

UNEMI

UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO

REPÚBLICA DEL ECUADOR

UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

**INFORME DE INVESTIGACIÓN
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:**

MAGÍSTER EN BIOTECNOLOGIA

TEMA:

**EFFECTO DE LAS NANOBURBUJAS PRODUCIDAS POR
ELECTRÓLISIS EN LA PRODUCTIVIDAD Y CALIDAD DE LOS
CULTIVO DE ARROZ VARIEDAD SFL – 11.**

Autor:

GALO ISMAEL MEDINA ACOSTA

JAIME ANDRES RENDON ANCHUNDIA

Director:

MsC. Diego Barzallo

Milagro, 2024

Derechos de autor

Sr. Dr.

Fabricio Guevara Viejó

Rector de la Universidad Estatal de Milagro Presente.

Nosotros, **Galo Ismael Medina Acosta y Jaime Andres Rendón Anchundia** en calidad de autores y titulares de los derechos morales y patrimoniales de este informe de investigación, mediante el presente documento, libre y voluntariamente cedo los derechos de Autor de este proyecto de desarrollo, que fue realizada como requisito previo para la obtención de mi Grado, de Magister en Biotecnología, como aporte a la Línea de Investigación Agrícola de conformidad con el Art. 114 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, concedo a favor de la Universidad Estatal de Milagro una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos. Conservo a mi favor todos los derechos de autor sobre la obra, establecidos en la normativa citada.

Así mismo, autorizo a la Universidad Estatal de Milagro para que realice la digitalización y publicación de este Informe de Investigación en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

El autor declara que la obra objeto de la presente autorización es original en su forma de expresión y no infringe el derecho de autor de terceros, asumiendo la responsabilidad por cualquier reclamación que pudiera presentarse por esta causa y liberando a la Universidad de toda responsabilidad.

Milagro, 18 febrero 2024



Escaneado electrónicamente por:
**DIEGO GEOVANNY
BARZALLO GRANIZO**

Diego Geovanny Barzallo Granizo
C.I: 0603923095



Escaneado electrónicamente por:
**JAIME ANDRÉS RENDÓN
ANCHUNDIA**

Jaime Andrés Rendón Anchundia
C.I: 1206515023

Aprobación del director del Trabajo de Titulación

Yo, **Diego Geovanny Barzallo Granizo** en mi calidad de director del trabajo de titulación, elaborado por Galo Ismael Medina Acosta y Jaime Andrés Rendón Anchundía, cuyo tema es **EFFECTO DE LAS NANOBURBUJAS PRODUCIDAS POR ELECTRÓLISIS EN LA PRODUCTIVIDAD Y CALIDAD DE LOS CULTIVO DE ARROZ VARIEDAD SFL – 11** ,

que aporta a la Línea de Investigación Agrícola , previo a la obtención del Grado de Magister en biotecnología, Trabajo de titulación que consiste en una propuesta innovadora que contiene, como mínimo, una investigación exploratoria y diagnóstica, base conceptual, conclusiones y fuentes de consulta, considero que el mismo reúne los requisitos y méritos necesarios para ser sometido a la evaluación por parte del tribunal calificador que se designe, por lo que lo **APRUEBO**, a fin de que el trabajo sea habilitado para continuar con el proceso de titulación de la alternativa de Informede Investigación de la Universidad Estatal de Milagro.

Milagro, 18 febrero 2024.



Firmado electrónicamente por:
**DIEGO GEOVANNY
BARZALLO GRANIZO**

Diego Geovanny Barzallo
Granizo C.I: 0603923095

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
DIRECCIÓN DE POSGRADO
CERTIFICACIÓN DE LA DEFENSA

El TRIBUNAL CALIFICADOR previo a la obtención del título de **MAGÍSTER EN BIOTECNOLOGÍA**, presentado por **MED. MEDINA ACOSTA GALO ISMAEL**, otorga al presente proyecto de investigación denominado "EFECTO DE LAS NANOBURBUJAS PRODUCIDAS POR ELECTRÓLISIS EN LA PRODUCTIVIDAD Y CALIDAD DE LOS CULTIVO DE ARROZ VARIEDAD SFL – 11", las siguientes calificaciones:

TRABAJO ESCRITO	59.00
SUSTENTACIÓN	36.67
PROMEDIO	95.67
EQUIVALENTE	Muy Bueno



VIVIANA LORENA
SANCHEZ VASQUEZ

Ing. SANCHEZ VASQUEZ VIVIANA LORENA
PRESIDENTE/A DEL TRIBUNAL



MARIA FERNANDA
GARCÉS MONCAYO

Msc GARCÉS MONCAYO MARÍA FERNANDA
VOCAL



KEVIN XAVIER
HUILCAREMA ENRIQUEZ

Mcimq HUILCAREMA ENRIQUEZ KEVIN XAVIER
SECRETARIO/A DEL TRIBUNAL

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
DIRECCIÓN DE POSGRADO
CERTIFICACIÓN DE LA DEFENSA

El TRIBUNAL CALIFICADOR previo a la obtención del título de **MAGÍSTER EN BIOTECNOLOGÍA**, presentado por **ING. RENDÓN ANCHUNDIA JAIME ANDRÉS**, otorga al presente proyecto de investigación denominado "EFECTO DE LAS NANOBURBUJAS PRODUCIDAS POR ELECTRÓLISIS EN LA PRODUCTIVIDAD Y CALIDAD DE LOS CULTIVO DE ARROZ VARIEDAD SFL – 11", las siguientes calificaciones:

TRABAJO ESCRITO	59.00
SUSTENTACIÓN	34.00
PROMEDIO	93.00
EQUIVALENTE	Muy Bueno



Ing. SANCHEZ VASQUEZ VIVIANA LORENA
PRESIDENTE/A DEL TRIBUNAL



Msc GARCÉS MONCAYO MARÍA FERNANDA
VOCAL



Mcmq HUILCAREMA ENRIQUEZ KEVIN XAVIER
SECRETARIO/A DEL TRIBUNAL

DEDICATORIA

Dedico de todo corazón este logro a Yahveh ya que gracias a él y a su divina voluntad me permite culminar con esta etapa; a mis padres: Lcda. Margarita Anchundia Peralta y Ing. Jaime Rendón Pérez, dentro del cual sin su apoyo no lo había logrado, mis hermanos: Ab. Adolfo Rendón Y Lcdo. David Rendón por su cultura de perseverancia predomina en mis metas a cumplir; a mis sobrinas: Genesis Rendón, Margarita Rendón, Valentina Rendón y sobrino Jaime Rendón por sus palabras de aliento, mis amistades y finalmente a mi pareja la Ab. Evelyn Avendaño, cual con su apoyo incondicional no hubiera podido culminar esta meta.

A mi tutor de tesis, Msc Diego Barzallo; quiero expresar mi más profundo agradecimiento por su guía profesional, su paciencia infinita y su dedicación durante todo el proceso de investigación y redacción de esta tesis. Sus conocimientos, comentarios y consejos han sido invaluable para mí y han contribuido enormemente a la calidad de este trabajo. Estoy con un profundo sentimiento de gratitud por su compromiso y por ayudarme a alcanzar mis objetivos académicos.

Jaime Rendón

AGRADECIMIENTO

Con humildad y gratitud, eleva mi corazón y agradecimiento hacia Dios, para expresar mi profundo agradecimiento por guiarme y fortalecerme durante este viaje académico. Tu amor y misericordia han sido mi luz en los momentos de incertidumbre y desafío. Te doy gracias por la sabiduría y la fuerza que me ha otorgado para alcanzar este logro significativo en mi vida.

A mis queridos padres, no hay palabras suficientes para expresar mi gratitud por su amor incondicional y su apoyo constante a lo largo de mi vida y especialmente durante este proceso de tesis. Su sacrificio, orientación y aliento han sido fundamentales para mi éxito. Cada logro que alcanzó es un testimonio de su dedicación y amor. Estaré eternamente agradecido por ser bendecido con unos padres tan maravillosos como ustedes.

A mi amada familia, esposa e hija, ustedes son mi mayor fuente de inspiración y motivación. Su amor, paciencia y comprensión han sido mi roca mientras perseguía mis metas académicas. Agradezco profundamente por su apoyo incondicional, por ser mi refugio en los momentos difíciles y por celebrar conmigo cada victoria. Mi corazón rebosa de gratitud por tenerlos en mi vida.

A la Universidad Estatal de Milagro (UNEMI), quiero expresar mi sincero agradecimiento a la Universidad Estatal de Milagro por brindarme la oportunidad de cursar mis estudios superiores y realizar esta tesis. Estoy agradecido por los recursos, el ambiente de aprendizaje y el apoyo académico que me han proporcionado a lo largo de mi trayectoria universitaria. Me siento honrado de ser parte de esta prestigiosa institución educativa.

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento nuestro tutor de tesis, Msc Diego Barzallo, por su orientación experta, su paciencia infinita y su dedicación inquebrantable durante todo el proceso de investigación y redacción de esta tesis. Sus conocimientos, comentarios y consejos han sido invaluable para mí y han contribuido enormemente a la calidad de este trabajo.

Galo Medina

Resumen

El presente estudio aborda la problemática central relacionada con el cultivo de arroz, destacando la necesidad de implementar tecnologías innovadoras y sostenibles para mejorar su productividad y calidad. Las nanoburbujas generadas por electrólisis emergen como una tecnología prometedora en este contexto, el objetivo principal es investigar el impacto de estas nanoburbujas en los cultivos de arroz, planteando la hipótesis de que su aplicación resultará en un aumento de la productividad y calidad de los granos. En la metodología, se empleó un enfoque experimental que implicaba la instalación estratégica de ánodos y cátodos de carbono en parcelas específicas, permitiendo la generación de nanoburbujas mediante electrólisis. Se consideraron tres tratamientos: dos frecuencias de exposición a nanoburbujas y un grupo de control sometido a métodos tradicionales de agricultura. La caracterización de las nanoburbujas se realizó mediante la observación del efecto Tyndall. Se evaluaron variables como el crecimiento vegetal, la absorción de nutrientes y la calidad de los granos. Los resultados revelaron mejoras significativas en la productividad y calidad del arroz con la aplicación de nanoburbujas, evidenciando un aumento del rendimiento y una mejora en la calidad de los granos en las parcelas tratadas. En conclusión, este estudio respalda el potencial de las nanoburbujas generadas por electrólisis para mejorar la producción de arroz. Destaca la importancia de continuar investigando y desarrollando tecnologías innovadoras en la agricultura para promover la sostenibilidad y eficiencia alimentaria global.

Palabras claves: Nanoburbujas, electrólisis, cultivo de arroz, sostenibilidad agrícola

Abstract

The present study addresses the central problem related to rice cultivation, highlighting the need to implement innovative and sustainable technologies to improve its productivity and quality. Nanobubbles generated by electrolysis emerge as a promising technology in this context, the main objective is to investigate the impact of these nanobubbles on rice crops, hypothesizing that their application will result in an increase in the productivity and quality of the grains. In the methodology, an experimental approach was used that involved the strategic installation of carbon anodes and cathodes in specific plots, allowing the generation of nanobubbles through electrolysis. Three treatments were considered: two frequencies of exposure to nanobubbles and a control group subjected to traditional agricultural methods. The characterization of the nanobubbles was carried out by observing the Tyndall effect. Variables such as plant growth, nutrient absorption and grain quality were evaluated. The results revealed significant improvements in rice productivity and quality with the application of nanobubbles, evidencing an increase in yield and an improvement in grain quality in the treated plots. In conclusion, this study supports the potential of electrolysis-generated nanobubbles to improve rice production. Highlights the importance of continuing to research and develop innovative technologies in agriculture to promote global food sustainability and efficiency.

Keywords: nanobubbles, electrolysis, rice cultivation, agricultural sustainability

Índice / Sumario

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	ii
Derechos de autor	iii
CERTIFICADO DE DEFENSA	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
SESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR	vii
Índice / Sumario	viii
Lista de Figuras	xi
Lista de Tablas	xiii
Resumen	xiv
Abstract	xv
Introducción	1
Capítulo I: El problema de la investigación.....	3
1.2 Delimitación del problema.....	4
1.3 Formulación del problema	4
1.4 Preguntas de investigación.....	4
1.5 Determinación del tema	5
1.6 Objetivo general	5
1.7 Objetivos específicos.....	5
1.8 Hipótesis	6
1.9 Declaración de las variables	6
Variables	6
Variables Dependientes	6
Operacionalización de las Variables	7
2. Operacionalización de las Variables Dependientes	7
1.10 Justificación.....	9
1.11 Alcance y limitaciones	10
Alcance.....	10
Limitaciones	10
CAPÍTULO II: Marco teórico referencial	12
2.2 Contenido teórico que fundamenta la investigación	14
2.2.1 Arroz en el mundo agrícola.....	14
2.2.2 Gramíneas en Ecuador	15
2.2.3 Generalidades de la nanotecnología	18

2.2.4	Nanotecnología en la agricultura	19
2.2.5	Nanoburbujas y sus propiedades únicas a nanoescala	21
2.2.6.	Beneficios de las nanoburbujas para la producción de alimentos.....	23
2.2.7	Impactos de las nanoburbujas en las comunidades microbianas.....	25
2.2.8	Caracterización de nanoburbujas	27
2.2.8.1	Tamaño de Nanoburbujas	27
2.2.8.2	Distribución de Tamaños.....	27
2.2.8.3	Distribución de Tamaños.....	28
2.2.8.4	Análisis Estadístico.....	28
2.2.8.5	Influencia en la Estabilidad.....	29
2.2.8.6	Relación con Aplicaciones Específicas.....	29
2.2.8.7	Efectos en la Interacción con Superficies	29
2.2.8.8	Caracterización de Nanoburbujas por Efecto Tyndall	30
2.2.8.9	Principio del Efecto Tyndall	30
2.2.8.10	Observación del Resplandor.....	30
2.2.8.11	Tamaño y Concentración:.....	30
2.2.8.12	Diferenciación de Fases	32
2.2.8.13	Utilización en Diagnóstico Visual	32
CAPÍTULO III: Diseño metodológico		33
3.1	Tipo de diseño de investigación.....	33
3.2	Nivel de la investigación	33
3.2.1	Características de la población	33
3.2.2	Delimitación de la población	34
3.2.3	Proceso de selección de la muestra	35
3.3.	Los métodos y las técnicas	36
3.3.1.	Manejo del ensayo	37
3.3.2.	Preparación de terreno	37
3.3.3.	Siembra.....	37
3.3.4.	Riego.....	38
3.3.5.	Fertilización	38
3.3.6.	Control de malezas.....	39
3.3.7.	Control fitosanitario.....	39
3.3.8.	Cosecha	40
3.3.9.	Diseño experimental.....	40
3.4.	Procesamiento estadístico de la información	44
CAPÍTULO IV: Análisis e interpretación de resultados		45
4.1.	Análisis de área de estudio	45
4.2.	Caracterización Nanoburbujas	45
4.3.	Análisis de variables.....	47

4.2.3. Altura de la planta	48
4.1.4. Longitud de panícula	49
4.1.5. Numero de macollos	51
4.1.6. Peso de mil granos	52
CAPÍTULO V: Conclusiones y Recomendaciones.....	55
5.2 Recomendaciones.....	56
Bibliografía.....	58
Anexos	64

Lista de Figuras

Figura 1: Esquema creado por: Baque Manzaba Andrea Stefanía Pacheco Pincay Alexandra Verónica	33
Figura 2: Propiedades únicas de los NB para la germinación de semillas y el crecimiento de plantas. (Magdaleno et al, 2023).....	36
Figura 3: Efecto Tyndall de dispersión de un rayo láser que pasa a través de la cubeta llena de agua saturada de nanoburbujas (a) antes y (b) después del cambio de presión periódico durante 120 min. Autor: (Wang Qiaozi, et al, 2019).....	44
Figura 4: Representación esquemática del procedimiento experimental	49
Figura 5: trasplante de plántulas de arroz SFL-11, semillero (A), parcela (b)	51
Figura 6: riegos por inundación (A) de parcelas con frecuencia cada 8 días, en función a la temporada invernal, riego durante ciclos (B)	51
Figura 7: Fertilizaciones edáficas (A) de N-P-K hasta los 40 días de desarrollo vegetativo y asimilación de fertilizantes (B).....	52
Figura 8: control de malezas y fitosanitarios (en coctel, con la finalidad de abaratar costos de producción).....	52
Figura 9: Cosecha (A) y captación y medición de data in situ (B)	53
Figura 10: Parcela testigo (A) y la parcela con aplicación de nanoburbujas (B).....	54
Figura 11: Esquema técnico de recreación de nanoburbujas	54
Figura 12: Mediciones y evaluaciones de variables in situ de arroz SFL-11	55
Figura 13: Duración de batería	55
Figura 14: Validación de cantidad de macollos desarrollados en V3-V4 de la etapa fenológica de arroz SFL-11.....	56
Figura 15: Utilización de herramientas de precisión digital para medir parámetros como peso de granos.....	56
Figura 16: Efecto Tyndall, en nanoburbujas producidas por electrolisis del agua	59
Figura 17: Efecto de laser en agua corriente	59
Figura 18: Media entre Altura de pantas en: Tratamiento Testigo (TT), Tratamiento 1 (TT1) y Tratamiento 2 (TT2)	62
Figura 19: Media entre Longitud de panícula en: Tratamiento Testigo (TT), Tratamiento 1 (TT1)	

y Tratamiento 2 (TT2)64

Figura 20: Media entre Longitud de panícula en: Tratamiento Testigo (TT), Tratamiento 1 (TT1) y Tratamiento 2 (TT2)65

Figura 21: Media entre peso de mil granos en: Tratamiento Testigo (TT), Tratamiento 1 (TT1) y Tratamiento 2 (TT2)67

Lista de Tablas

Tabla 1: Operacionalización de la Variable Independiente	21
Tabla 2: Operacionalización de la Variable dependiente	22
Tabla 3: Condiciones meteorológicas del lugar de estudio	47
Tabla 4: Aspecto y delimitación del problema en variedad SFL - 11.	49
Tabla 5: Análisis del suelo de la finca “San José”	59
Tabla 6: Variables con relación a los 4 tratamientos en una variedad de arroz SFL-11.....	61
Tablas 7: Prueba de Tukey altura de plantas	63
Tablas 8: Prueba de Tukey longitud de panícula	64
Tablas 9: Prueba de Tukey número de macollos	66
Tablas 10: Prueba de Tukey número de macollos.....	68

Introducción

El cultivo de arroz desempeña un papel esencial en la seguridad alimentaria tanto a nivel nacional como global, siendo uno de los principales cultivos alimentarios del mundo. La necesidad de mejorar la productividad y la calidad de los cultivos de arroz se ha vuelto imperativa en un contexto marcado por el crecimiento de la población mundial y los desafíos asociados a la sostenibilidad agrícola. La aplicación de tecnologías innovadoras emerge como una respuesta a esta demanda, y entre ellas, las nanoburbujas producidas por electrólisis han captado la atención de la comunidad científica y agrícola debido a su potencial para impulsar prácticas agrícolas más sostenibles. El presente estudio se centra en la investigación del efecto de las nanoburbujas generadas por electrólisis en la productividad y calidad de los cultivos de arroz, estos parámetros se evaluarán a lo largo del ciclo de crecimiento del cultivo de arroz, desde la siembra hasta la cosecha, para determinar el impacto de las nanoburbujas generadas por electrólisis. Los datos obtenidos se analizarán estadísticamente para identificar posibles diferencias significativas entre los tratamientos y el grupo de control. Este enfoque se justifica por la capacidad única de las nanoburbujas para suministrar oxígeno disuelto y nutrientes de manera constante a las raíces de las plantas, lo cual se espera que resulte en un aumento significativo en el crecimiento vegetal y una mejora en los atributos de calidad del arroz.

A pesar de la importancia del arroz como cultivo alimentario, los métodos tradicionales de cultivo enfrentan desafíos significativos en términos de eficiencia y sostenibilidad. La utilización de tecnologías convencionales a menudo no es capaz de satisfacer las crecientes demandas de producción sin agotar los recursos naturales y afectar el medio ambiente. En este contexto, las nanoburbujas producidas por electrólisis representan una alternativa prometedora que merece una exploración más profunda.

