

Sistema de eliminación de hongos y bacterias en semillas de maíz por medio de plasma frío con acople de impedancias.

Diego Hernán Coral Córdoba

Luis Arnulfo Morales Estrada

Universidad CESMAG

Facultad de Ingeniería

Programa de Ingeniería Electrónica

San Juan de Pasto

2024

Sistema de eliminación de hongos y bacterias en semillas de maíz por medio de plasma frío con acople de impedancias.

Diego Hernán Coral Córdoba

Luis Arnulfo Morales Estrada

Proyecto de Trabajo de grado presentado al Comité Curricular del Programa de Ingeniería Electrónica para optar por el título de Ingeniera Electrónica.

Asesor

PhD. Edgar Alberto Unigarro Calpa

Universidad CESMAG

Facultad de Ingeniería

Programa de Ingeniería Electrónica

San Juan de Pasto

2024

Nota de Aceptación

Aprobado por el Comité Curricular en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Universidad CESMAG para optar al título de Ingeniero Electrónico

Edgar Alberto Unigarro Calpa

Asesor

William Andres Arévalo Terán

Jurado

José Camilo Eraso Guerrero

Jurado

Página de nota de exclusión de responsabilidad intelectual

“El pensamiento que se expresa en esta obra es exclusivamente responsabilidad de su autor y no compromete la ideología de la Universidad CESMAG”

Dedicatoria

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que hicieron posible la realización de esta tesis.

En primer lugar, deseo extender mi gratitud a Dios, a mi asesor de tesis, cuya orientación experta, apoyo constante y valiosas sugerencias guiaron cada paso de este proceso de investigación. Su profundo conocimiento y compromiso fueron fundamentales para el éxito de este trabajo.

También quiero reconocer el invaluable aporte de mi compañero de investigación, cuya colaboración activa, intercambio de ideas y motivación constante enriquecieron significativamente este proyecto. Su dedicación y perspectiva fueron esenciales para abordar los desafíos y alcanzar los objetivos propuestos.

No puedo dejar de mencionar el apoyo inquebrantable de mi familia a lo largo de este viaje académico. A mis padres, hermanos, amigos y seres queridos, les agradezco profundamente por su amor incondicional, comprensión y aliento constante. Su confianza en mí, su apoyo incondicional fueron mi mayor fuente de inspiración y motivación.

Por último, lo más importante, quiero dedicar este logro a mis padres. Su ejemplo de sacrificio, dedicación y perseverancia ha sido mi guía constante en la búsqueda de la excelencia académica y personal. Este logro es un testimonio de su amor, valores y sacrificio, y estoy eternamente agradecido por su inquebrantable apoyo.

A todas estas personas, su contribución ha sido invaluable y su impacto perdurará en este trabajo y en mi vida. Su generosidad y compromiso nunca serán olvidados y siempre serán recordados con profunda gratitud.

¡Gracias!

Luis Arnulfo Morales Estrada

Dedicatoria

Este trabajo de grado representa el fruto de un camino marcado por aprendizajes, desafíos y crecimiento personal. Su culminación no habría sido posible sin el respaldo inquebrantable de aquellos que han caminado a mi lado en esta travesía. En primer lugar, deseo dedicar este trabajo a mis padres, cuyo sacrificio constante ha sido el pilar fundamental de mi trayectoria. Su dedicación incansable ha sido mi motor para alcanzar nuevas metas y para mantenerme firme ante las adversidades.

Agradezco a mi familia por su comprensión y paciencia, así como por celebrar cada uno de mis logros como si fueran propios. Su amor incondicional ha sido mi refugio en los momentos difíciles y mi mayor alegría en los triunfos. También quiero expresar mi profunda gratitud a mis compañeros, quienes han sido mi red de apoyo emocional a lo largo de esta travesía.

A mis profesores y mentores, les debo un agradecimiento sincero por su orientación, sabiduría y dedicación a mi crecimiento académico y profesional. Sus enseñanzas han sido una constante fuente de inspiración y han sido cruciales para desarrollar las habilidades y conocimientos necesarios para culminar este trabajo con éxito.

Por último, pero no menos importante, agradezco a todas las personas que, de alguna manera, han contribuido a mi formación y al desarrollo de este proyecto. Cada consejo y experiencia compartida ha dejado una marca indeleble en mi camino.

Este trabajo es un homenaje al apoyo y confianza depositados en mí. Espero que esta dedicación refleje mi profunda gratitud hacia todos aquellos que han sido parte de mi viaje universitario y que han hecho posible este logro. Gracias.

