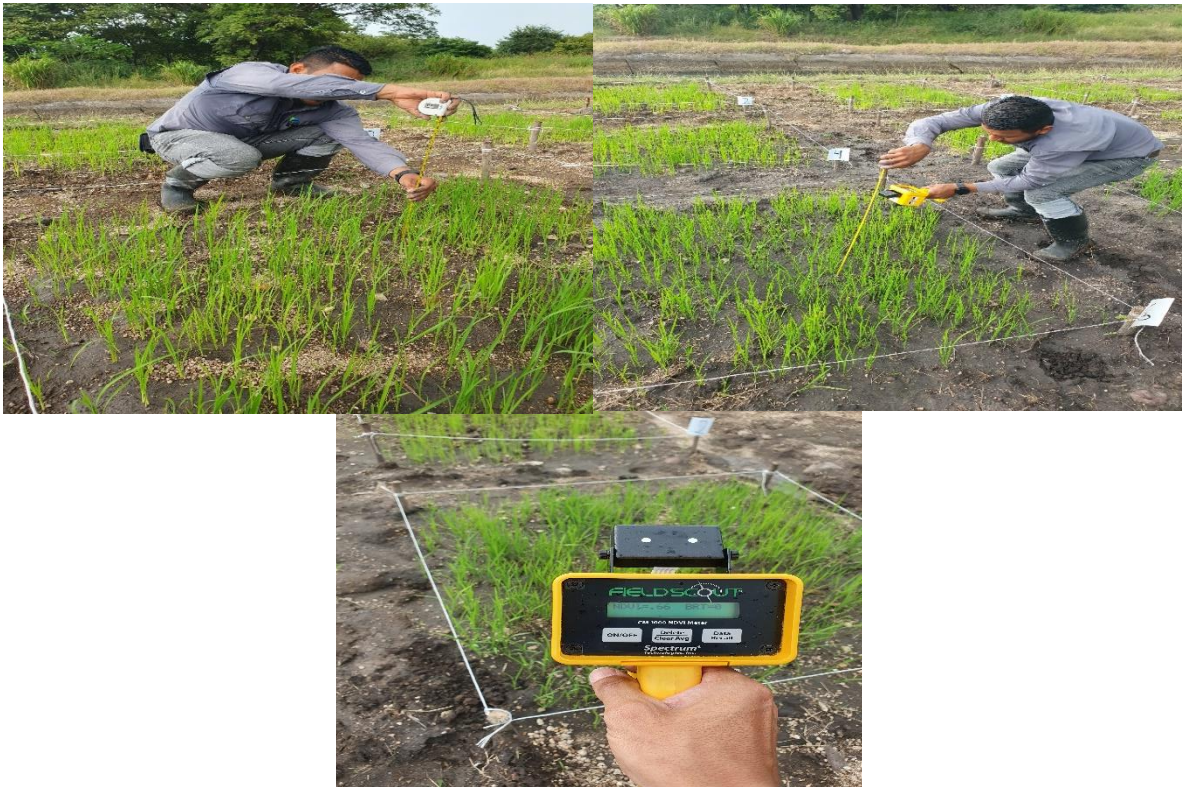


Figura 16. Aplicación de fertilizante y Azolla



Figura 17. *Desarrollo del cultivo*



Figura 18. Cosecha



Figura 19. Análisis de laboratorio



Figura 20. *Distribución de tratamientos*