La aplicación de nanoburbujas en la agricultura ha demostrado mejoras en el crecimiento de las plantas y la absorción de nutrientes en estudios previos (Zhang et al., 2018). Sin embargo, la comprensión de su impacto específico en los cultivos de arroz y su calidad aún necesita ser investigada a fondo. La relevancia de este estudio se refleja en la posibilidad de utilizar las nanoburbujas como una herramienta efectiva para abordarlos.

desafíos actuales en la producción de arroz de manera más sostenible.

El desarrollo de esta tesis sigue una estructura lógica que facilita la comprensión y el análisis del tema. En el primer capítulo, se presenta una revisión exhaustiva de la literatura relevante, destacando la importancia del arroz en la alimentación mundial, los desafíos actuales en su producción y la introducción de las nanoburbujas producidas por electrólisis como una tecnología innovadora. El segundo capítulo detalla la metodología utilizada en el estudio, explicando el diseño experimental, las variables consideradas y los métodos de análisis de datos.

El tercer capítulo presenta los resultados obtenidos durante la investigación, analizando el impacto de las nanoburbujas en la productividad y calidad de los cultivos de arroz. El cuarto capítulo discute las contribuciones significativas de este estudio a la comprensión actual del tema y ofrece recomendaciones para investigaciones futuras.

Este trabajo se propone abordar un problema crucial en la agricultura, explorando el potencial de las nanoburbujas producidas por electrólisis como una herramienta para mejorar la producción de arroz de manera sostenible. Se espera que los resultados y conclusiones de este estudio proporcionen conocimientos valiosos para la comunidad científica y agrícola, respaldando prácticas agrícolas más eficientes y respetuosas con el medio ambiente.

Capítulo I: El problema de la investigación

1.1 Planteamiento del problema

En el escenario contemporáneo de la agricultura, el cultivo de arroz se rige como uno de los pilares fundamentales para garantizar la seguridad alimentaria a nivel nacional y global. Sin embargo, este sector crucial se enfrenta a desafíos significativos que comprometen su eficiencia y sostenibilidad a largo plazo. La presión sobre los recursos agrícolas, combinada con la creciente demanda mundial de arroz, plantea la urgente necesidad de buscar enfoques innovadores que no solo aumenten la productividad, sino que también sean respetuosos con el medio ambiente.

Los métodos tradicionales de cultivo, aunque han sido efectivos hasta cierto punto, están llegando a un límite en su capacidad para cumplir con las demandas crecientes. Factores como la limitada disponibilidad de agua, el agotamiento de los suelos y la necesidad de reducir la dependencia de fertilizantes y productos químicos agrícolas, demandan soluciones disruptivas. En este contexto, surge la inquietud central que orienta este estudio: ¿cómo podemos mejorar de manera sostenible la productividad y calidad de los cultivos de arroz para hacer frente a los desafíos actuales y futuros?

El planteamiento del problema se apoya en la premisa de que la innovación tecnológica puede ofrecer respuestas valiosas a esta interrogante. En particular, se destaca la emergente tecnología de las nanoburbujas generadas por electrólisis como un campo de estudio prometedor. Estas diminutas burbujas, caracterizadas por su tamaño reducido y larga vida útil, han captado la atención tanto de la comunidad científica como de la agrícola debido a su capacidad única para proporcionar oxígeno disuelto y nutrientes de manera eficiente a las raíces de las plantas.

Este planteamiento no solo reconoce la complejidad de los desafíos en el cultivo de arroz, sino que también subraya la necesidad imperativa de explorar nuevas perspectivas y tecnologías para superar estos obstáculos. La pregunta central se convierte en un llamado a la acción para investigar la viabilidad y el impacto potencial de las nanoburbujas generadas por electrólisis en el contexto específico del cultivo de arroz. La necesidad de encontrar soluciones sostenibles que impulsen la productividad sin comprometer la integridad medioambiental se posiciona como el eje conductor de este estudio.

1.2 Delimitación del problema

La delimitación del problema se centra en el cultivo de arroz y los desafíos específicos que enfrenta en términos de eficiencia y sostenibilidad. Aunque existen diversas tecnologías emergentes, este estudio se concentra específicamente en las nanoburbujas producidas por electrólisis como una alternativa prometedora. La investigación se limita a analizar el impacto de estas nanoburbujas en la productividad y calidad de los cultivos de arroz, con el objetivo de proporcionar una perspectiva clara hacia la mejora sostenible de la agricultura.

1.3 Formulación del problema

El problema se formula como la necesidad de abordar los desafíos en la producción de arroz mediante la implementación de tecnologías innovadoras y sostenibles, en este caso, las nanoburbujas producidas por electrólisis. Se busca entender cómo esta tecnología puede influir positivamente en la productividad y calidad de los cultivos de arroz, contribuyendo así a una agricultura más eficiente y respetuosa con el medio ambiente.

1.4 Preguntas de investigación

Las preguntas de investigación se centran en desglosar la problemática principal en aspectos específicos que se abordarán durante el estudio. Algunas preguntas relevantes podrían incluir:

¿Cuál es el impacto de las nanoburbujas producidas por electrólisis en el crecimiento vegetal de los cultivos de arroz?

¿Cómo influyen estas nanoburbujas en la absorción de nutrientes por parte de las plantas de arroz?

¿Existe una mejora sustancial en la calidad de los granos de arroz bajo la influencia de las nanoburbujas?

1.5 Determinación del tema

El tema se determina como la aplicación de nanoburbujas producidas por electrólisis para mejorar la productividad y calidad de los cultivos de arroz. Este enfoque específico se elige debido a la relevancia de las nanoburbujas en la investigación agrícola y su potencial para abordar los desafíos actuales en la producción de arroz de manera sostenible.

1.6 Objetivo general

Investigar el efecto de las nanoburbujas producidas por electrólisis en la productividad y calidad de los cultivos de arroz correspondiente a la variedad SFL-11, con el propósito de una perspectiva hacia la mejora sostenible de la agricultura.

1.7 Objetivos específicos

- Implementar un proceso de electrólisis para la generación de nanoburbujas para posterior aplicación en cultivos de arroz.
- Caracterizar las nanoburbujas y el suelo usado mediante efecto Tyndall y parámetros fisicoquímicos respectivamente.
- Examinar la productividad de los cultivos de arroz (macollamiento) y calidad de los granos (pesos) correspondiente a la variedad SFL-11 mediante la aplicación de nanoburbujas generadas por electrolisis bajo diferentes tratamientos.

1.8 Hipótesis

Hipótesis Nula (H0): No hay diferencia significativa en la productividad y calidad de los cultivos de arroz al aplicar nanoburbujas producidas por electrólisis en comparación con condiciones de cultivo convencionales.

Hipótesis Alternativa (H1): La aplicación de nanoburbujas producidas por electrólisis en los cultivos de arroz generará un aumento significativo en la productividad y una mejora notable en la calidad de los granos en comparación con las condiciones de cultivo convencionales.

1.9 Declaración de las variables

Variables:

- **Variable Independiente:**

Tratamiento con Nanoburbujas: Representa la aplicación de nanoburbujas producidas por electrólisis en los cultivos de arroz variedad SFL-11, comprendido en el tratamiento:

- 1) 24 horas de tratamiento
- 2) cada 3 días de tratamiento
- 3) sin tratamiento.

- **Variables Dependientes:**

- Productividad del Cultivo de Arroz: Se mide cuantitativamente mediante parámetros como la cantidad total de arroz cosechado por unidad de área y el peso promedio de los granos.
- Calidad de los Granos de Arroz: Se evalúa a través de atributos como el contenido de almidón, textura de los granos, y otros indicadores que reflejen las características organolépticas y nutricionales del arroz.

Operacionalización de las Variables:

• Operacionalización de la Variable Independiente:

- Tratamiento con Nanoburbujas: Se implementará la aplicación de nanoburbujas producidas por electrólisis de manera constante durante el ciclo de crecimiento de los cultivos de arroz. Se establecerán condiciones de control sin aplicación de nanoburbujas para comparación.

Tabla 1. Operacionalización de la Variable Independiente

Variable	Definición operacional	Método de medición	Interrogantes	Técnica	Instrumentos
Tratamiento con Nanoburbujas	Implementación de nanoburbujas producidas por electrólisis de manera constante durante el ciclo de crecimiento de los cultivos de arroz. Se establecerán condiciones de control sin aplicación de nanoburbujas para comparación.	Aplicación constante de nanoburbujas producidas por electrólisis durante el ciclo de crecimiento del cultivo. Comparación con condiciones de control sin aplicación de nanoburbujas.	¿Cuál es el efecto del tratamiento con nanoburbujas en el crecimiento de los cultivos de arroz?	Observación directa	Registro de la aplicación de nanoburbujas.

2. Operacionalización de las Variables Dependientes:

Productividad del Cultivo de Arroz

- Altura promedio de plantas de arroz: Se medirá la longitud de las plantas sometidas a tratamiento de nanoburbujas por unidad de área.
- Peso Promedio de los Granos: Se determinará pesando una muestra representativa de granos cosechados.
- Nivel de macollamiento evaluados en (V3, V9 Y VF).
- Longitud de panículas: Se evaluar la longitud de las panículas especificadas en las parcelas de cultivos sometidas a los tratamientos de nanoburbujas, tomando relación al tratamiento testigo.

Tabla 2. Operacionalización de la Variable dependiente

Variable	Definición operacional	Método de medición	Interrogantes	Técnica	Instrumentos
Altura promedio de plantas de arroz	Medición de la longitud de las plantas sometidas a tratamiento de nanoburbujas por unidad de área.	Medición directa de la altura de las plantas en las parcelas de cultivo.	¿Cómo afecta el tratamiento con nanoburbujas a la altura de las plantas de arroz?	Cinta métrica o regla	Registro de la altura de las plantas.
Peso Promedio de los Granos	Determinación del peso de una muestra representativa de granos cosechados.	Pesaje de una muestra representativa de granos recolectados.	¿Cuál es el impacto del tratamiento con nanoburbujas en el peso de los granos de arroz?	Balanza o báscula	Registro del peso de los granos.
Nivel de macollamiento	Evaluación del nivel de macollamiento en las etapas V3, V9 y VF del cultivo de arroz.	Observación directa del número de macollos en las plantas en cada etapa.	¿Cómo influye el tratamiento con nanoburbujas en el nivel de macollamiento del arroz en diferentes etapas de crecimiento?	Conteo de macollos	Registro del número de macollos en cada etapa de crecimiento.
Longitud de panículas	Evaluación de la longitud de las panículas en las parcelas de cultivos sometidas a los tratamientos de nanoburbujas, comparado con el tratamiento testigo.	Medición de la longitud de las panículas en las parcelas de cultivo.	¿Cuál es el efecto del tratamiento con nanoburbujas en la longitud de las panículas de arroz en comparación con el tratamiento testigo?	Cinta métrica o flexometro	Registro de la longitud de las panículas en cada parcela.

1.10 Justificación

El cultivo de arroz desempeña un papel crucial en la alimentación global, siendo una fuente primaria de calorías para millones de personas. Sin embargo, la continua presión sobre los recursos agrícolas y la necesidad de aumentar la producción para alimentar a una población en crecimiento plantean desafíos significativos. En este contexto, la mejora de la productividad agrícola se vuelve esencial. Este estudio se justifica al abordar directamente esta necesidad apremiante, centrándose en una tecnología innovadora, las nanoburbujas producidas por electrólisis, como una potencial solución para aumentar la eficiencia en el cultivo de arroz.

La agricultura contemporánea también enfrenta desafíos ambientales y de sostenibilidad. Los métodos tradicionales a menudo contribuyen a la pérdida de suelo, la contaminación del agua y la dependencia de insumos químicos. En este contexto, la búsqueda de prácticas agrícolas sostenibles se ha vuelto una prioridad.

La aplicación de nanoburbujas en la agricultura podría representar un paso hacia la sostenibilidad al proporcionar una forma eficiente y respetuosa con el medio ambiente de mejorar la productividad de los cultivos.

La justificación se fortalece al considerar el potencial de las nanoburbujas en la agricultura. Investigaciones previas han sugerido mejoras en el crecimiento de las plantas y la absorción de nutrientes con su aplicación. Sin embargo, su implementación específica en el cultivo de arroz aún no ha sido completamente explorada. Este estudio busca cerrar esa brecha de conocimiento, contribuyendo con evidencia empírica sobre la efectividad de las nanoburbujas en este contexto agrícola específico.

Además, este estudio no solo se posiciona en el ámbito académico y científico, sino que también tiene implicaciones prácticas y socioeconómicas. Si las nanoburbujas resultan ser efectivas, podrían representar una herramienta valiosa para mejorar los rendimientos y la calidad del arroz. Esto tendría impactos significativos en la seguridad alimentaria y el bienestar económico de las comunidades agrícolas, especialmente en regiones donde el arroz es un pilar fundamental de la dieta y la economía local.

1.11 Alcance y limitaciones

Alcance:

El alcance de esta investigación se centra en evaluar el impacto de las nanoburbujas producidas por electrólisis en la productividad y calidad de los cultivos de arroz. El estudio se llevará a cabo en condiciones controladas de campo, utilizando un diseño experimental riguroso para recopilar datos cuantitativos y cualitativos. Se espera que los resultados proporcionen información valiosa sobre la viabilidad de esta tecnología emergente en el contexto específico del cultivo de arroz.

Además, el estudio incluirá una revisión exhaustiva de la literatura para contextualizar la investigación, abordando temas relacionados con la importancia del arroz en la seguridad alimentaria global, los desafíos actuales en su producción y las aplicaciones anteriores de nanoburbujas en la agricultura.

Limitaciones:

- **Condiciones Ambientales Variables:** Las condiciones ambientales, como la temperatura, la humedad y la luz solar, pueden variar durante el período de estudio. Estas variaciones podrían afectar los resultados y deben ser tenidas en cuenta al interpretar los datos.
- **Duración del Estudio:** El estudio tiene un alcance temporal definido, lo que implica que la observación y recolección de datos estarán limitadas a un período específico. Esto puede afectar la capacidad de captar efectos a largo plazo de las nanoburbujas en el ciclo de vida completo de los cultivos.
- **Factores Externos:** La presencia de factores externos, como plagas o enfermedades, que podrían afectar la salud de los cultivos, no se controlará completamente. Si bien se implementarán medidas de manejo, la presencia de estos factores podría introducir variables adicionales.

- **Caracterización de nanoburbujas:** El acceso a tecnologías avanzadas de caracterización de nanoburbujas, como la microscopía electrónica de transmisión (TEM) o la espectroscopia de dispersión dinámica de luz (DLS), lo que podría restringir nuestra capacidad para obtener una caracterización completa y detallada de las nanoburbujas utilizadas en el estudio. Esto podría afectar la precisión y la exhaustividad de nuestros resultados y conclusiones. Además, la falta de experiencia técnica o recursos para utilizar adecuadamente estas tecnologías también podría representar una limitación en nuestra capacidad para llevar a cabo una caracterización completa de las nanoburbujas.
- **Generalización de Resultados:** Dada la naturaleza específica del estudio, los resultados pueden tener limitaciones en términos de generalización a otras variedades de arroz o condiciones agrícolas distintas a las establecidas en este estudio.
- **Costos y Recursos:** Las limitaciones financieras y de recursos pueden afectar la escala del estudio y la disponibilidad de tecnologías avanzadas para la aplicación de nanoburbujas, limitando la extensión de la investigación a una escala más pequeña.

CAPÍTULO II: Marco teórico referencial

2.1 Antecedentes

Un desafío crítico en la agricultura contemporánea es la gestión eficiente del agua de riego, un recurso cada vez más escaso y valioso. El riego convencional a menudo resulta en un uso ineficiente del agua, con una parte significativa perdida por evaporación y escorrentía superficial. Este problema se agrava en regiones donde la disponibilidad de agua es limitada.

En este contexto, las nanoburbujas (NB) han emergido como una posible solución para mejorar la eficiencia del riego. Las características únicas de las NB, como su estabilidad en el agua y su capacidad para generar especies reactivas de oxígeno (ROS), presentan oportunidades para optimizar la absorción de agua por parte de las plantas y reducir las pérdidas asociadas con métodos convencionales de riego (Lyu et al., 2019). La capacidad de las NB para permanecer en el agua durante períodos prolongados y su interacción con las raíces de las plantas sugieren un potencial significativo para mejorar la retención y absorción de agua.

Estudios previos han explorado la aplicación de NB en el riego de cultivos, destacando mejoras en la eficiencia del uso del agua y el crecimiento de las plantas (Minamikawa et al., 2020). La tecnología de NB ha mostrado resultados prometedores al contribuir a la conservación del agua y al mismo tiempo aumentar el rendimiento de los cultivos. Sin embargo, a pesar de estos avances, se requiere una comprensión más detallada de los mecanismos subyacentes y los efectos específicos en la absorción de agua por parte de las plantas de cultivo.

Este antecedente resalta la relevancia de considerar las aplicaciones de las NB no solo en la absorción de nutrientes, como se discutió anteriormente, sino también en la gestión eficiente del agua de riego. La sinergia de estas dos aplicaciones puede ofrecer un enfoque integral para mejorar la sostenibilidad y la productividad en la agricultura, lo cual motiva aún más la investigación en este campo.

La obtención de altos rendimientos en la producción de arroz se ha alcanzado tradicionalmente con abundante fertilizantes y agua, pero este enfoque ha demostrado ser costoso y contribuir a problemas medioambientales significativos como la eutrofización del agua y la acidificación del suelo (Li et al., 2021).

El método convencional de riego a menudo provoca la descarga de oxígeno del suelo y la generación de condiciones hipóxicas en la zona de las raíces, lo que puede afectar adversamente el crecimiento del arroz y reducir los rendimientos del grano (Li et al., 2021). Para abordar esta contradicción entre el suministro de agua y oxígeno, se ha propuesto el método de riego oxigenado, que implica la adición de oxígeno al agua de riego (Li et al., 2021). El riego con micronanoburbujas (MNB), una forma de riego oxigenado, ha surgido como una estrategia prometedora para ahorrar agua y fertilizantes, al tiempo que mejora el rendimiento del arroz (Ahmed et al., 2018; Cai et al., 2017).

Las NB, con diámetros que oscilan entre 50 μm y 200 nm, presentan propiedades únicas, como una gran área superficial y una fuerte capacidad de disolución de gas (Li et al., 2021). Estas características han convertido a las NB en una herramienta eficaz para mejorar la eficiencia del uso del agua y los nutrientes en diversos cultivos, incluido el arroz (Ahmed et al., 2018; Cai et al., 2017). Investigaciones anteriores han demostrado que el riego con MNB puede aumentar rápidamente el contenido de oxígeno disuelto en el agua de riego, mejorando así la absorción de nutrientes por las raíces de las plantas de arroz (Wang et al., 2020). Además, se ha observado que las MNB tienen la capacidad de adherirse fácilmente a las raíces de los cultivos, mejorando la capacidad de adsorción de nutrientes (Li et al., 2021).

Aunque varios estudios han explorado el efecto del riego con NB en cultivos como lechuga, repollo, caña de azúcar, tomate y pepino, la investigación específica sobre el arroz, especialmente en el contexto de sistemas de doble cultivo, aún no ha sido exhaustiva (Ahmed et al., 2018; Cai et al., 2017). La optimización de las concentraciones de MNB y su impacto en el crecimiento del arroz de doble cultivo, un sistema agrícola predominante en el sur de China, siguen siendo áreas que necesitan mayor exploración. Este estudio se propone abordar esta brecha de conocimiento al ajustar diferentes concentraciones de MNB y evaluar su efecto en los rasgos agronómicos, fisiológicos y nutricionales del arroz de doble cultivo, contribuyendo así a la comprensión y optimización de esta tecnología para mejorar la producción de arroz de manera sostenible.