Diego Hernán Coral Cordoba

Contenido

Nota de Aceptación	3
Dedicatoria	5
Dedicatoria	6
Introducción.....	14
1. El Problema de Investigación.....	15
1.1 Objeto o Tema de Investigación.....	15
1.2 Línea de Investigación	15
1.3 Sub Línea de Investigación	15
1.4 Planteamiento o Descripción del Problema	15
1.5 Formulación del Problema	16
1.6 Objetivos	17
1.6.1 Objetivo General.....	17
1.6.2 Objetivos Específicos.	17
1.7 Justificación.....	17
1.8 Viabilidad	18
1.9 Delimitación	19
2. Tópicos de marco Teórico	20
2.1 Antecedentes	20
2.1.1 Efecto de la aplicación de cinco protectores químicos en el control de plagas y enfermedades en semillas almacenadas de Maíz (<i>Zea mays</i> L) amarillo duro en Tarapoto. 20	
2.1.2 Tecnología de Plasma No Térmico en la Industria Agrícola-Alimentaria y Una Breve Descripción Sobre Sus Posibles Efectos En La Germinación de Semillas	21

2.1.3	Evaluación del efecto del tratamiento con plasma frío en los compuestos volátiles de sabor de nuez pecana (<i>Carya illinoensis</i>)	22
2.1.4	Sistema de Generación de Plasma y Método de Desinfección(Patente)	23
2.2	Enunciados de los Supuestos Teóricos	24
2.2.1	Plasma frío.....	24
2.2.2	Plasma frío aplicado en semillas	25
2.3	Variables de Estudio.....	26
2.3.1	Definición nominal de variables.....	26
2.4	Hipótesis.....	28
2.4.1	Hipótesis de Investigación.....	28
2.4.2	Hipótesis Nula	28
2.4.3	Hipótesis Alternativa	28
3.	Metodología.....	29
3.1	Enfoque	29
3.2	Paradigma.....	29
3.3	Método	29
3.4	Tipo de diseño	29
3.5	Diseño de investigación	29
3.6	Universo	30
3.7	Muestra.....	31
3.8	Técnicas de recolección de información	31
3.8.1	Principio de funcionamiento.....	31
3.8.2	Validez de la técnica	33
3.8.3	Confiabilidad de la técnica	33
3.9	Instrumentos de recolección de información	34

4.	Resultados.....	35
4.1	Diseño de un sistema de desinfección de semilla utilizando acople de impedancias para aplicar plasma frio.....	35
4.1.1	Estudio del proceso de germinación de la semilla.....	35
4.1.2	Diseño del sistema de desinfección de semillas de maíz con acople de impedancias para aplicar plasma frio.....	36
4.2	Implementar un sistema de desinfección de semilla utilizando acople de impedancias para aplicar plasma frio.....	43
4.3	Evaluar la eficacia de la tecnología de plasma con acople de impedancia en la eliminación de hongos y bacterias presentes en las semillas de maíz.	44
4.3.1	Obtener muestras de semillas que obtengan hongos y bacterias	44
4.3.2	Configurar y calibrar el sistema.....	45
4.3.3	Dividir las semillas en diferentes grupos y tratar cada grupo de semillas con diferente método de desinfección.	45
4.3.4	Realizar varias pruebas y comparar los resultados obtenidos	49
4.4	Análisis de viabilidad del sistema	51
5.	Análisis y discusión de los resultados.	53
5.1	Evaluación de la eficacia del sistema con la variable peso.	53
5.1.1	Calculo de porcentaje de cada grupo de semillas.....	53
5.2	Evaluación de la eficacia del sistema con la variable altura.	55
5.2.1	Calculo de promedio de altura de cada grupo de semillas.	55
5.3	Calculo de eficacia con las variables peso y altura.	59
5.4	Análisis Económico del Sistema	63
5.5	Implementación en plan productivo.....	66
5.5.1	Selección y Preparación del Espacio de Cultivo.	66
5.5.2	Prototipo sistema de desinfección Automatizado.....	67

5.5.3	Prototipo sistema de riego automatizado.....	68
5.5.4	Siembra de cultivo hidropónico.....	70
	Conclusiones.....	86
	Recomendaciones	88
	Trabajos Futuros.....	89
	Referencias	90