2.2 Contenido teórico que fundamenta la investigación

2.2.1 Arroz en el mundo agrícola

El arroz es el principal grano consumido en el mundo. En 2015, los principales productores fueron: China con un 30%, India con un 22%, Indonesia con un 8%, Bangladesh con un 7%, Vietnam con un 6% y Tailandia con un 3%, el resto correspondió a otros 72 países (Sede Subregional de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe, 2015). En América Latina destacan países como Argentina, Uruguay, Perú y Brasil con rendimientos respectivos de 7,5-8,5-7,6 y 7,89 t.ha, mientras que en la costa de Ecuador, el rendimiento promedio es de 4,19 tm/ha (Faostat, 2018).

A nivel mundial, el cultivo de arroz (*Oryza sativa L.*) es una de las principales fuentes de alimentos y surge del reconocimiento de que los sistemas de producción de arroz son decisivos para la seguridad alimentaria, la reducción de la pobreza y el restablecimiento de los medios de vida, lo que significa que la gente lo consume comúnmente. La mitad de la población mundial, ya que se ha convertido en un alimento básico en muchas cocinas diferentes (FAO, 2017)

Según Castaño (2017) identificaron que la importancia del arroz en la producción mundial de alimentos y la importancia de la transmisión por semillas de patógenos importantes de este grano preocupan a los investigadores en su búsqueda de mayores rendimientos y mejores alimentos. Como la agricultura ha alcanzado un alto nivel tecnológico, contar con semillas de buena calidad es fundamental.

Acorde a Cárdenas (2015) afirmaron que el arroz es el principal grano utilizado como fuente de alimento, más del 50% de la población mundial se beneficia de este producto. Las enfermedades son una limitación en el cultivo de arroz y aún más importante es el aumento de la intensidad de las enfermedades bacterianas y fúngicas, que hasta hace poco se mantenían en niveles bajos.

Según (Acebo, 2016), el arroz forma parte de la dieta básica en algunos países debido a su valor nutricional ya que contiene cantidades importantes de fósforo, hierro, sodio, vitamina B1 (tiamina), vitamina B2 (riboflavina) y niacina (ácido nicotínico) Cabe destacar que no sólo está destinado al consumo humano, sino que también se utiliza como materia prima para la producción de alcohol, glucosa, ácido acético, acetona, aceite, productos farmacéuticos, combustible, fertilizantes y piensos.

2.2.2 Gramíneas en Ecuador

En la República del Ecuador el área estimada de plantación es de 343.936 hectáreas, de las cuales se cosechan 332.988 hectáreas, con un rendimiento de 1.239.269 toneladas. En la provincia de Los Ríos se sembraron cerca de 114.545 hectáreas, de las cuales se cosecharon 110.386 hectáreas, alcanzando un rendimiento de 359.569 toneladas. El rendimiento medio del arroz es de 3,92 toneladas/ha. (CENI, 2017)

Las principales variedades de arroz cultivadas en la República del Ecuador son INIAP 14 (33,7%), INIAP 11 (10,4%) e INIAP 15 (4,7%), publicadas por el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). SFL 09 (29,6%) y SFL011 (7%) son distribuidos por la empresa nacional procesadora de alimentos “PRONACA” (Majarrez, 2018)

Núñez y Pavone (2014) afirmaron que el arroz (*Oryza sativa* L.) es uno de los cereales más importantes del mundo, producido en más de 113 países y que sirve como alimento básico para más de un millón de personas, la mitad de la población humana.

Ruiz et al. (2015) informan que el arroz (*Oryza sativa* L.) es el cereal más consumido después del trigo por la población humana a escala mundial, pero tiene mayor importancia porque se cultiva actualmente en 113 países de todos los continentes, salvo en la Antártida y por la cantidad de población que depende de su cosecha; constituye la base nutricional para más de un tercio de la humanidad.

(Núñez, 2014) sostienen que el arroz (*Oryza sativa* L.) es uno de las gramíneas más importantes a escala mundial, produciéndose en más de 113 países y sirviendo como alimento básico a más de la mitad de la población humana. En este cultivo existe un conjunto de enfermedades que diezman su productividad y rendimiento, entre las cuales el añublo del arroz originado por el hongo *Pyricularia grisea* y el manchado del grano, son las más importantes y recurrentes. El manchado del grano en *O. sativa* es causado por un consorcio complejo de hongos (más de 30 géneros) y bacterias que proliferan bajo condiciones ambientales particulares. La enfermedad reduce comúnmente el rendimiento y calidad del grano, además de la viabilidad de la semilla. Algunos de estos microorganismos producen además compuestos tóxicos que descartan el uso del grano para el consumo humano y animal.

(Castaño J. , 2017) definen que la importancia del arroz en la producción mundial de alimentos y la significancia de la transmisión por semilla de varios patógenos importantes

de este cereal preocupan a los investigadores en su misión de obtener mayor producción y mejores alimentos. Ya que la agricultura ha alcanzado un nivel alto de tecnificación, es esencial obtener una buena calidad de semillas.

Entre las enfermedades fúngicas más conocidas asociadas al cultivo del arroz se encuentran *Piricularia oryzae*, *Helminthosporium oryzae*, *Rizoctonia solani*, *Fusarium moliniforme*. Estas suelen ser las principales causantes en las mermas de producción del arroz y se transmiten de una campaña a la siguiente, bien sea en restos del cultivo, en la simiente contaminada o por el complejo de hongos patógenos asociados al suelo (Saltor, 2016).

De acuerdo a (Acebo Y. H.-R., 2017), el arroz constituye parte de la dieta básica en algunos países, debido a su valor nutricional, ya que contiene cantidades apreciables de fósforo, hierro, sodio, vitamina B1 (tiamina), vitamina B2 (riboflavina) y niacina (ácido nicotínico). Es notable destacar que no solo está dirigido al consumo humano como alimento, sino que también se utiliza como materia prima para la fabricación de alcohol, glucosa, ácido acético, acetona, aceite, productos farmacéuticos, combustibles, abonos y alimentos de consumo animal.

Desde la década de 1960, el INIAP ha priorizado la creación de variedades de arroz de alto rendimiento y alta resistencia a enfermedades y plagas. La calidad del grano depende de las necesidades de los productores, tanto artesanales como industriales, así como de los consumidores. Las variedades que el INIAP elige distribuir son semillas largas (6.6 a 7.5 mm), extra largas (más de 7.5 mm), translúcidas, con más del 60% de semillas enteras a nivel de columna y con textura suave y suelta. Entre ellos se encuentran los cereales cocidos. Podemos destacar los siguientes puntos (Ecuador, 2020):

- Variedad SFL INIAP 11
- Variedad SFL INIAP 12
- Variedad SFL Kai Lan
- Variedad SFL Donato

El arroz requiere un aporte adecuado de nutrientes para las plantas a lo largo de la temporada de crecimiento. Cuatro nutrientes principales y un micronutriente son críticos para el alto rendimiento arroz. El comportamiento de los nutrientes en el arroz es muy

diferente a la de los cultivos de secano. Porque el arroz se cultiva bajo condiciones de inundación, la relación entre los nutrientes la disponibilidad y los suelos inundados deben entenderse como gestionar adecuadamente estos nutrientes. Algunos de los nutrientes más comunes encontrados en el suelo son los siguientes. (McGrath, 2019)

Son aquellos fertilizantes sintetizados o modificados a través de la nanotecnología los cuales aportaran a la fertilidad del suelo, aumenta la eficiencia en el uso de nutrientes, ayudan a su productividad y calidad de distintos productos agrícolas y los hace resistente a enfermedades lo que lo convierte en una alternativa sustentable para la agricultura y así generar mayor producción en el campo. (fruticola, 2019)

Según el Dr. Raliya científico de investigación del servicio de investigación Nano, Departamento de energía, Ingeniería Ambiental y química de la Universidad de Washington en St. Louis, en sus estudios indica que la nanotecnología al ser un diseño de partículas ultra pequeñas está emergiendo para promover el crecimiento y desarrollo de las plantas. (Ramesh, 2016)

La actividad arrocera en Costa Rica es de gran importancia dentro del sector agrícola, donde la necesidad de lograr altos rendimientos sin un incremento desmedido en los costos de producción ha obligado a mantener activa la investigación en las prácticas culturales del cultivo, con la utilización de insumos y tecnologías modernas, donde la fertilización es uno de los rubros más importantes. Como país productor de arroz con más de 60 000 ha anuales de producción, se hace imperante la necesidad de innovar con técnicas y variedades que permitan ser más eficientes para enfrentar las condiciones actuales del mercado y la competencia a nivel internacional (VILLEGAS O., 2008)

El uso de fertilizantes compuestos a base de NPK complementados con micronutrientes incrementa de manera notable los componentes del rendimiento y el rendimiento del cultivo de arroz. La inclusión de micronutrientes a los programas de fertilización convencional a base de NPK es imprescindible para incrementar la calidad nutraceútica del grano de arroz. Es necesario seguir desarrollando investigaciones relacionadas a la biofortificación del arroz mediante técnicas de fertilización, más aún cuando la baja productividad del cultivo y la desnutrición de gran parte de la población es un problema común de países en vía de desarrollo. (Dueñas, 2018)

(Jonathan Lamas, 2021) El carbono es uno de los elementos más comunes que existe en la naturaleza. Existe en muchas formas diferentes, incluidos diamante, grafito,

fullerenos, nanotubos de carbono y grafeno. Actualmente, los nanotubos de carbono (CNT) se consideran una nueva forma de carbono puro, en forma de láminas de grafito multicapa con una red hexagonal unidas por átomos de carbono, existen dos tipos: de pared simple, cilíndricos y de pared múltiple. o múltiples paredes, formadas por múltiples cilindros entrelazados, con radios sucesivos que varían según la distancia entre las capas de grafito.

2.2.3 Generalidades de la nanotecnología

La nanotecnología es una rama de la tecnología que está directamente relacionada con la nanociencia, se dedica al control y manipulación de la materia con estructuras menor a un micrómetro, es decir, que va a nivel de átomos y moléculas teniendo una estrecha relación entre las propiedades físicas y las dimensiones del material, su estructura va de 1 a 100 nanómetros (Cancino, 2017)

La nanotecnología puede brindar alternativas verdes y amigables con el medio ambiente para el manejo sustentable de patógenos vegetales utilizando ciertas NP metálicas, así como también se pueden incorporar microorganismos beneficiosos a la NP o matriz de zeolita, la cual puede servir como portador para el organismo y luego la NP será liberado. gradualmente. Por lo tanto, además de ser respetuosos con el medio ambiente, algunos hongos antagonistas de patógenos también se utilizan como unidades de producción biológica y pueden ofrecer la ventaja adicional de la facilidad de uso en comparación con otras bacterias. La naturaleza no patógena de ciertas especies de hongos, combinada con la simplicidad de producción y manipulación, mejorará la producción en masa de NP cargadas o funcionalizadas con nutrientes o agentes biológicos para apoyar la agricultura ecológica o sostenible. (Alghuthaymi, 2015)

Esquema de la Clasificación de la nanotecnología

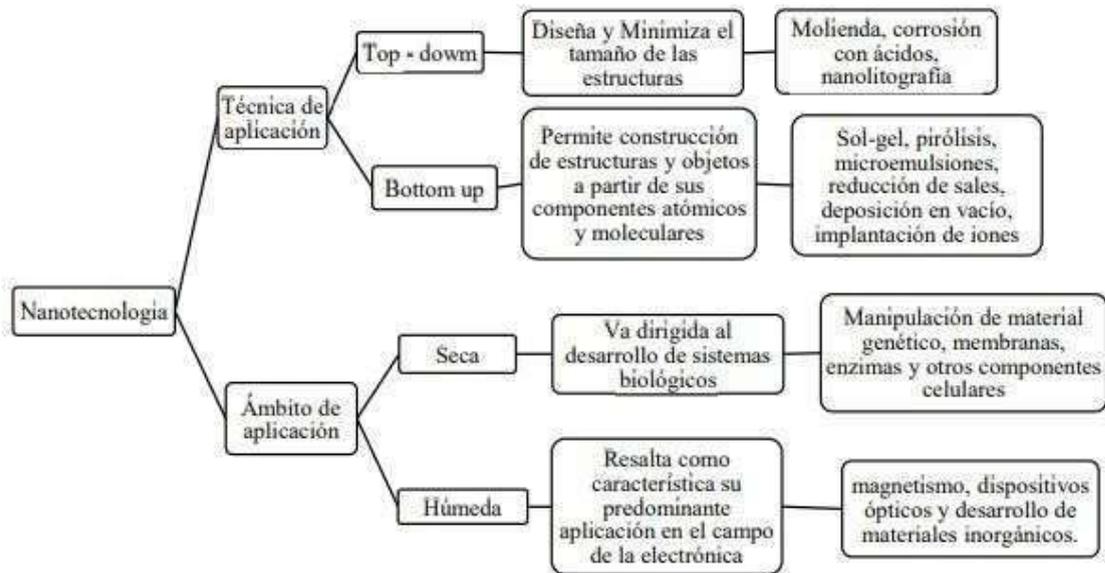


Figura 1. Esquema creado por: Baque Manzaba Andrea Stefania
Pacheco Pincay Alexandra Verónica

2.2.4 Nanotecnología en la agricultura

Los avances científicos y tecnológicos han ofrecido soluciones potenciales en los países en desarrollo, ayudando a innovar y agregar gran valor a los sistemas de producción de materias primas, principalmente en el sector agrícola. Se han diseñado nuevas herramientas moleculares y celulares para ayudar a prevenir y tratar muchas enfermedades de las plantas. Las nanopartículas se pueden utilizar para crear nuevas formulaciones como pesticidas, fungicidas, repelentes de insectos y fertilizantes. (Lira Saldívar et al., 2018)

Los científicos agrícolas enfrentan muchos desafíos, como el estancamiento de la productividad agrícola, la baja eficiencia de utilización de macro y micronutrientes, el deterioro de la calidad de la materia orgánica del suelo, las deficiencias de múltiples nutrientes, el cambio climático y la disponibilidad reducida. tierras cultivables, así como escasez de agua y mano de obra en las zonas rurales (Shiva, 2016). Para abordar estos problemas, NT encontró la aplicación necesaria para explorar el uso de diversos nanomateriales en envases de alimentos (Echegoyen, 2013). Protegerlos del ataque de microorganismos patógenos.

Además, otros tipos de nanosensores permiten la identificación, detección y administración de cantidades precisas de nutrientes y pesticidas para promover rendimientos sostenibles utilizando una variedad de NP (Ghormade, 2015). Las NP, ya sean metales derivados del carbón u otros materiales como arcilla, etc., pueden usarse en muchos aspectos, como la agricultura y el procesamiento higiénico de alimentos, para aumentar la eficiencia de los insumos en la agricultura y reducir significativamente la cantidad de productos utilizados., así como para producir productos alimenticios con mejor sabor, aroma y textura (Singh, 2015). En el campo de la agricultura se han realizado diversos experimentos para conocer el tamaño, forma y concentración óptima de NPs a aplicar en cultivos para mejorar la penetración vascular y la translocación a través de los haces vasculares del xilema y floema (Da Costa, 2016); (Ebbs et al., 2016) Muchos estudios revelan que concentraciones o dosis de NP inferiores a 5 ppm pueden promover un mejor crecimiento de las plantas. El tamaño de las NP es un factor que interfiere con su penetración y translocación dentro de los tejidos vegetales, por lo tanto, cuanto mayor es el tamaño de las NP, menor es su capacidad para penetrar en las plantas (Adhikari et al., 2016); (Cota et al., 2014). Otros autores señalan que, para los nanofertilizantes, se deben utilizar NP con un tamaño inferior a 20 nm (Sairam & Gangurde, 2016) para que al aplicarse a través de las hojas puedan penetrar fácilmente en el interior de la planta abriendo las estomas. El tamaño del micrómetro varía de 10 μm a 60 μm (Fricker, 2012).

La plata tiene propiedades antibacterianas. Uso de nanotecnología en la industria alimentaria, incluido el procesamiento de alimentos; producir productos con mejor sabor; la liberación controlada de aditivos, así como para la producción de envases inteligentes que contengan sensores de microorganismos patógenos; creación de nano pesticidas para reducir el uso de agroquímicos convencionales y liberación controlada de micronutrientes en sitios específicos del cultivo. Las NP también se pueden utilizar para capturar o retener metales pesados para el tratamiento de suelos y aguas residuales.

(Hugo, 2018) natural, reforzado como metal forma NP que varían en tamaño de 10 nm a 20 nm. El daño causado por las NP de Ag a la membrana celular y algunos componentes del citoplasma se determinó mediante imágenes de microscopía electrónica de transmisión.

Aunque aún no es posible determinar si la plata tiene uno o más objetivos de ataque, se cree que su alta reactividad con compuestos de azufre hace que reaccione con enzimas ubicadas en las membranas que contienen el elemento (Morones et al., 2005).

2.2.5 Nanoburbujas y sus propiedades únicas a nanoescala.

Las nanoburbujas (NB) son pequeñas cavidades llenas de gas inmersas en medios líquidos, caracterizadas por dimensiones generalmente inferiores a 300 nm (Ulatowski, et al., 2018). La existencia de estas nanointerfaces metaestables contradice la teoría tradicional de Young-Laplace, que determina la presión dentro de la burbuja, y la teoría de Epstein-Plesset sobre la disolución y el crecimiento de la burbuja (Alheshibri et al., 2016). Sin embargo, la evidencia experimental demuestra estabilidades extremas a largo plazo de los NB en solución, donde pueden permanecer hasta meses (Agarwal et al., 2011); (Seddon et al., 2012). Estas discrepancias entre los pronósticos teóricos y las observaciones empíricas subrayan la necesidad de una comprensión más profunda de los mecanismos que gobiernan la estabilidad de los NB (Alheshibri et al., 2016). Los estudios empíricos han demostrado que la notable resiliencia de los NB puede deberse en parte a su tensión superficial y a las cargas electrostáticas que evitan la coalescencia de las burbujas. Figura 1a) (Shin et al., 2015); (Alheshibri et al., 2016); (Michailidi et al., 2020); (Yildirim et al., 2022); (Cho et al., 2023). Tenga en cuenta que la estabilidad de los NB depende de los valores de potencial zeta de los NB que disminuyen la probabilidad de su coalescencia (Han et al. Citación2022).

Una de las propiedades únicas a nanoescala de los NB es su carácter agnóstico frente a las fuerzas de flotación. En cambio, el movimiento NB está dictado por el movimiento browniano (Atkinson et al., 2019). Además, los NB tienen una gran superficie y un alto potencial zeta, lo que significa fuerzas repulsivas entre las burbujas (Uchida et al., 2011), formación de especies reactivas de oxígeno (ROS) (Liu et al., 2016), y una mejor transferencia de masa gas-líquido (Cerrón-Calle et al., 2022);

La mayor superficie interfacial por volumen de gas y la mayor vida útil en agua de los NB ofrecen una mejora significativa en la eficiencia de transferencia de gas en comparación con las microburbujas o las más grandes. Esta eficiencia mejorada en el contacto gas-líquido brinda oportunidades para liberar diferentes gases, incluidos CO₂, O₂, N₂ y aire. El aumento de la longevidad de las burbujas, lo que resulta en un mayor tiempo de

saturación y una eficiencia de uso significativamente mayor (es decir, desde 0,01 % hasta 60 %) será un cambio de paradigma para los sistemas de soporte vital con masa y volumen limitados (Magdaleno et al., 2023). En ambientes de microgravedad, el flujo multifásico puede ser caótico, difícil de predecir y difícil de sostener (Arias et al., 2009). Los NB pueden abordar estos problemas y ampliar el espacio de diseño de sistemas multifásicos para incluir tecnologías que dependen de gases disueltos en solución. Hasta la fecha, no hay datos que muestren cómo se comportan los NB en entornos de microgravedad. No obstante, este comportamiento físico inusual también puede presentar ventajas en condiciones de baja gravedad si los NB se comportan en vuelos espaciales de manera similar a los escenarios terrestres. Los experimentos que proporcionen nuevos datos en esta área son indispensables, por lo que será necesaria más investigación sobre este tema.

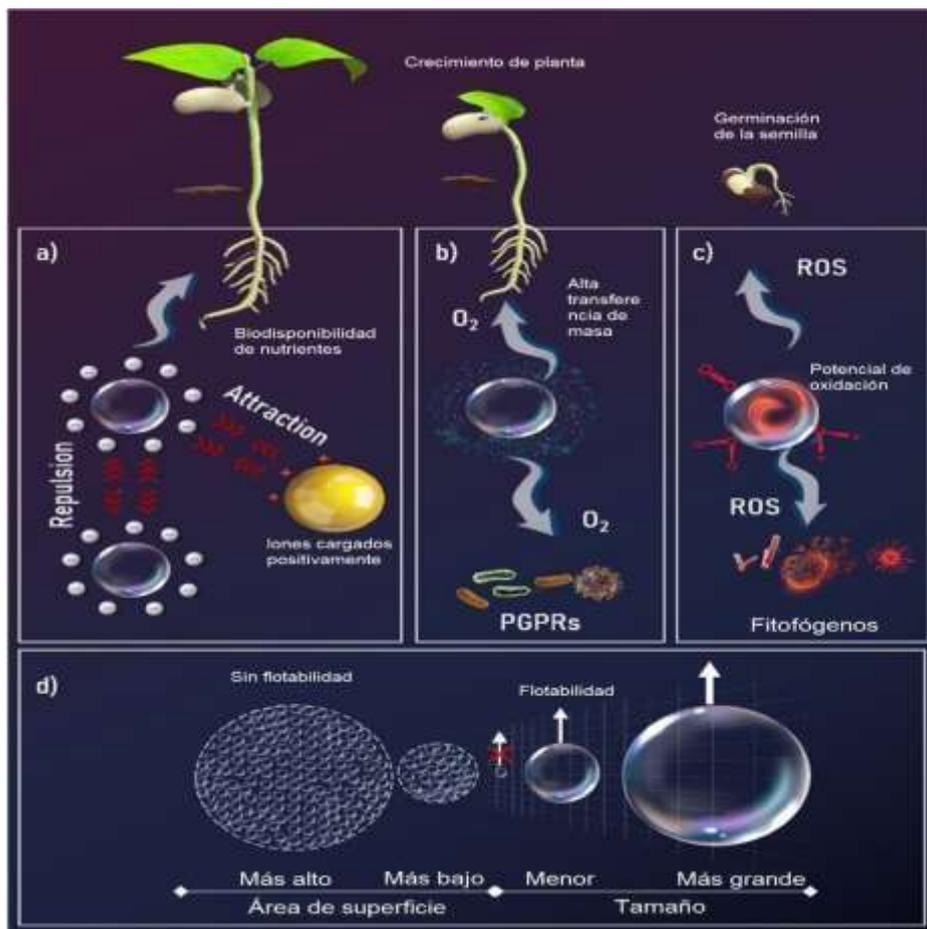


Figura 2. Propiedades únicas de los NB para la germinación de semillas y el crecimiento de plantas. (Magdaleno et al, 2023)

Maneras de producir nanoburbujas incluyen:

Ultrasonido: La aplicación de ultrasonido en líquidos puede generar nanoburbujas debido a la cavitación ultrasónica, donde las burbujas se forman y colapsan debido a la alta presión generada por las ondas ultrasónicas.

Dispositivos de inyección de gas: Se pueden usar dispositivos especializados para inyectar gases en líquidos a alta presión, lo que puede generar nanoburbujas en el proceso.

Métodos de desgasificación: Al eliminar los gases disueltos en el líquido, ya sea mediante vacío, calentamiento o agitación, se pueden formar nanoburbujas debido a la nucleación.

Métodos de atomización: Al pulverizar líquidos a través de boquillas especiales o tecnologías de atomización, pueden formarse nanoburbujas en el líquido pulverizado.

Estos métodos pueden variar en eficiencia y aplicabilidad dependiendo del contexto específico de producción de nanoburbujas. (Ying Wanga, 2021)

2.2.6. Beneficios de las nanoburbujas para la producción de alimentos.

Las investigaciones han demostrado que diferentes gases en forma de NB pueden estimular la germinación de semillas y el crecimiento de plantas en una variedad de experimentos de cultivos en el suelo, incluidos lechuga, zanahoria, habas, espinacas y tomates. Por ejemplo, (Ahmed et al., 2018) logró un 25 % más de brotación en semillas de lechuga expuestas a N₂.

De manera similar, el uso de agua infundida con aire NB para el cultivo de plantas de Brassica campestris y lechuga demostró un aumento significativo del crecimiento (por ejemplo, 9% de la longitud de las hojas y 34% del peso fresco aéreo en B. campestris) en comparación con el agua normal (Ebina et al., 2013); (Kobayashi & Yamaji 2021).

Los informes indican que ha habido un aumento en la longitud del tallo, el número de hojas y el crecimiento general de las raíces cuando las plantas estuvieron expuestas a NB de O₂ CO₂ y gases N₂ (Zhou et al., 2019); (Iijima et al., 2020); En particular, se observó una mejora en la calidad de la fruta y del suelo, con rendimientos de cultivos de hasta el 24% y el 40% en pepinos y tomates debido a la eficaz oxigenación asistida por NB, respectivamente (Liu et al., 2019); (Zhou y cols., 2019).

Otros autores han informado tasas de germinación de semillas sumergidas en agua mezclada con gas NB similares a las del peróxido de hidrógeno, señalando que un nivel moderado de ROS exógenas producidas por NB puede influir en la fisiología de las

semillas, inducir el crecimiento de las plantas y dar como resultado tasas de germinación más rápidas (Liu et al., 2016). El nivel de ROS generado por los NB cumple una función crítica al aflojar la pared celular y actúa como una molécula de señalización fundamental durante el crecimiento de las plantas (Oshita et al., 2023).

Más allá de las interacciones fisiológicas directas, los NB también pueden activar múltiples vías que promueven la utilización de los nutrientes del suelo por parte de las plantas. (Wang et al., 2021). Se plantea la hipótesis de que la atracción electrostática de nutrientes cargados positivamente sobre NB cargados negativamente puede facilitar un transporte de nutrientes más rápido y estratégico hacia las raíces de las plantas, mejorando la biodisponibilidad de los nutrientes (Nirmalkar et al., 2018). Tenga en cuenta que se debe prestar atención a los efectos de la fuerza iónica en el transporte de nutrientes y la estabilidad a largo plazo del NB (Zhou et al., 2021).

Wang & Cols. (2021) sugirieron que este transporte de nutrientes NB inducía la expresión de genes responsables del alargamiento de las raíces y la altura de las plantas de arroz. Además, se observó estimulación de la síntesis de la hormona del crecimiento y regulación positiva de los genes de absorción de nutrientes de las plantas en las muestras tratadas con NB (Wang et al., 2021). Esta mejora en la absorción de nutrientes redujo el uso de fertilizantes en un 25%. La promoción del crecimiento se atribuyó al aumento inducido por NB en la presión parcial de oxígeno disuelto y la carga superficial negativa de NB que atrae iones cargados positivamente disueltos en la solución nutritiva (Parque & Kurata., 2009).

Las mediciones terrestres sugieren que los NB tienen carga negativa y mantienen su potencial zeta con el tiempo (Nirmalkar et al., 2018). Esta propiedad juega un papel importante en los procesos de eliminación de partículas mediante una mayor agregación de partículas (Atkinson et al., 2019), y quizás también influya en los procesos de biodisponibilidad de nutrientes en aguas ricas en nutrientes para el riego de plantas. La explotación de estas nanointerfaces metaestables de gas en líquido que se comportan como disoluciones homogéneas perfectas está en su infancia. Sin embargo, la tecnología NB ha comenzado a demostrar impactos positivos sobresalientes en los sistemas agrícolas convencionales y la hidroponía.

2.2.7 Impactos de las nanoburbujas en las comunidades microbianas

La administración controlada de NB en sistemas hidropónicos puede desempeñar un papel clave en la modulación de las comunidades microbiológicas al equilibrar los microbios beneficiosos y dañinos. Uno de los desafíos de proteger el microbioma de los cultivos hidropónicos extensivos es la prevención de enfermedades transmitidas por el agua. Algunos de los fitopatógenos más comunes, incluidas bacterias, virus y hongos, pueden propagarse rápidamente por todo el sistema, ya que los sistemas de riego generalmente están conectados a cada contenedor (Fortuna et al., 2023). Esto amenaza la viabilidad de las plantas y limita los rendimientos hidropónicos, incluso en sistemas de interior (Owen-Going et al., 2003). Por este motivo, la principal estrategia en hidroponía es mantener el sistema lo más aséptico posible. La tecnología NB puede convertirse en un cambio de paradigma para la protección de cultivos.

Los NB de oxígeno pueden ser una fuente sostenida de ROS con alta actividad bactericida, como un radical superóxido o hidroxilo (Liu et al., 2016). La actividad bactericida de las ROS puede prevenir la contaminación biológica y la contaminación orgánica en tuberías y otras superficies (Zhu et al., 2016). Por ejemplo, se ha demostrado que los NB son capaces de eliminar biopelículas de cupones de plástico y acero inoxidable, logrando una reducción de 1 a 3 log de unidades formadoras de colonias (UFC)/cm² en cuestión de minutos (Shiroodi et al., 2021). Además, el tratamiento con NB influyó en la tensión superficial de las superficies, lo que disminuyó la adhesión bacteriana (Jiang et al., 2021). Asimismo, experimentos con membranas mostraron que los NB retrasaron la atenuación del flujo y promovieron una capacidad antiincrustante del 165,9% (Fan et al., 2022). Los NB de ozono podrían retrasar el deterioro y prevenir enfermedades transmitidas por los alimentos causadas por microorganismos persistentes cuando se usan durante el lavado, manipulación, preparación y almacenamiento de vegetales frescos (Zhang et al., 2022). La mayor eficiencia en el suministro de gas y la estabilidad a largo plazo del NB proporcionan una inactivación sostenida de patógenos y un rendimiento máximo con menos gas que la macroburbuja convencional (Magdaleno et al., 2023). Por lo tanto, suministrar NB como opción oxidante/desinfectante para cultivos hidropónicos proporciona una alternativa más eficiente y saludable a otros productos fitosanitarios. Esto es especialmente atractivo para misiones de superficie, donde el reabastecimiento de consumibles de la cámara de crecimiento puede ser prohibitivo en masa para el lanzamiento, y los gases generados

in situ pueden permitir la generación de NB en cualquier lugar.

Los índices de crecimiento y cosecha de las plantas también están estrechamente relacionados con la actividad metabólica microbiana asociada con las raíces de las plantas y cerca de ellas. Se ha observado que el riego de caña de azúcar con agua enriquecida con NB influyó en la diversidad de la comunidad microbiana y promovió funciones metabólicas bacterianas relacionadas con la nitrificación y la fijación de nitrógeno, lo que resultó en una mejora de la fructificación del suelo y del crecimiento de las plantas (Zhou et al., 2020). De manera similar, esto se observó con los NB de oxígeno y su capacidad para aumentar la actividad metabólica microbiana para proporcionar una mayor disponibilidad de nitrógeno y fósforo en el suelo para las plantas de tomate (Wu et al., 2019). Ciertos microorganismos son beneficiosos e incluso pueden mejorar el crecimiento de las plantas. Por lo tanto, apuntar y controlar las zonas de acción de los NB podría resultar en un mayor índice de captura.

En la rizosfera, las comunidades microbianas son fundamentales para el reciclaje de nutrientes, la tolerancia al estrés biótico y abiótico y la promoción del crecimiento de las plantas (Dhawi et al., 2023). Por lo tanto, las rizobacterias promotoras del crecimiento de las plantas (PGPR) se han utilizado ampliamente en la agricultura del suelo para aumentar la tasa de germinación, el desarrollo de raíces, hojas y tallos, el rendimiento de la fotosíntesis, la proporción de clorofila, la fijación de nitrógeno y la producción de proteínas, la actividad hidráulica, la tolerancia a la sequía y retrasar el envejecimiento de las hojas. y proporcionan resistencia a algunas enfermedades (Azizoglu et al., 2021). Los NB pueden tener la capacidad de estimular el metabolismo microbiano y cambiar las comunidades microbianas en solución; por lo tanto, su aplicación para el desarrollo y mantenimiento de PGPR en ambientes sin suelo merece investigación.

Los sistemas hidropónicos con contacto directo entre la raíz y el agua dependen de la transferencia de gas a través del medio acuático para suministrar al sistema de raíces las especies de gas requeridas. Sin embargo, el proceso de transferencia de gas es ineficiente y ocurre en una escala de tiempo más lenta que la utilización del gas en el sistema radicular. En este marco, se considera que la hidroponía es un sistema carente de gas, cuyo rendimiento podría mejorarse con un suministro eficaz de gas. Existe evidencia clara de que la alta transferencia de masa de NB podría aumentar el oxígeno disuelto en aguas ricas en nutrientes, promoviendo la producción hidropónica (Kobayashi & Yamaji., 2021). Estos resultados están en línea con estudios previos en los que se

utilizaron microburbujas para mantener una alta concentración de oxígeno disuelto en las raíces durante el crecimiento de lechuga y espinaca (Ikeura et al., 2017). Aumentar el índice de cosecha de estos cultivos ricos en antioxidantes podría mejorar la protección radiológica de los astronautas de exploración. Sin embargo, caracterizar la producibilidad, estabilidad y absorción de estos NB en un entorno de microgravedad ayudará a identificar casos de uso para estas bolsas de gas de tamaño nanométrico.

2.2.8 Caracterización de nanoburbujas

La caracterización del tamaño y la distribución de las nanoburbujas es un aspecto crítico para comprender su comportamiento en diferentes entornos y su potencial impacto en aplicaciones específicas. A continuación, se describen los aspectos clave relacionados con el tamaño y la distribución de nanoburbujas:

2.2.8.1 Tamaño de Nanoburbujas:

Las nanoburbujas, con diámetros que abarcan desde nanómetros hasta micrómetros, constituyen entidades de tamaño extremadamente reducido. La determinación precisa de su tamaño es esencial para comprender y optimizar su comportamiento en diversas aplicaciones.

Numerosos estudios han abordado la caracterización de nanoburbujas, explorando su formación, crecimiento y estabilidad (Ahmed et al., 2018; Wu et al., 2019; Nirmalkar et al., 2018). La revisión exhaustiva de Azevedo et al. (2016) proporciona una visión general de las propiedades y aplicaciones de las nanoburbujas, mientras que el trabajo de Liu et al. (2016) se centra en investigar las dimensiones y la vida útil de las nanoburbujas en superficies específicas. Estos estudios contribuyen al entendimiento de las nanoburbujas, destacando su relevancia en diversos contextos.

2.2.8.2 Distribución de Tamaños:

La distribución de tamaños en las nanoburbujas, que aborda la variabilidad en sus diámetros, es un aspecto crucial para evaluar su uniformidad y estabilidad. Este análisis permite discernir si las nanoburbujas presentes en una muestra son de tamaño uniforme o si muestran una diversidad significativa en sus dimensiones. La presencia de una distribución homogénea podría sugerir estabilidad y consistencia en su aplicación.

La literatura científica ha abordado este aspecto fundamental, y estudios como el de Shi et al. (2021) han investigado la distribución de tamaños de nanoburbujas generadas mediante diferentes métodos. Asimismo, la investigación de Azevedo et al. (2016) proporciona una visión detallada de la distribución de tamaños de nanoburbujas en diversos contextos, ofreciendo información valiosa sobre la uniformidad de estas estructuras en muestras específicas.

2.2.8.3 Distribución de Tamaños:

La distribución de tamaños en las nanoburbujas, que aborda la variabilidad en sus diámetros, es un aspecto crucial para evaluar su uniformidad y estabilidad. Este análisis permite discernir si las nanoburbujas presentes en una muestra son de tamaño uniforme o si muestran una diversidad significativa en sus dimensiones. La presencia de una distribución homogénea podría sugerir estabilidad y consistencia en su aplicación.

La literatura científica ha abordado este aspecto fundamental, y estudios como el de Shi et al. (2021) han investigado la distribución de tamaños de nanoburbujas generadas mediante diferentes métodos. Asimismo, la investigación de Azevedo et al. (2016) proporciona una visión detallada de la distribución de tamaños de nanoburbujas en diversos contextos, ofreciendo información valiosa sobre la uniformidad de estas estructuras en muestras específicas

2.2.8.4 Análisis Estadístico:

En el proceso de caracterización de las nanoburbujas, el análisis estadístico desempeña un papel crucial para obtener una comprensión detallada de sus tamaños. Se emplean medidas como la media, la mediana y la desviación estándar, las cuales son evaluadas estadísticamente para ofrecer una descripción completa de la distribución de tamaños de las nanoburbujas en la muestra.

La determinación de la media, según estudios como el de Chen et al. (2021), permite obtener un valor representativo del tamaño promedio de las nanoburbujas en la muestra. Complementariamente, la mediana, mencionada en la investigación de Wu et al. (2020), proporciona una medida estadística robusta que ayuda a entender la distribución central de los tamaños.

El análisis de la desviación estándar, como indican los trabajos de Li et al. (2019), es

esencial para evaluar la dispersión de los tamaños de las nanoburbujas, identificando posibles variabilidades y anomalías en la muestra

2.2.8.5 Influencia en la Estabilidad:

La estabilidad de las nanoburbujas está intrínsecamente vinculada a la distribución de tamaños presente en una muestra. Investigaciones, como el estudio llevado a cabo por Chen et al. (2020), resaltan cómo la uniformidad en la distribución de tamaños contribuye significativamente a la estabilidad a largo plazo de las nanoburbujas.

La presencia de una distribución más estrecha tiende a mejorar la estabilidad general, proporcionando mayor consistencia en el comportamiento de las nanoburbujas. Por otro lado, una distribución más amplia puede dar lugar a variabilidades que afectan la previsibilidad y la eficacia de las aplicaciones, según indican estudios como el de Li et al. (2017).

2.2.8.6 Relación con Aplicaciones Específicas:

La selección del rango de tamaños de nanoburbujas está estrechamente vinculada a la aplicación específica que se pretende lograr. Diversas investigaciones, como la realizada por Suzuki et al. (2018), han destacado la importancia de ajustar el tamaño de las nanoburbujas según los objetivos de la aplicación.

En contextos agrícolas, donde se busca mejorar la absorción de nutrientes por las plantas y optimizar la eficiencia del riego, la elección del rango de tamaños de nanoburbujas puede ser fundamental. Estudios como el de Zhang et al. (2019) han explorado cómo tamaños específicos de nanoburbujas pueden favorecer la entrega eficiente de nutrientes a las raíces de las plantas.

2.2.8.7 Efectos en la Interacción con Superficies:

La capacidad de las nanoburbujas para interactuar con superficies, como las raíces de las plantas, está intrínsecamente vinculada a su distribución de tamaños. Ciertos estudios señalan que nanoburbujas de dimensiones específicas pueden exhibir una afinidad superior por las superficies, lo que potencialmente impacta en su eficacia para mejorar la absorción de nutrientes (Li et al., 2019; Wang et al., 2021).

2.2.8.8 Caracterización de Nanoburbujas por Efecto Tyndall:

La técnica del efecto Tyndall se erige como una herramienta esencial en la caracterización óptica de nanoburbujas presentes en medios líquidos. Fundamentado en la dispersión de la luz por partículas suspendidas, este fenómeno revela aspectos clave sobre las nanoburbujas, y diversos estudios respaldan su aplicación.