Tabla de figuras

Figura 1. Proceso de germinación	35
Figura 2. Diseño del sistema de desinfección	36
Figura 3. Implementacion sistema de desinfección.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 4. Semillas de maíz	45
Figura 5. Desinfeccion tradicional	47
Figura 6. Desinfeccion con plasma frio.....	48
Figura 7. Semillas sin tratamiento de desinfección	48
Figura 8. Espacio donde se realizzo la siembra	49
Figura 9. Diagrama de conecciones	50
Figura 10. Montaej del rele para el control del riego	50
Figura 11. Hongos presentes en cada grupode semillas.....	51
Figura 12. Resultados Significativos.....	52
Figura 13. Promedio de la altura de los 3 grupos.....	58
Figura 14. No se observa presencia de hongos	61
Figura 15. Presencia de hongos.....	62
Figura 16. Cantidad de maiz producido	65
Figura 17. Ganancias COP	65
Figura 18. Estructura para el cultivo	66
Figura 19. Prototipo sistema automatizado.	67
Figura 20. Tornillo trasportador y electrodo.	68
Figura 21. Implementación control de riego	69
Figura 22. Sistema de riego.....	70
Figura 23. Diagrama de conexiones	70
Figura 24. Semillas desinfectadas con plasma frio	71
Figura 25. Semillas sin tratamiento de desinfeccion.....	71
Figura 26. Raices semillas desinfectadas con plasma frio	72
Figura 27. Tallos semillas desinfectadas con plasma frio dia 3	73
Figura 28. Raices semillas sin tratamiento de desinfeccion dia 3	74
Figura 29. Presencia de hongos y bacterias dia 7 semillas sin tratamiento de desinfeccion	75

Figura 30. raíces semillas desinfectadas con plasma frio día 7	75
Figura 31. raíces semillas sin tratamiento de desinfección día 7	76
Figura 32. Curva de crecimiento raíces semillas desinfectadas con plasma frio	77
Figura 33. Curva de crecimiento raíces semillas sin tratamiento de desinfección.....	77
Figura 34. Comparación del crecimiento de los tallos	81
Figura 35. Germinación y raíces saludables plasma frio.....	82
Figura 36. Raices con hongos y mala germinación semillas sin tratamiento de desinfección	83
Figura 37. Elaboración de concentrado.	84
Figura 38. Producto final.....	85

Lista de tablas

Tabla 1. Calculo de peso en gramos.....	53
Tabla 2. Porcentaje de semillas SI germinadas en cada grupo.....	54
Tabla 3. Porcentaje de semillas No germinadas en cada grupo.....	54
Tabla 4. Altura en centímetros desinfeccion con plasma.....	55
Tabla 5. Altura en centímetros grupo de semillas desinfectadas con BENOMYL.....	56
Tabla 6. Altura en centímetros grupo de semillas sin tratamiento.....	57
Tabla 7. Calculo eficacia.....	62
Tabla 8. Ganancias Obtenidas en cada metodo.....	64
Tabla 9. Longitud raices semillas desinfectadas con plasma.....	72
Tabla 10. Tallos semillas desinfectadas con plasma frio dia 3.....	73
Tabla 11. Longitud rraices semillas sin tratamiento de desinfeccion dia 3.....	74
Tabla 12. Longitud raíces semillas sin tratamiento de desinfección día 7.....	76
Tabla 13. Longitud raíces semillas sin tratamiento de desinfección día 7.....	76
Tabla 14. Longitud tallo semillas desinfectadas con plasma frio.....	78
Tabla 15. Longitud tallo semillas sin tratamiento de desinfección.....	79
Tabla 16. Longitud tallo semillas desinfectadas con plasma frio.....	80
Tabla 17. Longitud tallo semillas sin tratamiento de desinfección.....	80
Tabla 18. Comparacion de peso.....	83

Introducción.

La producción de alimentos es fundamental para el crecimiento económico y social de los países, y la industria agrícola desempeña un papel clave en el suministro de alimentos de calidad a la población mundial. Sin embargo, la presencia de hongos y bacterias en los cultivos, especialmente en las semillas de maíz, puede poner en peligro la calidad y seguridad alimentaria, lo que representa un gran desafío para la industria agrícola.

Los métodos tradicionales de desinfección, como el uso de fungicidas y pesticidas, pueden tener efectos negativos en el medio ambiente y la salud humana (OMS, 2022), y algunos microorganismos pueden desarrollar resistencia a estos compuestos químicos, lo que reduce su eficacia. Por lo tanto, el uso de tecnologías innovadoras y eficientes para la eliminación de microorganismos es cada vez más importante.

En este contexto, el plasma frío con acople de impedancias se presenta como una herramienta prometedora para la eliminación de hongos y bacterias en semillas de maíz. El plasma frío es un gas ionizado que se puede utilizar en varias aplicaciones, incluyendo la eliminación de microorganismos en alimentos y semillas. Lo mejor de esta tecnología es que se puede generar sin el uso de productos químicos o altas temperaturas, lo que evita la degradación de la calidad nutricional de los alimentos.

Además, el acople de impedancias puede utilizarse para mejorar la generación de plasma frío y aumentar su capacidad para eliminar microorganismos. Al utilizar el plasma frío con acople de impedancias para eliminar hongos y bacterias en semillas de maíz, se pueden generar especies reactivas de oxígeno y nitrógeno, que tienen propiedades antimicrobianas y pueden eliminar los microorganismos en la superficie de las semillas de maíz (Unigarro, 2022)

El uso de plasma frío con acople de impedancias para la eliminación de hongos y bacterias en semillas de maíz tiene múltiples ventajas en comparación con los métodos convencionales de desinfección. En primer lugar, es un proceso no térmico y no químico, lo que significa que no afecta la calidad nutricional de las semillas de maíz. En segundo lugar, puede ser más eficiente que los métodos convencionales de desinfección, ya que puede eliminar los microorganismos en la superficie de las semillas de maíz y en las grietas y poros de las semillas. (De La Rosa, 2021)

1. El Problema de Investigación

1.1 Objeto o Tema de Investigación

Sistema de eliminación de hongos y bacterias en semillas de maíz por medio de plasma frio con acople de impedancias.

1.2 Línea de Investigación

Sistemas de Automatización y control. La línea de sistemas de automatización y control de la Universidad CESMAG desarrolla procesos investigativos orientados al modelamiento, simulación, diseño, desarrollo y evaluación de algoritmos de control, sistemas de control, sistemas inteligentes, control de procesos industriales, sistemas embebidos, acondicionamiento y procesamiento de señales, robótica, domótica e inteligencia artificial. (Programa de Ingeniería Electrónica, 2015, p. 67)

1.3 Sub Línea de Investigación

Control de Procesos. Estudia el diseño e implementación de controladores que permitan regular las variables de un sistema o proceso con el fin de lograr un funcionamiento deseado, buscando mejorar la productividad y la eficiencia de los procesos, como también la reducción de costos de implementación y el impacto ambiental del mismo. Entre las temáticas que aborda la línea se encuentran el control en procesos industriales, sistemas inteligentes y control visual. (Programa de Ingeniería Electrónica, 2015, p. 67)

1.4 Planteamiento o Descripción del Problema

En la actualidad se ha venido presentando la disminución de rendimiento y calidad en la producción de alimentos, esto debido a la presencia de diferentes tipos de hongos y bacterias que afectan la calidad del producto y así mismo disminuye el rendimiento de la semilla, algunas de las enfermedades que se presenta en el maíz es la mancha de asfalto la cual proporciona una pérdida del 30% de la producción generando pérdidas.(Muñiz, 2022). También puede verse afectado por diversas enfermedades radicales, tanto causadas por hongos como por bacterias. Entre las enfermedades radicales por hongos más comunes se encuentran Fusarium, Diplodia.

Estos hongos pueden infectar las raíces del maíz y provocar daños significativos en el cultivo.

Además de las enfermedades causadas por hongos, el maíz también puede verse afectado por enfermedades radicales bacterianas. Una de las bacterias más comunes que afecta las raíces del maíz es *Erwinia*. Esta bacteria puede causar síntomas como marchitamiento, necrosis y pudrición de las raíces, lo que puede resultar en una disminución del rendimiento y calidad del maíz. (Deras, 2020).

Un probable método de eliminación de hongos y bacterias en semillas de maíz es el de desinfección por plasma frío con acople de impedancias.

El plasma frío es un tipo de plasma generado a temperatura ambiente o cercana a la temperatura ambiente que no produce un calentamiento significativo en los materiales con los que entra en contacto, este tipo de plasma se ha utilizado en diversas aplicaciones. La generación de plasma frío es aplicable a abrasión y corte de materiales, modificación de sustancias químicas, fusión nuclear, y tratamientos médicos o cosméticos cutáneos, y especialmente para desinfección y esterilización de superficies y aire, entre otros (Unigarro, 2022)

Se utilizará un acople de impedancias para disminuir el impacto de plasma frío en las semillas de maíz. Al adaptar la impedancia del generador de plasma a la impedancia de las semillas, se puede maximizar la energía transferida al plasma y minimizar la energía transferida a las semillas, lo que reduce el riesgo de dañar las semillas para así solo eliminar los hongos y bacterias

Se desconoce la eficacia que brinda el sistema de eliminación de hongos y bacterias en semillas de maíz, porque no se ha realizado el estudio correspondiente. Este estudio se centraría en evaluar la capacidad del método de limpieza de semillas para producir los resultados deseados, en términos de la cantidad de alimento producido, de manera consistente y fiable.

1.5 Formulación del Problema

¿Cuál es la eficacia que brinda el Sistema de eliminación de hongos y bacterias en semillas de maíz por medio de plasma frío con acople de impedancias?

1.6 Objetivos

1.6.1 *Objetivo General*

- Determinar la eficacia que brinda el Sistema de eliminación de hongos y bacterias en semillas de maíz por medio de plasma frío con acople de impedancias.