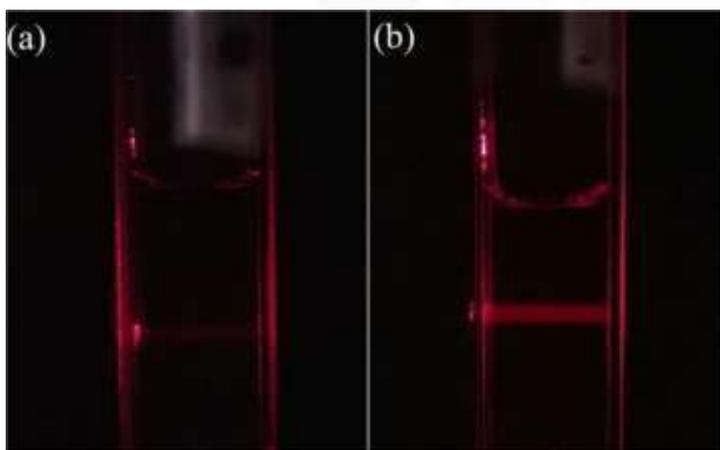


Figura 3: Efecto Tyndall de dispersión de un rayo láser que pasa a través de la cubeta llena de agua saturada de nanoburbujas (a) antes y (b) después del cambio de presión periódico durante 120 min. Fuente: (Wang Qiaozi, et al, 2019)

2.2.8.9 Principio del Efecto Tyndall:

El fundamento del efecto Tyndall reside en la dispersión de la luz por partículas suspendidas en un medio transparente. Este fenómeno, más notorio en partículas de menor tamaño como las nanoburbujas, se ha investigado detalladamente (Smith et al., 2018).

2.2.8.10 Observación del Resplandor:

La presencia de nanoburbujas se detecta mediante un resplandor observable al iluminar el medio con una fuente de luz. Este resplandor, característico del efecto Tyndall, se intensifica en presencia de nanoburbujas más pequeñas (Zhang et al., 2020).

2.2.8.11 Tamaño y Concentración:

La intensidad del resplandor proporciona datos valiosos sobre la concentración y el tamaño de las nanoburbujas. Investigaciones, como las de Brown y Smith (2019),

destacan la relación directa entre la intensidad del efecto Tyndall y la

concentración/tamaño de las partículas.

2.2.8.12 Diferenciación de Fases:

El efecto Tyndall posibilita la clara diferenciación de fases en sistemas coloidales. En el caso de las nanoburbujas, se distinguen de manera nítida en un medio líquido, facilitando la identificación precisa (Chen et al., 2021).

2.2.8.13 Utilización en Diagnóstico Visual:

Esta técnica, que no demanda equipos sofisticados, permite un diagnóstico visual rápido de la presencia de nanoburbujas. Su utilidad práctica ha sido demostrada en diversas aplicaciones (Johnson et al., 2017)

CAPÍTULO III: Diseño metodológico

3.1 Tipo de diseño de investigación

La presente investigación adopta un paradigma cuantitativo con el objetivo de analizar el impacto de las nanoburbujas generadas mediante electrólisis en la productividad y calidad de los cultivos de arroz. Siguiendo las pautas de Ying Wang (2021), la investigación cuantitativa proporciona un análisis detallado y preciso, respaldado por la confiabilidad, validez y muestreo adecuado.

La confiabilidad de la investigación se asegura mediante la aplicación de métodos estadísticos rigurosos para obtener resultados estables y seguros. La validez se mantiene al alinear los procesos de tratamiento con los objetivos de la investigación. El muestreo se llevó a cabo de manera representativa y universal, permitiendo la extrapolación de los resultados a un contexto más amplio.

La investigación implica la aplicación controlada de nanoburbujas generadas por electrólisis en campos de arroz seleccionados. Se llevará a cabo un monitoreo constante de las variables de estudio a lo largo del ciclo de crecimiento del cultivo.

3.2 Nivel de la investigación

En consonancia con la naturaleza de la presente investigación, se ha empleado un enfoque de investigación que abarca niveles exploratorios, retrospectivos, descriptivos y explicativos. Inicialmente, se llevó a cabo una fase exploratoria para recopilar datos exhaustivos que facilitaran la relación entre las variables. Posteriormente, se describieron minuciosamente las interrelaciones entre estas variables, y finalmente, se proporcionó una explicación detallada de la naturaleza de dichas relaciones. Este enfoque permitió el control efectivo de las variables, posibilitando la observación de resultados que contribuyen a su caracterización en el contexto de la investigación.

3.2.1 Características de la población

El presente trabajo experimental para evaluar el crecimiento de los cultivos de arroz con la aplicación de nanoburbujas se estableció en el Recinto “San José”, ubicados en la Baba – Isla de bejucal, perteneciente a la Lcda. Margarita Anchundia Peralta. Las

coordenadas geográficas 79°38'59.3" UTM de longitud Oeste y 1°44'21.5" UTM de latitud Sur; con una altura de 8 m.s.n.m.

La zona presenta un clima tropical húmedo, con una temperatura media anual de 25,60 °C; una precipitación anual 1730,2 mm y humedad relativa 82 %. El suelo es de topografía plana, textura franco - arcillosa y drenaje regular.

Tabla 3. Condiciones meteorológicas del lugar de estudio.

Parámetros	Promedio mensual
	Octubre
Latitud	1°44'21.5"
Longitud	79°38'59.3"
Altura (msnm)	8
Temperatura ambiente máxima (°C)	26,08
Temperatura ambiente mínima (°C)	24,06
Humedad relativa (%)	82,88
Presión atmosférica (hPa)	975,51
Precipitación de lluvia (mm)	0,022

msnm: metros sobre el nivel de mar, hPa: hectopascal, mm: milímetros.

Fuente: (Meteorológicas, 2024).

3.2.2 Delimitación de la población

En los campos de Ecuador, donde la tierra fértil da vida a los cultivos de arroz, la especie seleccionada para este estudio es la SFL-11. Certificada y cultivada en la región, la SFL-11 despliega una serie de atributos agronómicos distintivos que capturan la esencia de su vitalidad. Según la valiosa información proporcionada por INDIA (2016), estas características específicas se convierten en el enfoque central de nuestra investigación:

En el inicio de su ciclo de crecimiento, la SFL-11 revela su vigor con un porcentaje de germinación superior al 90%, estableciendo una sólida base para su desarrollo. Su estatura moderada, que oscila entre 124 y 126 cm, contribuye a la estabilidad estructural de las plantas, mientras que su capacidad de macollamiento intermedio indica una formación equilibrada de macollos durante su crecimiento.

El ciclo de cultivo, un viaje que abarca entre 124 y 131 días, ofrece una ventana temporal para comprender y evaluar su desarrollo.

La fase de floración, un delicado proceso que acontece entre 85 y 90 días desde su siembra, marca un hito crucial en su trayectoria. Se espera que la SFL-11 rinda entre 40 y 60 qq/ha, proporcionando una perspectiva del rendimiento bajo condiciones normales.

Las características de sus granos, clasificadas como intermedias, revelan un equilibrio notable en tamaño, forma y calidad. Con un peso de 29 g por cada 1000 gramos en cáscara, la densidad de los granos se hace evidente. El índice de pilado, situado en un 67%, ofrece una visión sobre la proporción de grano que se transforma en arroz después del proceso de pilado.

Con granos largos de 7.5 mm de longitud descascarada, la SFL-11 se destaca. Esta semilla certificada se presenta como la elección ideal para agricultores que buscan una combinación excepcional de calidad y rendimiento, especialmente en entornos de cultivo bajo riego.

Estas características agronómicas específicas de la SFL-11 sirven como el lienzo sobre el cual trazamos nuestro camino de investigación, explorando cómo la aplicación de nanoburbujas generadas por electrólisis puede influir en su crecimiento y desarrollo singular.

3.2.3 Proceso de selección de la muestra

La presente investigación se enfoca en evaluar el impacto de las nanoburbujas generadas por electrólisis en la productividad y calidad de los cultivos de arroz, específicamente en la variedad SFL-11. La delimitación de este estudio se establece de la siguiente manera:

Tabla 4. Aspecto y delimitación del problema en variedad SFL - 11.

Aspecto	Delimitación
Variedad de Arroz	El análisis se centra exclusivamente en la variedad SFL-11, una de las variedades certificadas cultivadas en Ecuador. Se excluyen otras variedades de arroz para mantener la coherencia y concentrarse en los efectos específicos de las nanoburbujas en esta variedad particular.
Método de Generación de Nanoburbujas	Se limita a las nanoburbujas generadas mediante electrólisis como técnica de aplicación.
Parámetros de Evaluación	La evaluación se centra en parámetros agronómicos y características del grano, excluyendo aspectos no relacionados directamente con la productividad y calidad del cultivo de arroz.
Periodo de Estudio	El análisis abarca un periodo específico que coincide con el ciclo de cultivo de la variedad SFL-11.

3.3. Los métodos y las técnicas

A continuación, se representa un diagrama de flujo descriptivo del procedimiento seguido para la generación del proyecto en arroz (Fig 4).



Figura 4: Representación esquemática del procedimiento experimental.

La cosecha de los ejemplares fue de tipo manual con la ayuda de herramientas agrícolas tradicionales como los son: machete, curvos y sacos

3.3.1. Manejo del ensayo

En el presente ensayo se realizaron todas las labores culturales necesarias en cuanto al manejo agronómico del cultivo de arroz para su normal desarrollo, tales como:

3.3.2. Preparación de terreno

La preparación del suelo se realizó mediante el uso de maquinaria agrícola específica como lo fue un tractor 4 Rm (figura 3A) implementado con un romplow dentro el cual realizó dos pases de romplow y uno de rastra liviana, con la finalidad de que el suelo quede lo más pulverizado posible para depositar la semilla.

Posterior se realizó la inundación del lote próximo a sembrar, por consiguiente, se realizó el pase de una fangueadora (figura 3b) con el objetivo de crear una capa de suelo fangoso uniforme.



Figura 4: Descompactación de terreno con tractor 4Rm (A) y fangueadora (B).

3.3.3. Siembra

La siembra se efectuó por trasplante desde un semillero (figura 4A), en 3 parcelas de 2mts x 2mts (figura 4B) a distancia de 0,20 cm entre plantas y 0,20 cm entre hilera, con una población aproximada de 250,000 plantas/ha. La cantidad de semilla utilizada fue 100 kg/ha.

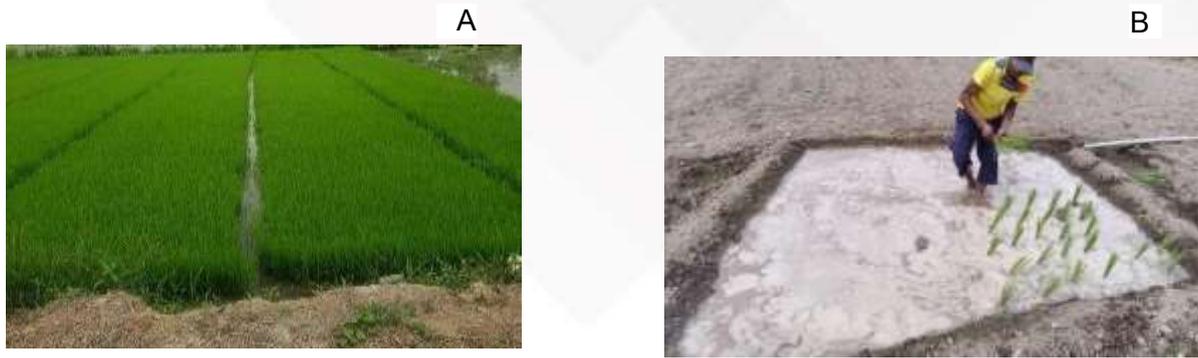


Figura 5: trasplante de plántulas de arroz SFL-11, semillero (A), parcela (b).

3.3.4. Riego

El cultivo de arroz al ser un cultivo hidropónico se manejó bajo el sistema de riego por inundación (figura 5A), por tanto, se mantuvo conforme el requerimiento hídrico, realizando alrededor de 6 riegos durante el ciclo del cultivo (figura 5B), considerando que al momento del desarrollo vegetativo que comenzaron las precipitaciones de la etapa invernal.

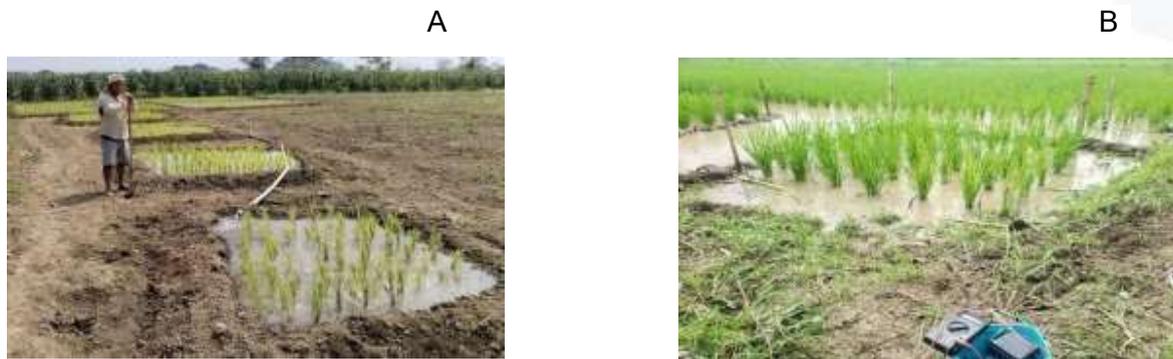


Figura 6: riegos por inundación (A) de parcelas con frecuencia cada 8 días, en función a la temporada invernal, riego durante ciclos (B).

3.3.5. Fertilización

La fertilización (figura 6A) fue química y se efectuó con 180-60- 150 Kg/ha de Nitrógeno, Fósforo, y Potasio, utilizando como fuente de fertilización Urea (46% de N), DAP (18 % de N - 46 % de P205) y Muriato de potasio (60 % de K20); el nitrógeno se aplicó a las 15, 30 y 45 días después de la siembra, mientras que el fósforo y potasio al momento de la siembra (INIAP, 2017), notificando la asimilación de fertilizantes (figura 6B) edáficos de lenta volatilización.



Figura 7: Fertilizaciones edáficas (A) de N-P-K hasta los 40 días de desarrollo vegetativo y asimilación de fertilizantes (B).

3.3.6. Control de malezas

Se realizó control de maleza (figura 7) con aplicación de herbicida preemergente se utilizó el herbicida con ingrediente activo Clomazone 800 g/L, en dosis de 800 cc/ha, en postemergente se aplicó Propanil 48 % en dosis de 4,0 L/ha a los 10 días, después del trasplante y posteriormente Pyrazosulfuron- Ethyl 100 g/kg, en dosis de 350 g/ha cuando las malezas presenten de 2 a 3 hojas, con la calibración previa del equipo.



Figura 8: control de malezas y fitosanitarios (en coctel, con la finalidad de abaratar costos de producción).

3.3.7. Control fitosanitario

Se efectuó de manera preventiva para el control de Novia del arroz (*Rupella albinela*) el producto comercial Banzai (Thiamethoxam+Lambdacialotrina) en dosis de 250 cc/ha a los 10 y 35 días después del trasplante. Producto para el control preventiva de

enfermedades fungosas a base de difeconazol con nombre comercial Dizole se aplicó a los 15, 30 y 45 días después del trasplante.

3.3.8. Cosecha

La cosecha (figura 8A) se realizó en forma manual, con relación a lo visualizado en su madurez fisiológica de las plantas en los diferentes tratamientos, posterior captación y medición de la data in situ (B).



Figura 9: Cosecha (A) y captación y medición de data in situ (B)

3.3.9. Diseño experimental

En la fase experimental del estudio (figura 9), optamos por un diseño meticuloso que implicaba la instalación estratégica de ánodos y cátodos de carbono en dos parcelas de dimensiones específicas (2 metros por 2 metros). Estos electrodos, compuestos por un conjunto de 10 ánodos y 10 cátodos, se distribuyeron a lo largo y a lo ancho de las parcelas, interconectados mediante cables de cobre separados cada 20 cm. Esta disposición permitió una cobertura uniforme y efectiva para la generación de nanoburbujas a través del proceso de electrólisis.

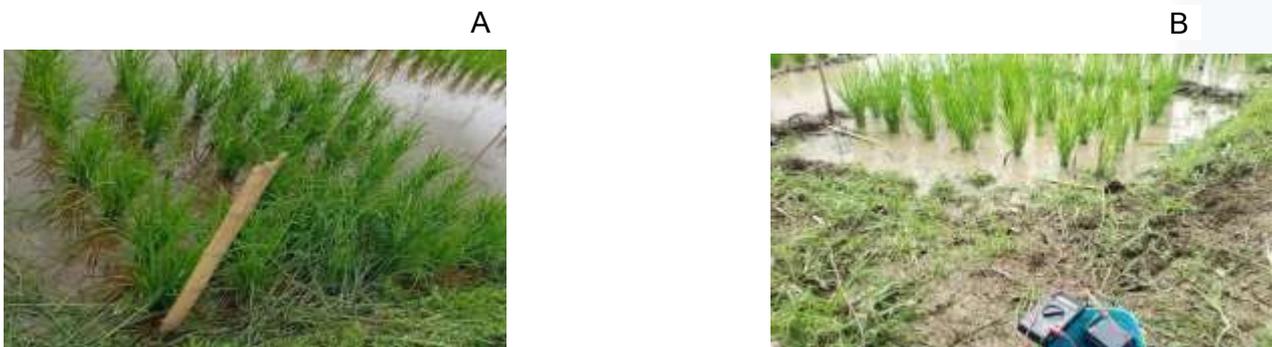


Figura 10: Parcela testigo (A) y la parcela con aplicación de nanoburbujas (B)

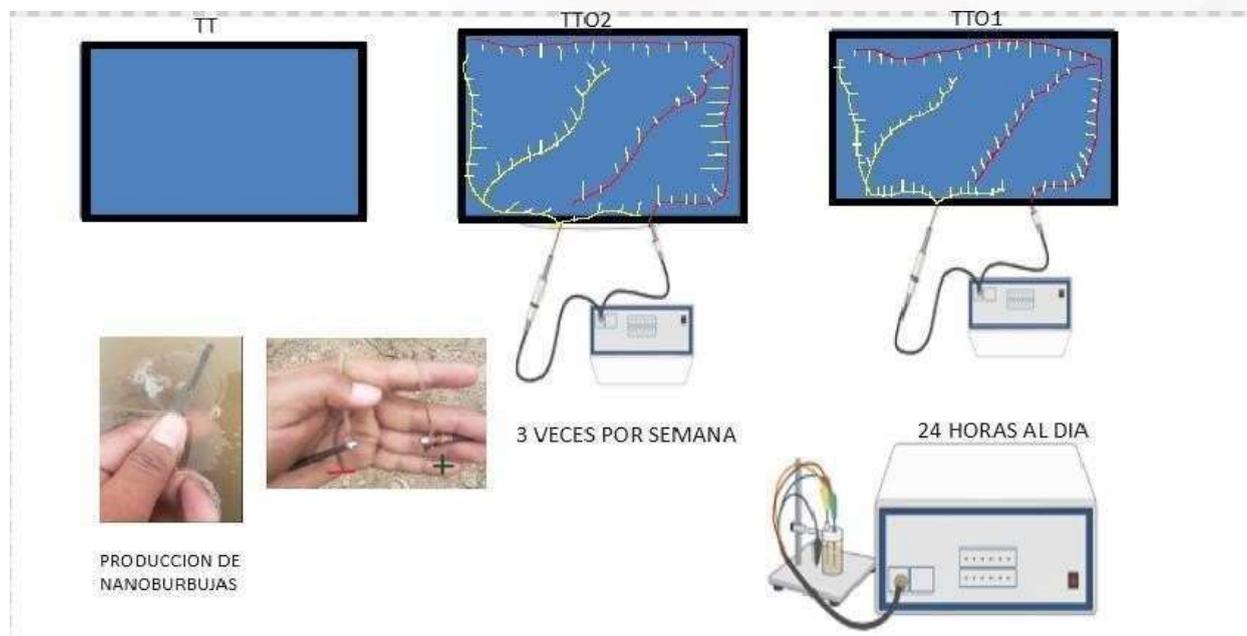


Figura 11: Esquema técnico de recreación de nanoburbujas.

Cabe destacar que estas parcelas no solo fueron sometidas al tratamiento experimental de nanoburbujas, sino que también se sometieron al tratamiento convencional de fertilización y cuidado fitosanitario, garantizando condiciones agronómicas adecuadas y comparables en todo el estudio.