1.6.2 *Objetivos Específicos.*

- Diseñar un sistema de desinfección de semilla utilizando acople de impedancias para aplicar plasma frío.
- Implementar un sistema de desinfección de semilla utilizando acople de impedancias para aplicar plasma frío.
- Evaluar la eficacia de la tecnología de plasma con acople de impedancia en la eliminación de hongos y bacterias presentes en las semillas de maíz.

1.7 Justificación

En Colombia, la desinfección de semillas está regulada por el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), que establece normas y requisitos para garantizar la desinfección y sanidad de las semillas destinadas a la siembra. Para cumplir con estas normas, tradicionalmente se han utilizado productos químicos como el Benomil, el Propamocarb y el Mertec en la desinfección de semillas de maíz, pero su uso plantea preocupaciones en términos de rentabilidad, sostenibilidad ambiental y seguridad para la salud humana.

Las fábricas de insumos químicos en su mayoría son extranjeras y sus precios fluctúan, lo que afecta la rentabilidad y sostenibilidad de los cultivos. Además, los productos químicos utilizados en la desinfección de semillas pueden contaminar las fuentes hídricas y representar riesgos para la salud de los animales y las personas expuestas a ellos. Se ha demostrado que algunos químicos, como los neurotóxicos, pueden causar enfermedades como el Alzheimer y enfermedades paralizantes, mientras que los abonos y los químicos de fumigación están asociados con el cáncer gástrico y de colon, así como afectaciones en otros sentidos como la visión y el habla (Palma et al., 2019).

Ante estos desafíos, es necesario buscar nuevas alternativas para la desinfección de semillas de maíz que sean más efectivas, seguras y respetuosas con el medio ambiente. En este contexto, la tecnología de plasma frío ha surgido como una prometedora opción. La generación de plasma frío es aplicable a diferentes campos, incluyendo la desinfección y esterilización de superficies y aire. La tecnología de plasma con acople de impedancia ha demostrado su efectividad en la eliminación de microorganismos patógenos en diversos materiales, pero su aplicación específica en la desinfección de semillas de maíz aún requiere mayor investigación.

Esta investigación tiene como objetivo contribuir al desarrollo de nuevas alternativas para la desinfección de semillas de maíz, utilizando la tecnología de plasma con acople de impedancia. Se busca demostrar que esta tecnología puede ser más efectiva, segura y sostenible en comparación con los métodos tradicionales de desinfección. Además, se considera cuidadosamente el tiempo de exposición al plasma para no comprometer el rendimiento de las semillas. Asimismo, se enfoca en el diseño de electrodos que aseguren una desinfección completa en todas las áreas de la semilla.

1.8 Viabilidad

Nuestro proyecto de investigación se centra en el desarrollo de un sistema de desinfección de semillas de maíz mediante plasma frío con acoplamiento de impedancias. Contamos con un generador de plasma frío (Unigarro, 2022) y las semillas necesarias para llevar a cabo el estudio.

Durante el proceso experimental, implementaremos diferentes condiciones de acoplamiento de impedancias para minimizar el impacto del plasma en las semillas. Cada grupo de semillas se colocará en bandejas, asegurando que se mantengan en las mismas condiciones. Realizaremos mediciones de variables clave, como la tasa de germinación y la altura de las plántulas, para evaluar el efecto del tratamiento con plasma en el crecimiento de las semillas.

Para garantizar la confiabilidad de nuestros resultados, repetiremos el experimento varias veces. Esto nos permitirá verificar la consistencia de los hallazgos y obtener conclusiones más sólidas. Nuestro proyecto es viable debido a la disponibilidad del generador de plasma frío y las semillas necesarias. Además, la metodología propuesta, que incluye el control de variables, la replicación del experimento y el análisis estadístico de los datos, nos permitirá obtener resultados confiables y significativos.

Al finalizar, esperamos obtener información valiosa sobre el impacto del plasma frío con acoplamiento de impedancias en la desinfección y el crecimiento de las semillas de maíz. Estos hallazgos podrían tener aplicaciones prácticas en la mejora de la producción de maíz y la reducción de enfermedades en las semillas.

La utilización de la tecnología del plasma con acople de impedancias se presenta como una opción viable para abordar este desafío. Esta técnica utiliza plasma frío y el acople de impedancias para eliminar eficazmente los microorganismos y patógenos presentes en las semillas, sin dejar residuos químicos dañinos y minimizando el impacto en el medio ambiente.

1.9 Delimitación

Esta investigación se centra en la desinfección de semillas de maíz, no se considera ningún otro tipo de semilla. También se centrará en la eliminación de hongos y bacterias específicos que afectan las semillas de maíz. El objetivo de este proyecto es implementar un sistema de desinfección de semillas utilizando acople de impedancias para aplicar plasma frío y evaluar su eficacia en la eliminación de hongos y bacterias presentes en las semillas de maíz.

El desarrollo presenta dos aspectos relacionados con un generador de plasma frío. En el primer aspecto, se describe un generador de plasma frío que utiliza un electrodo tridimensional con una pared dieléctrica, un conductor y una cavidad hueca para garantizar la generación controlada de ozono y radiación ultravioleta en un volumen determinado, a bajo costo y sin necesidad de suministro constante de ningún compuesto reactivo. En el segundo aspecto, se presenta un sistema recuperador de ozono que utiliza la generación de plasma como catalizador para transformar el ozono y el hidrógeno en agua y oxígeno, lo que permite disponer de una fuente de plasma segura en espacios habitables y mitigar los riesgos de intoxicación, este sistema funciona por medio de acople de impedancias. Al lograr un acoplamiento de impedancias adecuado, se puede aumentar la eficacia de la inactivación microbiana, reducir el impacto del plasma sobre la semilla y reducir los costos de energía.

En el análisis de resultados se tendrá en cuenta la eficacia en la eliminación de microorganismos la germinación, el crecimiento y calidad del cultivo. No se tendrán en cuenta otros factores que puedan afectar el rendimiento del cultivo tales como los cambios climáticos, fertilización, entre otros.

Como parte de esta investigación, se llevarán a cabo diferentes ensayos para calcular la eficacia del sistema de desinfección de semillas utilizando plasma frío y acople de impedancias. Se realizarán pruebas en condiciones de campo, utilizando diferentes concentraciones de plasma y tiempos de exposición para determinar el nivel óptimo de desinfección. Se evaluará la reducción de hongos y bacterias presentes en las semillas de maíz, así como el impacto en la germinación y el crecimiento de las plántulas. Además, es importante destacar que el objetivo final de esta investigación es la producción de forraje hidropónico a partir de las semillas de maíz tratadas con plasma frío, lo que permitirá obtener un alimento de calidad para el ganado de manera sostenible y eficiente.

Se realizarán pruebas de viabilidad y germinación para evaluar el impacto del tratamiento en la capacidad de las semillas para germinar y producir plántulas saludables. Esto implicará el seguimiento del porcentaje de germinación, la velocidad de germinación y el desarrollo de las plántulas durante un período determinado. La precisión y repetitividad de los ensayos serán garantizadas mediante la realización de múltiples repeticiones y el uso de controles adecuados en cada etapa del proceso experimental.

2. Tópicos de marco Teórico

2.1 Antecedentes

2.1.1 Efecto de la aplicación de cinco protectores químicos en el control de plagas y enfermedades en semillas almacenadas de Maíz (*Zea mays L*) amarillo duro en Tarapoto

El presente estudio (Bach, 1997). Se centra en la situación actual de la superficie sembrada en San Martín, donde se ha observado una disminución del 30% debido a la falta de apoyo por parte de las entidades financieras en términos tanto tecnológicos como económicos desde 1995. Los agricultores que continúan en esta actividad se enfrentan a desafíos al sembrar en condiciones de secano, lo que provoca problemas económicos causados por plagas y enfermedades que afectan la producción y la calidad del producto, tanto en el campo como en los almacenes.

En el caso del cultivo de maíz amarillo, los productores han experimentado un aumento en los ataques de patógenos e insectos, tanto antes como después de la cosecha, lo que resulta en pérdidas económicas al trasladar los granos al almacén. Para garantizar la calidad de las semillas en el almacén, se ha recurrido al tratamiento con protectores químicos.

Ante esta problemática, se plantea la necesidad de realizar ensayos con productos químicos para la desinfección y desinfestación de las semillas de maíz. El objetivo es proporcionar a los productores maiceros opciones de productos que protejan sus semillas del ataque de plagas y enfermedades. Estas investigaciones tienen como finalidad encontrar soluciones efectivas que permitan mitigar los problemas económicos asociados a las pérdidas por plagas y enfermedades, así como mejorar la calidad y rendimiento del cultivo.

El porcentaje de las semillas de maíz fue evaluado cada ocho días, teniendo en cuenta el número de semillas germinadas, donde se determinó que los productos químicos demuestran toxificaciones en las dosis permitiendo que estén tengan mayores enfermedades.

Esta investigación se basa en la premisa de que la implementación de medidas de protección y desinfección adecuadas contribuirá a fortalecer la actividad agrícola en San Martín, fomentando un ambiente propicio para el desarrollo sostenible del sector maicero y brindando a los agricultores herramientas para enfrentar los desafíos presentes en el cultivo de maíz amarillo.

Esto destaca la importancia de encontrar soluciones efectivas para proteger las semillas y mejorar la calidad y rendimiento del cultivo.