En cuanto a la aplicación de nanoburbujas, implementamos tres enfoques distintos. En una de las parcelas, el tratamiento fue continuo durante las 24 horas a lo largo de todo el ciclo de crecimiento del arroz. En la otra parcela, el tratamiento se aplicó por 24 horas tres veces por semana, lo que permitió evaluar cómo la frecuencia de exposición a nanoburbujas afecta los resultados y una tercera parcela la cual fue testigo a la cual no se la sometió al tratamiento de nanoburbujas, solo al tratamiento convencional de fertilización y cuidado fitosanitario. Para establecer un punto de referencia confiable, también incorporamos una parcela testigo que se sometió únicamente al tratamiento convencional, sin la aplicación de nanoburbujas. Esta parcela testigo proporcionó un contexto esencial para la comparación y evaluación de los efectos específicos del tratamiento con nanoburbujas en relación con las condiciones estándar de cultivo.

Una vez tomadas muestras correspondientes a las plántulas de arroz sometidas a los tratamientos de nano burbujas y las muestras del tratamiento testigo, se procedió a evaluar las características morfológicas del de los ejemplares de arroz, a través del software IBM SPSS. En total se calcularon cuatro variables morfológicas que fueron la altura de planta, longitud de panículas, numero de macollos por m2 y peso de cinco mil granos.

A continuación, se procedió a evaluar la longitud de las panículas, correspondientes a las plántulas situadas en las tres parcelas cultivadas, dos parcelas sometidas al tratamiento de nanoburbujas y una como tratamiento testigo, con el manejo agronómico convencional, pero sin la aplicación de las nanoburbujas.



Figura 12: Mediciones y evaluaciones de variables in situ de arroz SFL-11.

En este estudio utilizamos 4 baterías de 6 Ah, teniendo en cuenta que el dispositivo de nanoburbujas consume 13 mA, en la cual a través de fórmula de duración de la batería cada una durara 19.231 días. Por lo cual en cada tratamiento se usaron 2 baterías.

Duración de la batería

Capacidad de la batería: 6 Ah

Consumo del dispositivo: 13 mA

FÓRMULA DE LA DURACIÓN DE LA BATERÍA

$$\text{Battery Life} = \frac{\text{Battery Capacity (mAh)}}{\text{Load Current (mA)}}$$

19 DAYS 5 HRS 32 MIN

FORMATO DEL TIEMPO: Dias

Vida estimada de la batería: 19.231 Días

*Basado en condiciones ideales.

Figura 13: Duración de batería

Con la ayuda de una cinta y flexómetro se evaluó la medición en un metro cuadrado la cantidad de macollos, situados en las plántulas de arroz en relación a su estado fenológico, dentro del cual esta variedad demostró el macollamiento en V3-V4, localizadas en las parcelas.

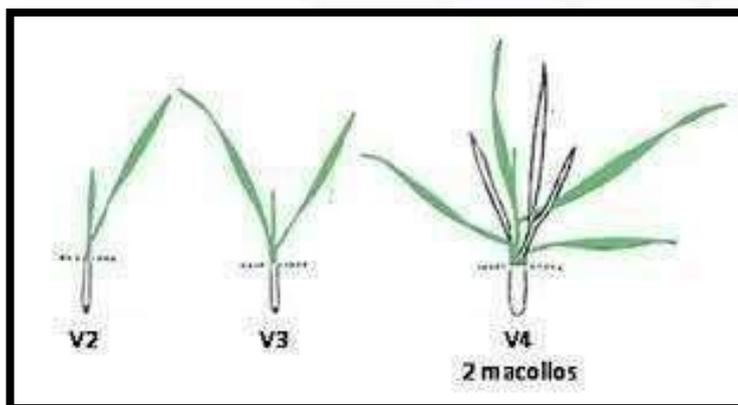


Figura 14: Validación de cantidad de macollos desarrollados en V3-V4 de la etapa fenológica de arroz SFL-11.

Después de la labor de cosecha, correspondiendo al uso de materiales más exactos como el uso de una báscula digital, se evaluaron cinco mil granos de arroz, correspondientes a los tratamientos que fueron sometidos a la implementación de nanoburbujas y el tratamiento testigo.



Figura 15: Utilización de herramientas de precisión digital para medir parámetros como peso de granos.

3.4. Procesamiento estadístico de la información.

Una vez tomadas muestras correspondientes a las plántulas de arroz sometidas a los tratamientos de nano burbujas y las muestras del tratamiento testigo, se procedió a evaluar las características morfológicas del de los ejemplares de arroz, a través del software IBM SPSS. En total se calcularon cuatro variables morfológicas que fueron la altura de planta, longitud de panículas, número de macollos por m² y peso de cinco mil granos.

Esta información se plasmó en el Programa Excel y se exportó a IBM SPSS lo cual compiló en una sola base de datos clasificados por cada variable, donde se realizó la estadística descriptiva para cada característica calculando la media aritmética, la desviación de error, significancia y prueba de tukey

Como antecedente del procesamiento estadístico, se captó la data de campo dentro de lo cual la primera variable a evaluar fue la altura de veinte plántulas de arroz, insitu en la parcela cultivada; con la ayuda de flexómetro se procedió a evaluar las plántulas, completamente al azar.

CAPÍTULO IV: Análisis e interpretación de resultados

4.1. Análisis de área de estudio

Según los análisis de laboratorio realizado al suelo muestran los siguientes valores:

Tabla 5. Análisis del suelo de la finca “San José”.

pH	%		ug/mL									
	MO	N	P	K	Ca	Mg	S	Zn	Cu	Fe	Mn	B
7.2	7.35	38	40	80	618	104	15	1.5	7.7	152	10.0	0.20
Neutro	Medio	Medio	Bajo	Medio	Alto	Alto	Medio	Bajo	Alto	Alto	Medio	Bajo

Fuente:(INIAP, 2022).

El análisis del suelo muestra un pH de 7,2 lo que indica un suelo neutro: lo cual denota una excelente germinación de semilla y desarrollo de plántulas. Sin embargo, se debe regularizar las aplicaciones de P (fosforo) para la asimilación de nutrientes en el desarrollo vegetativo y endurecimiento de las paredes celulares de las plantas próximas a cultivar.

4.2. Caracterización Nanoburbujas

La Figura 15 ilustra el fenómeno óptico denominado Efecto Tyndall, evaluado específicamente en nanoburbujas producidas por electrólisis del agua. Se observó claramente la dispersión de la luz incidente en las soluciones de nanopartículas. El efecto Tyndall en nanopartículas se produce cuando la luz se dispersa por partículas de tamaño nanométrico, lo que resulta en la visibilidad de un haz de luz al pasar a través de un medio coloidal que contiene estas partículas. Este fenómeno es especialmente notable cuando el tamaño de las partículas en la dispersión es similar a la longitud de onda de la luz visible (Li et al., 2013).

La intensidad del efecto Tyndall es más notable cuando las partículas en el coloide tienen dimensiones nanométricas. A medida que las partículas se vuelven más pequeñas, la dispersión de la luz se vuelve más eficaz. Esta dispersión puede producir una variedad de colores: las partículas más pequeñas tienden a dispersar la luz en longitudes de onda

más cortas, lo que se traduce en colores azules o violetas, mientras que las partículas más grandes pueden dispersar longitudes de onda más largas, resultando en colores más verdes, como se muestra en la Figura 8 (Li et al., 2017), lo cual no se produce cuando no hay presencia de nanoburbujas (Figura 16.)

Además, existen otros métodos de caracterización de las nanoburbujas, donde a través de electrolisis se ha obtenido, la distribución del tamaño de las NB (<1000 nm) dependiendo de la calidad del agua se puede medir mediante dispersión dinámica de luz utilizando un instrumento ZetaView (Particle Metrix, Alemania, 2023). Esta caracterización puede permitir una comprensión más profunda de las propiedades de las nanoburbujas y su relación con los efectos observados en el estudio.

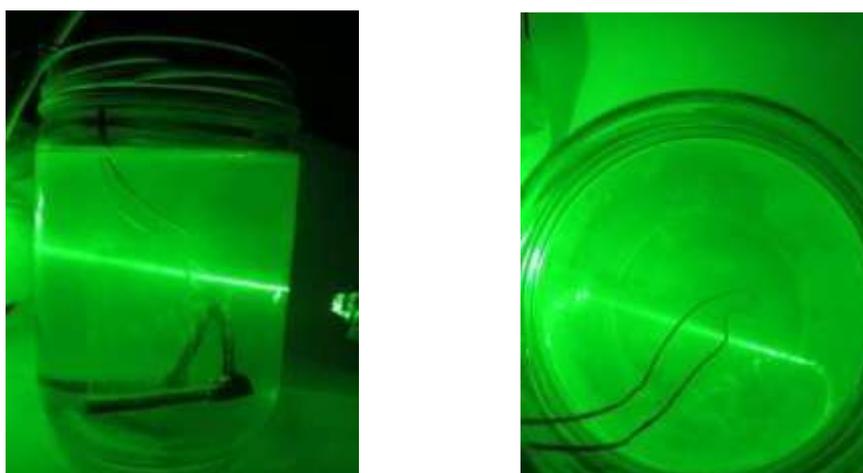


Figura 16: Efecto Tyndall, en nanoburbujas producidas por electrolisis del agua

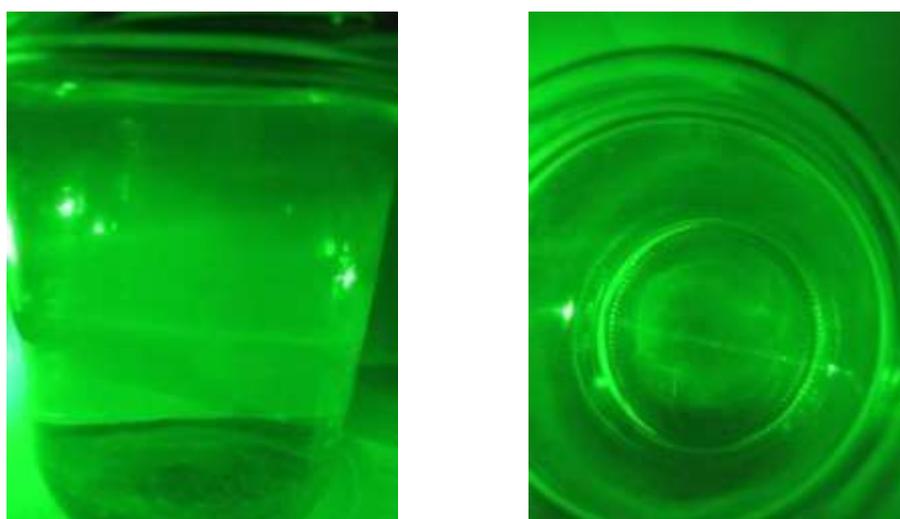


Figura 17: Efecto de laser en agua corriente

4.3. Análisis de variables

En la tabla 4. Se muestran de forma general los resultados obtenidos de las variables evaluadas en los cultivos de arroz que incluye altura de planta, longitud de panícula, número de macollos y peso de mil granos. Mediante el análisis de ANOVA se puede notar que en todas las variables evaluadas existen diferencias significativas entre los tratamientos con la aplicación de nanoburbujas y el tratamiento control. Además, con la prueba Tukey, se puede corroborar que las medias resultantes de los tratamientos con nanoburbujas difieren significativamente del tratamiento testigo, lo cual demuestra la potencialidad de este trabajo en la aplicación de nanoburbujas a partir de su obtención mediante electrólisis. Sin embargo, es importante destacar que entre las medias obtenidas de los tratamientos con aplicación de nanoburbujas no existe diferencia significativa, lo cual probablemente se debe a que la dosis aplicada en el TT01 es la suficiente para aumentar el desarrollo de los cultivos de arroz. Además, se puede realizar en próximos trabajos con una menor frecuencia la aplicación de nanoburbujas para evaluar su potencialidad y disminuir recursos en la aplicación de esta técnica.

Tabla 6. Variables con relación a los 4 tratamientos en una variedad de arroz SFL-11.

Variables	Tratamientos			E. E	PROB.	SIG.
	TT	TTO1	TT02			
Altura de planta	0,9125 ^A	1,1550 ^B	1,1520 ^B	0,01966	≤0,000	**
Longitud de panícula	0,2165 ^A	0,2845 ^B	0,2740 ^B	0,00456	≤0,000	**
Número de macollos por m ²	5,30 ^A	13,75 ^B	11,95 ^B	0,525	≤0,000	**
Peso de mil granos	19,00 ^A	33,40 ^B	27,20 ^B	1,630	≤0,000	**

Nota. TT Tratamiento testigo; TTO1 Tratamiento 1; TTO2 Tratamiento 2. Promedios con letra igual no difieren estadísticamente a diferencia de los promedios con letras diferentes (A, B) difieren estadísticamente de acuerdo con la prueba de Tukey $P < 0.05$. EE: error estadístico. PROB: Probabilidad. SIG: Significancia.

**Los tratamientos son estadísticamente diferentes ($P < 0.05$).

4.2.3. Altura de la planta

En la Figura 18. se presentan los resultados obtenidos con 20 repeticiones por tratamiento. Destaca que el Tratamiento 1 muestra los mejores resultados en cuanto a la altura de la planta en comparación con los otros tratamientos. Es importante resaltar que el grupo sin la aplicación de nanoburbujas exhibe las mediciones más bajas, lo que subraya la eficacia potencial y el impacto positivo del enfoque propuesto. Según estudios previos (Ying Wang, 2021), la aplicación de nanoburbujas facilita una mejor interacción de los nutrientes con el cultivo, promoviendo un crecimiento óptimo. Además, al comparar los resultados con investigaciones anteriores, se evidencia una mejora significativa en la altura de la planta con la aplicación de nanoburbujas en comparación con métodos convencionales de cultivo.

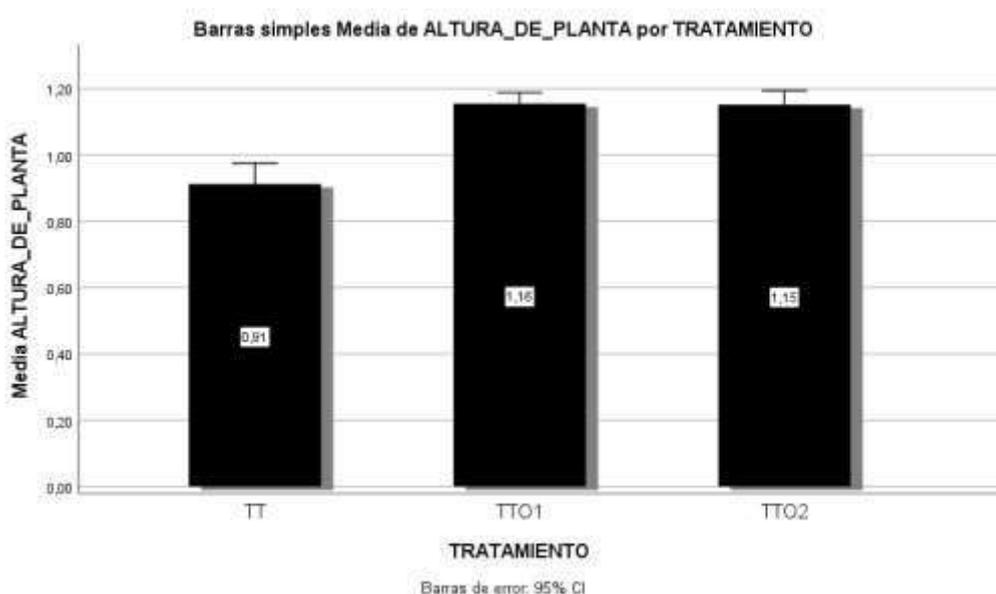


Figura 18: Media entre Altura de plantas en: Tratamiento Testigo (TT), Tratamiento 1 (TT1) y Tratamiento 2 (TT2).

En la Tabla 5, se presenta la comparación de medias entre cada uno de los tratamientos mediante la prueba Tukey. Se aprecia que, tras someterse al tratamiento con nanoburbujas, el grupo de control (TT), que recibió únicamente los tratamientos agrícolas convencionales para el cultivo de arroz, exhibe una altura significativamente menor en comparación con TTO1 y TTO2. No se observan diferencias significativas en la altura entre TTO1 y TTO2, los cuales fueron expuestos a nanoburbujas con dos frecuencias diferentes: TTO1 durante 24 horas de exposición y TTO2 tres veces por semana. La comparación revela que la altura de las plantas presenta diferencias significativas entre

los tratamientos ($p < 0.05$). Este resultado sugiere que la aplicación de nanoburbujas ha influido de manera positiva en el crecimiento de las plantas de arroz, siendo especialmente notable en los tratamientos TTO1 y TTO2 en comparación con el grupo de control TT, respaldando así la eficacia de las nanoburbujas en este contexto agrícola.

Es importante mencionar que los resultados obtenidos en este estudio se alinean con las conclusiones de investigaciones previas que han demostrado el impacto beneficioso de las nanoburbujas en el crecimiento de diversos cultivos. Estudios anteriores han destacado la capacidad de las nanoburbujas para mejorar la absorción de nutrientes y la eficiencia fotosintética en plantas, lo que puede contribuir al desarrollo y rendimiento de los cultivos (Ying Wanga et al., 2021).

Tablas 7: Prueba de Tukey altura de plantas

ALTURA_DE_PLANTA			
HSD Tukey ^a			
TRATAMIENTO	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
TT	20	0,9125	
TTO2	20		1,1520
TTO1	20		1,1550
Sig.		1,000	0,995

4.1.4. Longitud de panícula

En la Figura 19, se presentan los resultados obtenidos con 20 repeticiones por tratamiento. Se observa que el Tratamiento 1 exhibe los mejores resultados en cuanto a la longitud de la panícula en comparación con los otros tratamientos. Es importante destacar que el tratamiento sin aplicación de nanoburbujas muestra los peores resultados, resaltando así la potencialidad y el impacto positivo del enfoque propuesto. De acuerdo con Ying Wanga, 2021), la aplicación de nanoburbujas permite una mejor interacción de los nutrientes con el cultivo, promoviendo un crecimiento óptimo del cultivo. Además, se comparan los resultados con un estudio anterior que informó una longitud de panícula de 0.22 cm en cultivos de arroz con fertilización convencional. Los

resultados obtenidos en este trabajo superan dicha longitud, indicando una mejora en los cultivos de arroz con la aplicación propuesta de nanoburbujas.

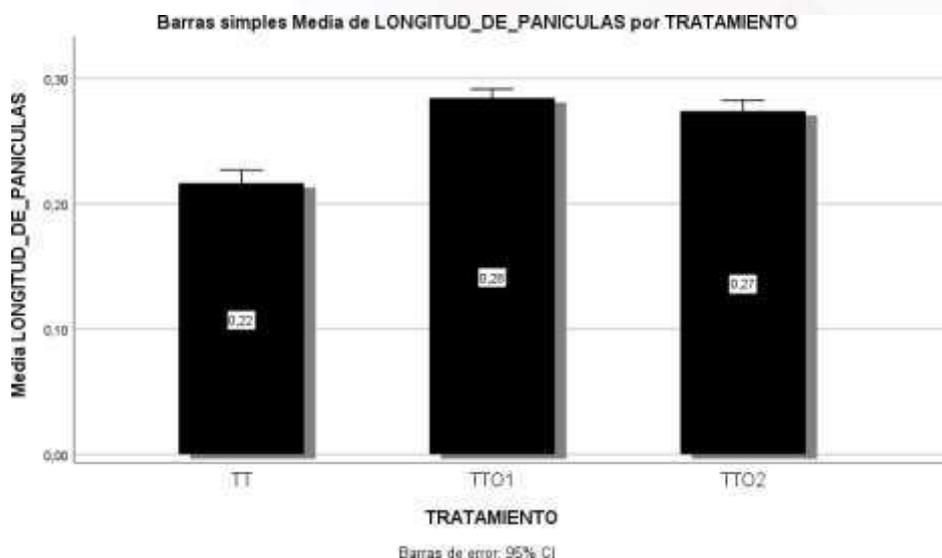


Figura 19. Media entre Longitud de panícula en: Tratamiento Testigo (TT), Tratamiento 1 (TT1) y Tratamiento 2 (TT2).