2.1.2 Tecnología de Plasma No Térmico en la Industria Agrícola-Alimentaria y Una Breve Descripción Sobre Sus Posibles Efectos En La Germinación de Semillas

Es el artículo presentado por De La Rosa (2021) se explica que la tecnología de plasma no térmico es una tecnología emergente que se está investigando en varios campos, incluyendo la industria agrícola-alimentaria. Esta tecnología utiliza descargas eléctricas para generar plasma a temperatura ambiente, lo que evita el calentamiento de los materiales tratados y reduce la probabilidad de dañarlos. El plasma no térmico tiene la capacidad de generar una gran cantidad de especies reactivas de oxígeno y nitrógeno, como radicales libres, peróxidos y ozono, que pueden tener efectos desinfectantes y antioxidantes en diferentes materiales, incluyendo semillas.

La industria agrícola es fundamental para la alimentación y el desarrollo económico de los países. En la actualidad, uno de los mayores desafíos a los que se enfrenta esta industria es el control de enfermedades y plagas que afectan a los cultivos, lo que puede afectar la producción y

la calidad de los alimentos. Para combatir estas enfermedades y plagas, se utilizan diferentes métodos, como pesticidas y fungicidas, que pueden tener efectos negativos en el medio ambiente y en la salud humana. Por lo tanto, se están investigando nuevas tecnologías y métodos más sostenibles y seguros para la desinfección de los cultivos.

2.1.3 Evaluación del efecto del tratamiento con plasma frío en los compuestos volátiles de sabor de nuez pecana (*Carya illinoensis*)

Según el artículo Jarintzi (2014) la nuez pecana es un alimento muy apreciado por su sabor y valor nutricional. Sin embargo, como todos los alimentos, las nueces pecanas son susceptibles a la contaminación microbiana, lo que puede poner en riesgo la seguridad alimentaria y la calidad sensorial del producto. Una forma de abordar este problema es a través de la desinfección de las nueces antes de su consumo. Tradicionalmente, esto se ha logrado mediante el uso de productos químicos, como el peróxido de hidrógeno, que pueden tener efectos negativos en la calidad sensorial del producto. En este contexto, el tratamiento con plasma frío ha surgido como una alternativa prometedora y sostenible para la desinfección de alimentos.

El plasma frío es un gas ionizado que se produce mediante la aplicación de un campo eléctrico a baja presión. Se ha demostrado que el plasma frío es efectivo en la eliminación de microorganismos en una amplia gama de alimentos, incluyendo frutas, verduras, carne y pescado. Además, el plasma frío también puede tener efectos sobre los compuestos volátiles de sabor y aroma de los alimentos, lo que puede afectar su calidad sensorial.

Se evaluó el efecto del tratamiento con plasma frío en los compuestos volátiles de sabor de las nueces pecanas. El objetivo del estudio fue determinar si el tratamiento con plasma frío afectaba los compuestos volátiles que contribuyen al sabor y aroma de las nueces, y si esto tenía un impacto en la calidad sensorial del producto.

Para llevar a cabo el estudio, se recolectaron nueces pecanas frescas de una granja en la región de Mendoza, Argentina. Las nueces se dividieron en dos grupos: uno que se sometió a tratamiento con plasma frío y otro que se mantuvo como control. El tratamiento con plasma frío se llevó a cabo en una cámara de tratamiento diseñada específicamente para este propósito, con una presión de 13 Pa y una potencia de 100 W. Se realizaron tres tratamientos diferentes con plasma frío, con tiempos de exposición de 5, 10 y 20 minutos, respectivamente. Después del tratamiento, se midió la concentración de compuestos volátiles en las nueces usando cromatografía de gases y espectrometría de masas.

Los resultados del estudio indicaron que el tratamiento con plasma frío tuvo un efecto significativo en los compuestos volátiles de sabor y aroma de las nueces pecanas. Específicamente, se encontró que algunos de los compuestos que contribuyen al sabor y aroma de las nueces, como el 2,6-dimetil-octeno-2-al y el 2,6-dimetil-octano, se redujeron después del tratamiento con plasma frío. Sin embargo, también se encontró que la intensidad del sabor y aroma de las nueces puede afectar la seguridad alimentaria y la calidad sensorial del producto. Esto respalda la necesidad de explorar métodos de desinfección eficaces y sostenibles para las nueces pecanas.