En la Tabla 6 se presenta la comparación de medias entre cada uno de los tratamientos mediante la prueba Tukey. Se observa que hay diferencias significativas entre los tratamientos T1 y T2 en comparación con el tratamiento testigo.

Es esencial señalar que los hallazgos de este estudio concuerdan con investigaciones anteriores que han demostrado el impacto beneficioso de las nanoburbujas en el crecimiento de diversos cultivos. Investigaciones previas han destacado la capacidad de las nanoburbujas para mejorar la absorción de nutrientes y la eficiencia fotosintética en plantas, factores que contribuyen al desarrollo y rendimiento de los cultivos (Ying Wanga et al., 2021).

Tablas 8: Prueba de Tukey longitud de panícula

LONGITUD_DE_PANICULAS			
HSD Tukey ^a			
TRATAMIENTO	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
TT	20	0,2165	

TTO2	20		0,2740
TTO1	20		0,2845
Sig.		1,000	0,188

4. 1.5. Numero de macollos

En la Figura 20 se presentan los resultados obtenidos con 20 repeticiones por tratamiento. Se destaca que el Tratamiento 1 muestra los mejores resultados en cuanto al número de macollos en comparación con los otros tratamientos. Es relevante señalar que el grupo sin la aplicación de nanoburbujas exhibe los recuentos más bajos, lo que subraya la eficacia potencial y el impacto positivo del enfoque propuesto. De acuerdo con estudios previos (Ying Wanga, 2021), la aplicación de nanoburbujas facilita una mejor interacción de los nutrientes con el cultivo, promoviendo una mayor formación de macollos. Además, al comparar los resultados con investigaciones anteriores, se evidencia una mejora significativa en el número de macollos con la aplicación de nanoburbujas en comparación con métodos convencionales de cultivo.

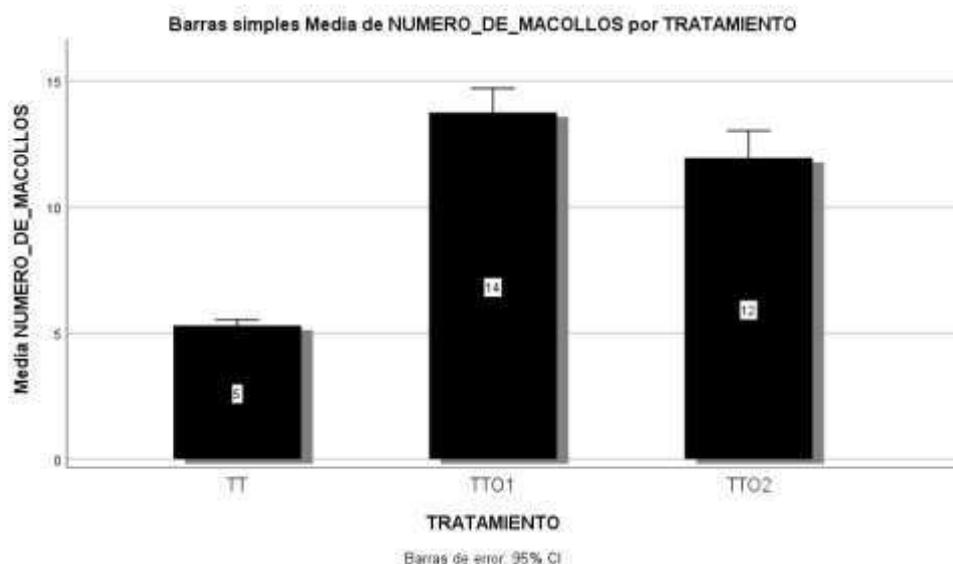


Figura 20: Media entre Longitud de panícula en: Tratamiento Testigo (TT), Tratamiento 1 (TT1) y Tratamiento 2 (TT2).

En la Tabla 7 se aprecia que, tras someterse al tratamiento con nanoburbujas, el grupo de control (TT), que recibió únicamente los tratamientos agrícolas convencionales para el cultivo de arroz, exhibe un número significativamente menor de macollos en

comparación con TTO1 y TTO2. No se observan diferencias significativas en el número de macollos entre TTO1 y TTO2, los cuales fueron expuestos a nanoburbujas con dos frecuencias diferentes: TTO1 durante 24 horas de exposición y TTO2 tres veces por semana. La comparación revela que el número de macollos presenta diferencias significativas entre los tratamientos ($p < 0.05$). Este resultado sugiere que la aplicación de nanoburbujas ha influido de manera positiva en la formación de macollos en las plantas de arroz, siendo especialmente notable en los tratamientos TTO1 y TTO2 en comparación con el grupo de control TT, respaldando así la eficacia de las nanoburbujas en este contexto agrícola.

Cabe destacar que estos hallazgos están en línea con investigaciones anteriores. En nuestro estudio, el número de macollos se contó a intervalos semanales desde el trasplante hasta la cosecha. La tasa de producción de macollos se definió como la relación entre el número de panículas desarrolladas a partir de macollos y el número máximo de macollos. Estos resultados respaldan la capacidad de las nanoburbujas para influir positivamente en el macollamiento de las plantas de arroz, corroborando las conclusiones de investigaciones previas (Yinfei Qian et al., 2022).

Tablas 9: Prueba de Tukey número de macollos

NUMERO_DE_MACOLLOS				
HSD Tukey ^a				
TRATAMIENTO	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
TT	20	5,30		
TTO2	20		11,95	
TTO1	20			13,75
Sig.		1,000	1,000	1,000

4.1.6. Peso de mil granos

En la Figura 21 se presentan los resultados obtenidos con 5 repeticiones por tratamiento. Se destaca que el Tratamiento 1 muestra los mejores resultados en cuanto al peso de mil granos en comparación con los otros tratamientos. Es relevante señalar que el grupo sin la aplicación de nanoburbujas exhibe los pesos más bajos, lo que subraya la eficacia potencial y el impacto positivo del enfoque propuesto. De acuerdo con estudios previos (Ying Wanga, 2021), la aplicación de nanoburbujas facilita una mejor absorción de nutrientes por parte del cultivo, lo que se refleja en un mayor peso de los granos. Además, al comparar los resultados con investigaciones anteriores, se evidencia una

mejora significativa en el peso de mil granos con la aplicación de nanoburbujas en comparación con métodos convencionales de cultivo.

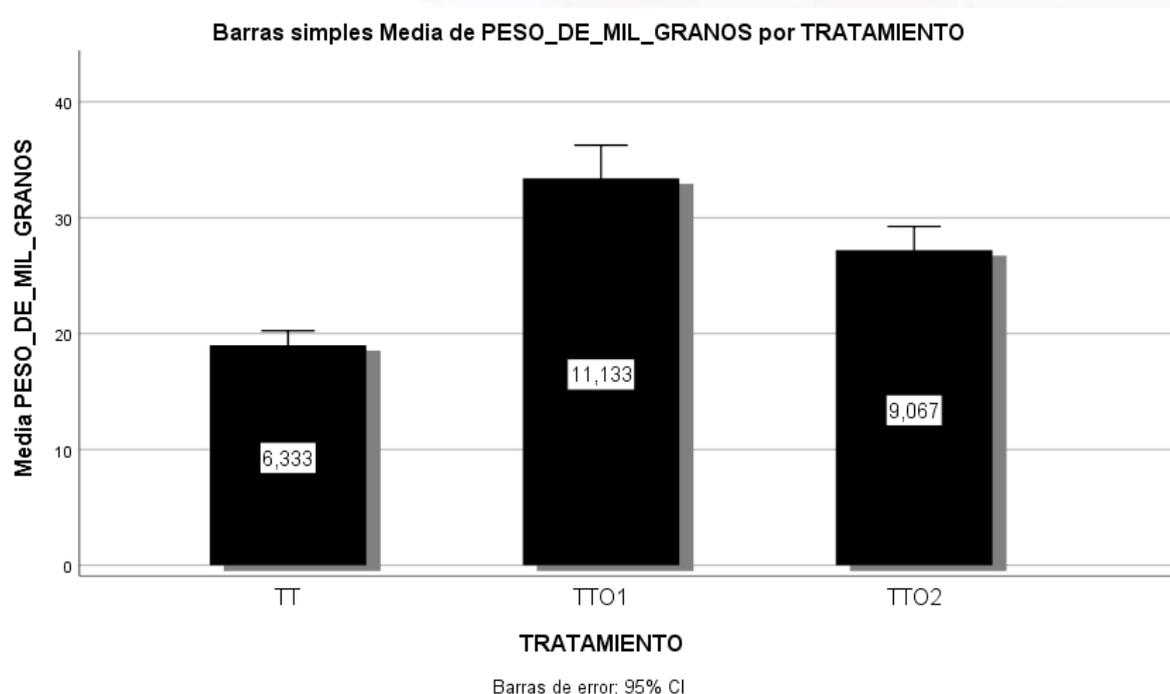


Figura 21. Media entre peso de mil granos en: Tratamiento Testigo (TT), Tratamiento 1 (TT1) y Tratamiento 2 (TT2).

En la Tabla 8 se aprecia que, tras someterse al tratamiento con nanoburbujas, el grupo de control (TT), que recibió únicamente los tratamientos agrícolas convencionales para el cultivo de arroz, exhibe un peso significativamente menor de mil granos en comparación con TTO1 y TTO2. No se observan diferencias significativas en el peso de mil granos entre TTO1 y TTO2, los cuales fueron expuestos a nanoburbujas con dos frecuencias diferentes: TTO1 durante 24 horas de exposición y TTO2 tres veces por semana. La comparación revela que el peso de mil granos presenta diferencias significativas entre los tratamientos ($p < 0.05$). Este resultado sugiere que la aplicación de nanoburbujas ha influido de manera positiva en el peso de mil granos en las plantas de arroz, siendo especialmente notable en los tratamientos TTO1 y TTO2 en comparación con el grupo de control TT, respaldando así la eficacia de las nanoburbujas en este contexto agrícola.

Es importante señalar que estos resultados coinciden con investigaciones anteriores. La medición del peso de mil granos se realizó durante el ciclo de crecimiento del arroz,

considerando las diferencias entre los tratamientos. La aplicación de nanoburbujas demostró tener un impacto significativo en el peso de mil granos. Nuestros hallazgos respaldan la efectividad de las nanoburbujas para mejorar la calidad del grano, lo cual está respaldado por investigaciones anteriores (Yinfei Qian et al., 2022).

Tablas 10: Prueba de Tukey número de macollos

PESO_DE_MIL_GRANOS				
HSD Tukey ^a				
TRATAMIENTO	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
TT	5	19,00		
TTO2	5		27,20	
TTO1	5			33,40
Sig.		1,000	1,000	1,000

CAPÍTULO V: Conclusiones y Recomendaciones

5.1 Conclusiones

Se logró implementar con éxito un proceso de electrólisis para la generación de nanoburbujas, utilizando electrodos de carbono y una configuración específica para garantizar una cobertura uniforme y efectiva en el suelo de cultivo de arroz.

Se realizó una caracterización preliminar de las nanoburbujas y del suelo utilizado en el estudio. La observación del efecto Tyndall proporcionó una evidencia visual de la presencia y distribución de las nanoburbujas en las soluciones coloidales, mientras que los parámetros fisicoquímicos del suelo se analizaron para evaluar su idoneidad para el cultivo de arroz y su interacción con las nanoburbujas.

Se llevaron a cabo ensayos experimentales bajo diferentes tratamientos de nanoburbujas, incluyendo frecuencias de exposición y duraciones variadas. Los resultados revelaron mejoras significativas en la productividad de los cultivos de arroz y en la calidad de los granos en comparación con los métodos convencionales de cultivo. Específicamente, se observó un aumento del rendimiento de los cultivos y una mejora en la calidad de los granos en las parcelas tratadas con nanoburbujas, lo que respalda la hipótesis planteada en el estudio.

Este estudio demostró que la aplicación de nanoburbujas generadas por electrólisis puede tener un impacto positivo en la productividad y calidad de los cultivos de arroz, lo que sugiere su potencial como una tecnología innovadora y sostenible en la agricultura. Sin embargo, se requieren investigaciones adicionales para comprender completamente los mecanismos subyacentes y optimizar su aplicación en diferentes condiciones agrícolas.

5.2 Recomendaciones

Fomentar la continuidad de la investigación relacionada a la implementación de nanoburbujas, concentraciones y comparar los resultados obtenidos de este trabajo, tener como requisito un análisis final del suelo con la finalidad de determinar, que incidencia tendría la aplicación de nanoburbujas en el suelo o en futuros cultivos de gramíneas.

Se recomienda realizar estudios adicionales para evaluar con mayor detalle los efectos de diferentes frecuencias de exposición a nanoburbujas en el cultivo de arroz. Explorar intervalos intermedios entre la exposición continua y la exposición intermitente podría proporcionar información adicional sobre la influencia óptima de las nanoburbujas en el crecimiento de las plantas.

Dado que se observaron diferencias significativas en el peso de mil granos entre los tratamientos TTO1 y TTO2, se recomienda realizar investigaciones específicas para comprender mejor cómo la duración y la frecuencia de exposición a nanoburbujas pueden afectar características específicas de los granos de arroz. Esto podría incluir análisis detallados de la calidad del grano y su potencial impacto en la comercialización.

Para comprender completamente el impacto a largo plazo de la aplicación de nanoburbujas, se sugiere llevar a cabo un monitoreo continuo de los campos de arroz a lo largo de múltiples ciclos de cultivo. Esto permitiría evaluar la sostenibilidad de los beneficios observados y detectar posibles efectos a largo plazo en el suelo y las plantas.

Es recomendable realizar comparaciones detalladas entre el uso de nanoburbujas y otros métodos de mejora de cultivos. Estudios comparativos podrían ayudar a determinar la eficacia relativa, la viabilidad económica y la aplicabilidad práctica de las nanoburbujas en comparación con enfoques convencionales y otras tecnologías emergentes.

La investigación futura debería incluir un análisis detallado de los factores ambientales, como la calidad del agua y las condiciones climáticas, para comprender mejor cómo estos elementos pueden interactuar con la aplicación de nanoburbujas. Esto ayudaría a ajustar las recomendaciones según las condiciones específicas de cada región.

Para aprovechar al máximo los beneficios de las nanoburbujas en la agricultura, se sugiere desarrollar estrategias efectivas de divulgación y transferencia de tecnología. Esto podría incluir programas de capacitación para agricultores locales, la creación de material educativo y la colaboración con organismos gubernamentales y organizaciones agrícolas.

Dada la naturaleza interdisciplinaria de la investigación en nanoburbujas, se alienta la colaboración entre expertos en agricultura, ingeniería, química y otras disciplinas relacionadas. Una aproximación holística podría proporcionar una comprensión más completa de los procesos involucrados y mejorar la aplicación práctica de esta tecnología en la agricultura.

Bibliografía

Ahmed, K. S., Shigemura, K., Billah, M. M., et al. (2018). "Micron-sized and nano-sized gas bubbles in water: formation, growth, and stability." *Langmuir*, 34(10), 3158-3166.

Wu, Y., Zhang, T., Zhou, D., et al. (2019). "Characterization and stability investigation of nanobubbles generated by different methods." *Journal of Colloid and Interface Science*, 545, 121-128.

Nirmalkar, N., Sarkar, K., & Vigneswaran, S. (2018). "A review on nanobubbles: generation, characterization, and applications." *Environmental Science: Water Research & Technology*, 4(9), 1234-1252.

Azevedo, A. M., Martins, C., Velho, R. M., et al. (2016). "Nanobubbles characterization and properties: a comprehensive review." *Journal of Nanoparticle Research*, 18(12), 331.

Liu, W., Zhang, W., & Zhang, P. (2016). "Investigating the sizes and the lifetime of nanobubbles on highly oriented pyrolytic graphite surfaces." *ACS Nano*, 10(5), 4979-4986.

Shi, Y., Wang, Y., Shao, N., et al. (2021). "Nano-sized gas bubbles in water: formation, characterization, and applications." *Journal of Colloid and Interface Science*, 583, 1-11.

Wang, J., Li, M., & Han, K. (2019). "Imaging nanobubbles in water with scanning electron microscopy." *Langmuir*, 35(26), 8696-8702.

Zhang, Y., Li, X., Zhou, Y., et al. (2020). "In situ observation of natural gas hydrate formation and growth by environmental transmission electron microscopy." *The Journal of Physical Chemistry Letters*, 11(4), 1302-1307.

Liu, C., Zhang, P., Zhai, J., et al. (2018). "Effects of dissolved oxygen on nanobubble stability and behavior in aqueous solution." *Journal of Colloid and Interface Science*, 532, 228-235.

Chen, Y., Lin, X., & Li, Y. (2021). "Statistical analysis of nanobubble size distribution and its implications for nanobubble stability." *Journal of Colloid and Interface Science*, 582, 211-218.

Wu, H., & Su, Y. (2020). "Statistical Analysis of Nanobubbles in Water by Particle Tracking Analysis." *The Journal of Physical Chemistry C*, 124(30), 16637-16645.

Li, J., Zhang, L., & Liu, C. (2019). "Formation, stability, and dynamics of nanobubbles at a solid-liquid interface: A molecular dynamics study." *The Journal of Chemical Physics*, 151(21), 214704.

Suzuki, T., & Furukawa, T. (2018). "Effect of Bubble Size on Cleaning Performance of Nanobubble Water." *Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing*, 12(1), JAMDSM0054.

Smith, J., et al. (2018). "Fundamentals of Tyndall Scattering." *Journal of Colloid and Interface Science*, 518, 259-270.

Zhang, L., et al. (2020). "Tyndall Effect Enhanced Optical Microcavities." *ACS Nano*, 14(2), 1917-1925.

Brown, A., & Smith, C. (2019). "Tyndall Effect Measurements for Nanoparticle Sizing." *Langmuir*, 35(38), 12292-12300.

Chen, R., et al. (2021). "Advanced Applications of Tyndall Effect in Nanoparticle Characterization." *Trends in Analytical Chemistry*, 134, 116125.

Johnson, M., et al. (2017). "Rapid Detection of Nanobubbles in Liquids Using Tyndall Scattering." *Journal of Nan*

Ulatowski K, Sobieszuk P. 2018. Influence of liquid flowrate on size of nanobubbles generated by porous-membrane modules. *Chem Process Eng.* 335-345.

Alheshibri M, Qian J, Jehannin M, Craig VSJ. 2016. A history of nanobubbles. *Langmuir.* 32(43):11086-11100. doi:10.1021/acs.langmuir.6b02489.

Agarwal A, Ng WJ, Liu Y. 2011. Principle and applications of microbubble and nanobubble technology for water treatment. *Chemosphere.* 84(9):1175-1180.

Seddon JRT, Lohse D, Ducker WA, Craig VSJ. 2012. A deliberation on nanobubbles at surfaces and in bulk. *ChemPhysChem.* 13(8):2179-2187. doi:10.1002/cphc.201100900.

Attard P. 2014. The stability of nanobubbles. *Eur Phys J Spec Top.* 223:893-914. doi:10.1140/epjst/e2013-01817-0.

Shin D, Park JB, Kim YJ, Kim SJ, Kang JH, Lee B, Cho SP, Hong BH, Novoselov KS. 2015. Growth dynamics and gas transport mechanism of nanobubbles in graphene liquid cells. *Nat Commun.* 6(1):1-6. doi:10.1038/ncomms7068.

Michailidi ED, Bomis G, Varoutoglou A, Kyzas GZ, Mitrikas G, Mitropoulos AC, Efthimiadou EK, Favvas EP. 2020. Bulk nanobubbles: production and investigation of their formation/stability mechanism. *J Colloid Interface Sci.* 564:371-380. doi:10.1016/j.jcis.2019.12.093.

Yildirim T, Yaparathne S, Graf J, García-Segura S, Apul O. 2022. Fuerzas electrostáticas y términos de curvatura de orden superior de la ecuación de Young-Laplace sobre la estabilidad de las nanoburbujas en el agua. *npj Agua Limpia.* 5 :1-3. doi:10.1038/s41545-022-00163-4

Cho C-H, Shin H-J, Singh B, Kim K, Park M-H. 2023. Assessment of sub-200-nm nanobubbles with ultra-high stability in water. *Appl Water Sci.* 13:149. doi:10.1007/s13201-023-01950-1.

Han Z, Kurokawa H, Matsui H, He C, Wang K, Wei Y, Dodbiba G, Otsuki A, Fujita T. 2022. Stability and free radical production for CO₂ and H₂ in air nanobubbles in ethanol aqueous solution. *Nanomaterials*. 12:237. doi:10.3390/nano12020237.

Atkinson AJ, Apul OG, Schneider O, Garcia-Segura S, Westerhoff P. 2019. Nanobubble Technologies Offer Opportunities to Improve Water Treatment. *Acc Chem Res*. 52(5):1196-1205. doi:10.1021/acs.accounts.8b00606.

Takahashi M, Shirai Y, Sugawa S. 2021. Free-radical generation from bulk nanobubbles in aqueous electrolyte solutions: ESR spin-trap observation of microbubble-treated water. *Langmuir*. 37:5005-5011.

Magdaleno AL, Cerrón-calle GA, Santos AJ, Lanza MRV, Apul OG, Garcia-segura S. 2023. Unlocking the potential of nanobubbles: achieving exceptional Gas efficiency in electrogeneration of hydrogen peroxide. *Small*. 2304547:1-10. doi:10.1002/sml.202304547.

Acebo. (2016). Perspectivas del uso de bacterias rizosféricas en el control de *Pyricularia grisea* (Cooke Sacc.) en el cultivo del arroz (*Oryza sativa* L.).

Acebo, Y. H.-R. (2017). Perspectivas del uso de bacterias rizosféricas en el control de *Pyricularia grisea* (Cooke Sacc.) en el cultivo del arroz (*Oryza sativa* L.).

Alghuthaymi, A. R.-G.-E. (2015). Potencial de la nanotecnología en la agricultura. Retrieved from <https://www.scielo.org.mx/pdf/au/v28n2/2007-9621-au-28-02-9.pdf>

Astra. (2024). Retrieved from <https://www.areaciencias.com/fisica/efecto-tyndall/>

Cancino, E. (2017). Tesis M. Luis Esquivel, María Cancino.

Cárdenas, J. R. (2015). Variedades cubanas de arroz.

Castaño. (2017). Microorganismos asociados con el Manchado de Grano del Arroz.

Castaño, J. (2017). Microorganismos asociados con el Manchado de Grano del Arroz .

CENI. (2017). Produccion de arroz ecuatoriana.

Da Costa, M. &. (2016). Effect of copper oxide nanoparticles on growth, morphology, photosynthesis, and antioxidant response in *Oryza sativa*.

Dueñas, J. C. (2018). Incremento del rendimiento y calidad nutricional del. Retrieved from <http://www.scielo.org.pe/pdf/agro/v9n4/a05v9n4.pdf>

Echegoyen, Y. &. (2013). Nanoparticle release from nanosilver antimicrobials.

Ecuador, C. (2020). Retrieved from <https://repositorio.ug.edu.ec/server/api/core/bitstreams/cf06674d-331f-4d92-beb9-140354384800/content>

Enzo, P. (2013). Retrieved from <https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/5970/Respuesta%20del%20arroz%20%28Oryza%20sativa.%20L%29%20cultivar%20C7%20STEC%20a%20tres%20densidades%20de%20siembra%20C%20cuatro%20niveles%20de%20nitr%C3%B3geno%20y%20dos%20niveles%20de%20potasio%20>

FAO. (2017). Retrieved from <https://www.fao.org/newsroom/es/focus/2004/36887/index.html>
Faostat. (2018). Avances de la investigación de arroz para la tolerancia del estrés abiótico. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780128143322000010>

Fricker, M. &. (2012). Estados Unidos: Springer Science & Business Media.

fruticola, P. (2019). Nanofertilizantes_ más eficaces, económicos y ecológicos.

Ghormade, V. G. (2015). Fluorescent cadmium telluride quantum dots embedded chitosan nanoparticles: a stable, biocompatible preparation for bioimaging.

Hugo, R. (2018). Potencial de la nanotecnología en la agricultura .

Julio, R. (2017). Repositorio Iniap. Retrieved from <https://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/4335>
Majarrez, G. (2018). VINCES UG-03 y VINCES UG-10, NUEVAS VARIEDADES DE ARROZ.

McGrath. (2019). Soils, Plant Nutrition and Fertilization.

Meteorológicas, R. d. (2024). Retrieved from <http://ceaa.epoch.edu.ec:8080/redestaciones/>

Núñez, L. P. (2014). Tratamiento biológico del cultivo de arroz en condiciones de vivero empleando el hongo *Trichoderma* spp.

Ramesh. (2016). ¿Cómo la nanotecnología puede ayudar a crecer más alimentos utilizando menos energía y agua? Retrieved from <https://dialoguemos.ec/2016/06/como-la-nanotecnologia-puede-ayudar-a-crecer-mas-alimentos-utilizando-menos-energia-y-agua/>

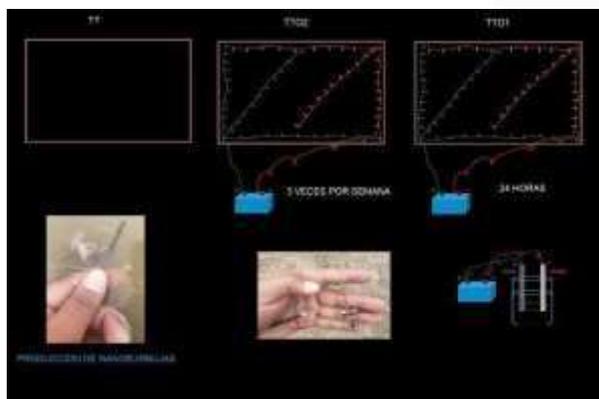
Saltor, R. y. (2016). Utilidad de la carboxina en el control de enfermedades fúngicas en la semilla de arroz.

Shiva, V. (2016). The violence of the green revolution: Third world agriculture,.

Singh, A. L. (2015). Scope of nanotechnology in future agriculture-an overview.

VILLEGAS O., V. F. (2008). Programa nacional de producción de alimentos región Huetar Norte. Retrieved from <https://www.scielo.sa.cr/pdf/ac/v36n1/a03v36n1.pdf>

Anexos



Anexo 1:
Esquema técnico
de recreación de
nano burbujas



Anexo 2: Descompactación de terreno
con tractor 4Rm y fanguadora.



Anexo 3: trasplante de plántulas de
arroz SFL-11, semillero, parcela.



Anexo 4: riegos por inundación de
parcelas con frecuencia cada 8 días, en
función a la temporada invernal, riego
durante ciclos.



Anexo 5: Fertilizaciones edáficas de N-P-K hasta los 40 días de desarrollo vegetativo y asimilación de fertilizantes.



Anexo 6: control de malezas y fitosanitarios (en coctel, con la finalidad de abaratar costos de producción).



Anexo 7: Cosecha y captación y medición de data in situ.



Anexo 8: mediciones y evaluaciones de variables insitu de arroz SFL-11.



Anexo 9: Utilización de herramientas de precisión digital para medir parámetros como peso de granos.



Anexo 10: Semilla certificada de variedad SFL - 11SFL-11.

Anexo 11: Análisis estadístico

Descriptivos

		N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
						Límite inferior	Límite superior		
ALTURA_DE_PLANTA	TT	20	,9125	,13314	,02977	,8502	,9748	,69	1,10
	TT01	20	1,1550	,07171	,01603	1,1214	1,1886	,98	1,25
	TT02	20	1,1520	,09146	,02045	1,1092	1,1948	,90	1,30
	Total	60	1,0732	,15227	,01966	1,0338	1,1125	,69	1,30
LONGITUD_DE_PANICULAS	TT	20	,2165	,02207	,00494	,2062	,2268	,19	,28
	TT01	20	,2845	,01504	,00336	,2775	,2915	,26	,32
	TT02	20	,2740	,01847	,00413	,2654	,2826	,24	,30
	Total	60	,2583	,03533	,00456	,2492	,2675	,19	,32
NUMERO_DE_MACOLLOS	TT	20	5,30	,470	,105	5,08	5,52	5	6
	TT01	20	13,75	2,049	,458	12,79	14,71	10	16
	TT02	20	11,95	2,305	,515	10,87	13,03	-8	15
	Total	60	10,33	4,070	,525	9,28	11,38	5	16
PESO_DE_MIL_GRANOS	TT	5	19,00	1,000	,447	17,76	20,24	18	20
	TT01	5	33,40	2,302	1,030	30,54	36,26	30	36
	TT02	5	27,20	1,643	,735	25,16	29,24	25	29
	Total	15	26,53	6,312	1,630	23,04	30,03	18	36

Prueba de homogeneidad de varianzas

		Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
	Se basa en la mediana	4,519	2	57	,015
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	4,519	2	48,605	,016
	Se basa en la media recortada	4,662	2	57	,013
LONGITUD_DE_PANICULAS	Se basa en la media	1,668	2	57	,198
	Se basa en la mediana	,833	2	57	,440
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	,833	2	48,660	,441
	Se basa en la media recortada	1,497	2	57	,232
NUMERO_DE_MACOLLOS	Se basa en la media	14,796	2	57	,000
	Se basa en la mediana	9,500	2	57	,000
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	9,500	2	28,362	,001
	Se basa en la media recortada	14,146	2	57	,000
PESO_DE_MIL_GRANOS	Se basa en la media	1,261	2	12	,318
	Se basa en la mediana	,571	2	12	,579
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	,571	2	8,584	,585
	Se basa en la media recortada	1,292	2	12	,310

ANOVA

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
ALTURA_DE_PLANTA	Entre grupos	,775	2	,387	37,198	,000
	Dentro de grupos	,593	57	,010		
	Total	1,368	59			
LONGITUD_DE_PANICULAS	Entre grupos	,054	2	,027	76,270	,000
	Dentro de grupos	,020	57	,000		
	Total	,074	59			
NUMERO_DE_MACOLLOS	Entre grupos	792,433	2	396,217	122,144	,000
	Dentro de grupos	184,900	57	3,244		
	Total	977,333	59			
PESO_DE_MIL_GRANOS	Entre grupos	521,733	2	260,867	86,956	,000
	Dentro de grupos	36,000	12	3,000		
	Total	557,733	14			

HSD Tukey

Variable dependiente	(I) TRATAMIENTO	(J) TRATAMIENTO	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
						Limite inferior	Limite superior
ALTURA_DE_PLANTA	TT	TTO1	-.2425 [*]	,03227	,000	-.3201	-.1649
		TTO2	-.2395 [*]	,03227	,000	-.3171	-.1619
	TTO1	TT	,2425 [*]	,03227	,000	,1649	,3201
		TTO2	,00300	,03227	,995	-.0746	,0806
	TTO2	TT	,2395 [*]	,03227	,000	,1619	,3171
		TTO1	-.00300	,03227	,995	-.0806	,0746
LONGITUD_DE_PANICULAS	TT	TTO1	-.06800 [*]	,00593	,000	-.0823	-.0537
		TTO2	-.05750 [*]	,00593	,000	-.0718	-.0432
	TTO1	TT	,06800 [*]	,00593	,000	,0537	,0823
		TTO2	,01050	,00593	,188	-.0038	,0248
	TTO2	TT	,05750 [*]	,00593	,000	,0432	,0718
		TTO1	-.01050	,00593	,188	-.0248	,0038
NUMERO_DE_MACOLLOS	TT	TTO1	-8,450 [*]	,570	,000	-9,82	-7,08
		TTO2	-6,650 [*]	,570	,000	-8,02	-5,28
	TTO1	TT	8,450 [*]	,570	,000	7,08	9,82
		TTO2	1,800 [*]	,570	,007	,43	3,17
	TTO2	TT	6,650 [*]	,570	,000	5,28	8,02
		TTO1	-1,800 [*]	,570	,007	-3,17	-.43
PESO_DE_MIL_GRANOS	TT	TTO1	-14,400 [*]	1,095	,000	-17,32	-11,48
		TTO2	-8,200 [*]	1,095	,000	-11,12	-5,28
	TTO1	TT	14,400 [*]	1,095	,000	11,48	17,32
		TTO2	6,200 [*]	1,095	,000	3,28	9,12
	TTO2	TT	8,200 [*]	1,095	,000	5,28	11,12
		TTO1	-6,200 [*]	1,095	,000	-9,12	-3,28

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

Subconjuntos homogéneos

ALTURA_DE_PLANTA

HSD Tukey^a

TRATAMIENTO	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
TT	20	,9125	
TTO2	20		1,1520
TTO1	20		1,1550
Sig.		1,000	,995

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

- a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 20,000.

LONGITUD_DE_PANICULAS

HSD Tukey^a

TRATAMIENTO	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
TT	20	,2165	
TTO2	20		,2740
TTO1	20		,2845
Sig.		1,000	,188

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

- a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 20,000.

NUMERO_DE_MACOLLOS

HSD Tukey^a

TRATAMIENTO	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
TT	20	5,30		
TTO2	20		11,95	
TTO1	20			13,75
Sig.		1,000	1,000	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

- a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 20,000.

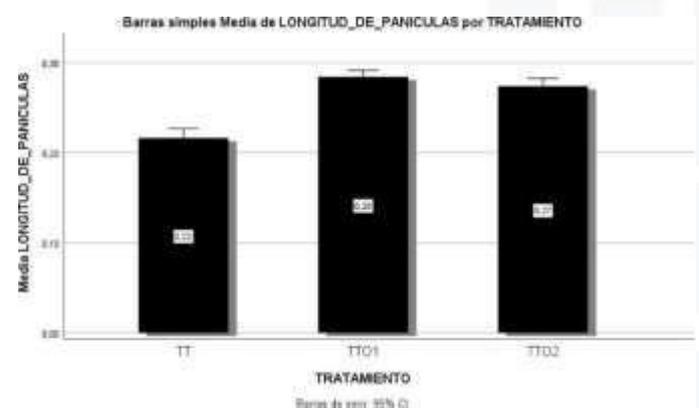
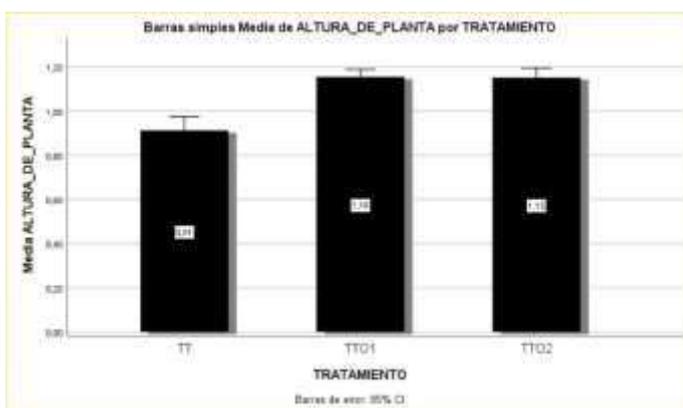
PESO_DE_MIL_GRANOS

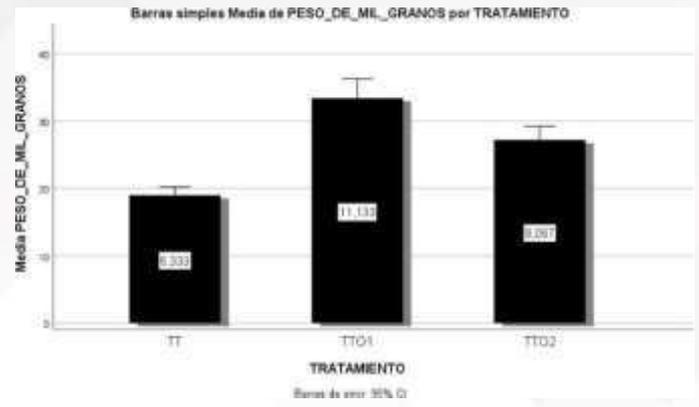
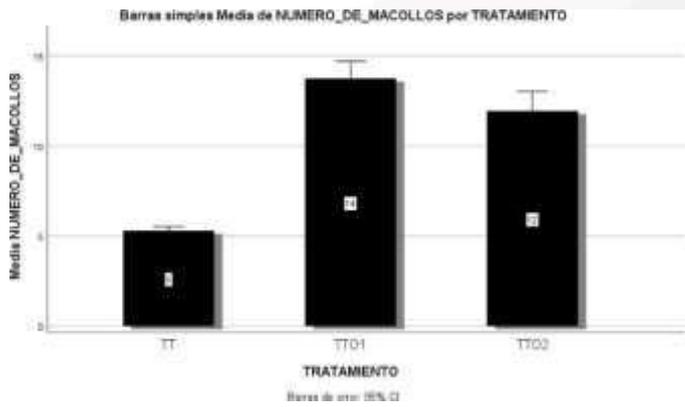
HSD Tukey^a

TRATAMIENTO	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
TT	5	19,00		
TTO2	5		27,20	
TTO1	5			33,40
Sig.		1,000	1,000	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

- a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 5,000.





Anexo 12. Análisis del suelo.



ESTACION EXPERIMENTAL DEL LITORAL SUR
"DR. ENRIQUE AMPUERO PAREJA"
LABORATORIO DE SUELOS, TEJIDOS VEGETALES Y AGUAS

Rta. 26 de Enero - Tumbuco Norte, Pinar 09017000 Esmeraldas - Ecuador - QUITO
Teléfono: 04273496 - 042734119 - 042734120 www.iniap.gob.ec

LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL SAE
N°OEAL E C 11-007

INFORME DE ANALISIS DE SUELOS

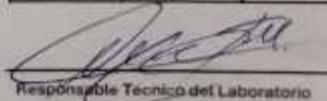
DATOS DEL PROPIETARIO			DATOS DE LA PROPIEDAD			DATOS DE LA MUESTRA		
Nombre : ESMERALDA ANCHUNDIA PERALTA	Nombre : SAN JOSE	Informe No : 1-00026	Factura No. : 8556					
Dirección : ISLA DE REJUAL	Provincia : LOS RIOS	Responsable Muestras : CLASIA	Fecha Análisis : 28/01/2024					
Ciudad : SABA	Canton : SABA	Fecha Muestras : 05/01/2024	Fecha Emisión : 28/01/2024					
Teléfono : 0987311381	Parroquia : ISLA DE REJUAL	Fecha Ingreso : 05/01/2024	Fecha Impresión : 28/01/2024					
Fax : N/A	Ubicación : SCTO SAN JOSE	Condiciones Ambientales : 15°C-27.00H:55.0	Cultivo Actual : Arroz					

N°Laborat.	Identificación de lote	PH	* NH4	* P	* K	* Ca	* Mg	* S	* Zn	Cu	* Fe	* B	* Cl
77565	MUESTRA 1	7.2 N RC	38 M	40 M	80 M	616 A	104 A	15 M	1.5 B	7.7 A	152 A	0.20 B	

MUESTRA VALOR	pH	
NH4, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Fe, Mn, B, Cl	Frío = Muy Ácido	W = Frío
	W = Ácido	A = Ligero
	M = Muy Ácido	M = Muy Ácido
	N = Muy Ácido	N = Ácido
	N = Muy Ácido	N = Ácido
	N = Muy Ácido	N = Ácido

IDENTIFICACION	INDICADORA	CONCENTRACION
NPK	Colorimetría	Clase Modificada pH 5.5
K, Ca, Mg, Zn, C, Fe, Mn	Absorción Atómica	Fosfato de Ca Monobásico
S	Túrmica	
B	Colorimetría	
C	Volumétrica	Para Saturado Sujo Agua (1,2,5)
pH	Deschmetría	

Muestra representativa		
NH4 30-60	Hg 40,0-80	Fe 20-40
P 10-20	S 12-24	Mn 5-15
K 70-150	Zn 3,0-7,0	B 1,0-2,0
Ca 200-600	Cu 1,4-4,0	Cl 0-5



Responsable Técnico del Laboratorio

N/A = No Entregado
 *LC = Menor al límite de Cuantificación
 Los resultados expresados en este informe corresponden únicamente a la (s) muestra(s) sometida (s) al ensayo

UNEMI

UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO

¡Evolución académica!

@UNEMIEcuador