2.1.4 Sistema de Generación de Plasma y Método de Desinfección(Patente)

Según Unigarro (2022) el plasma frío ha sido cada vez más utilizado en diversas áreas gracias a sus propiedades para controlar la temperatura, sintetizar y descomponer moléculas, generar radiación ultravioleta y visible, y sus características electromagnéticas. En la agricultura, se ha utilizado para la germinación y crecimiento de semillas de trigo, y en la industria alimentaria, para la desinfección y esterilización de alimentos. En la medicina, se han realizado estudios sobre su efectividad en la eliminación de células cancerosas y en la lucha contra bacterias resistentes a los antibióticos. En resumen, el plasma frío se ha convertido en una herramienta versátil y útil en múltiples campos.

Se han desarrollado diferentes sistemas de desinfección y esterilización con plasma frío que utilizan electrodos y una diferencia de potencial bajo ciertos parámetros. Una patente específica, la US 10,729,798, presenta un sistema que aplica plasma frío a cajas de Petri mediante un solo electrodo de gran tamaño para inactivar microorganismos patógenos. Sin embargo, esto puede generar problemas en cuanto al espacio de acción, ya que es muy reducido en comparación con el dispositivo para la generación de plasma.

La invención consiste en un generador de plasma que utiliza nitrógeno del aire ambiente para desinfectar y esterilizar espacios. Además, se recupera el ozono generado durante el proceso. Se propone un método de desinfección y esterilización que combina plasma, ozono y altas temperaturas para eliminar virus y bacterias en el aire y superficies. Este método puede ser utilizado en múltiples sectores, incluyendo la educación, el transporte y el hotelaría.

2.2 Enunciados de los Supuestos Teóricos

2.2.1 *Plasma frío*

En Unigarro (2022) da a conocer que el plasma frío es un método viable de desinfección y esterilización por plasma, en el cual se logra la eliminación de virus y bacterias en aire y/o superficies por la combinación de tres factores: plasma, ozono, y altas temperaturas

El plasma frío es un gas ionizado que se encuentra a temperatura ambiente. Se compone de iones, electrones y moléculas excitadas y se utiliza en diversas aplicaciones, como la esterilización de instrumentos médicos, la eliminación de contaminantes en el agua y la eliminación de microorganismos en alimentos y semillas. El plasma frío se genera a través de un proceso eléctrico en el cual se aplica un campo eléctrico de alta frecuencia a un gas, generando una descarga eléctrica que ioniza el gas y crea el plasma frío. El plasma frío se caracteriza por tener una alta capacidad de oxidación, lo que lo hace útil en la eliminación de microorganismos y contaminantes. Además, debido a que se genera a temperatura ambiente, el plasma frío no afecta negativamente la calidad nutricional de los alimentos

En el caso de la eliminación de hongos y bacterias en semillas de maíz mediante plasma frío, el acople de impedancias se puede utilizar para optimizar la transferencia de energía del generador de plasma al reactor de plasma, de manera que se logre una eficacia máxima en la eliminación de los agentes patógenos en las semillas.

El acople de impedancias en este sistema puede lograrse mediante el uso de un transformador de impedancias, que se encarga de adaptar la impedancia del generador de plasma con la del reactor de plasma. Esto permite una transferencia de energía más eficiente y, por lo tanto, una mayor eficacia en la eliminación de hongos y bacterias en las semillas de maíz.

Jarintzi (2014) El plasma frío es un estado fuera de equilibrio que se caracteriza por tener una temperatura mucho mayor para los electrones que para las partículas neutras o los iones. Este plasma es útil porque genera especies químicamente reactivas, como iones y radicales, que pueden participar en procesos tanto en fase gas como en superficies.

Se analizó la efectividad del tratamiento con plasma frío para inactivar microorganismos con papel filtro y filetes de pollo. Se probaron diferentes variables como distancia de la membrana inoculada, voltaje, frecuencia y tipo de gas. Se encontró que la mayor reducción se logró a una distancia de 1 cm, 11 kV, 23 kHz y una mezcla de 5 L/min de He y 25 mL/min de O durante 10 s en papel filtro. Sin embargo, estas condiciones no fueron efectivas en filetes de pollo, por lo que se

incrementó el flujo de oxígeno, potencia y frecuencia del plasma, logrando una reducción de 0.94 log UFC/cm². Es importante considerar la composición del alimento y la naturaleza de los gases utilizados para generar el plasma, y se necesitan más estudios para evaluar los efectos en las propiedades sensoriales y nutricionales de los alimentos tratados con plasma.

2.2.2 Plasma frío aplicado en semillas

El tratamiento de semillas vegetales con plasma frío de alta frecuencia puede mejorar la calidad de las semillas agronómicas, según De La Rosa (2021). Un estudio sobre semillas de trigo, incluyendo la altura de la planta, la longitud de la raíz y el peso fresco. El tratamiento con plasma también aumentó el contenido de clorofila, nitrógeno y humedad, lo que indica que promueve el crecimiento del trigo. Otro estudio sobre semillas de soja tratadas con plasma frío encontró que los tratamientos de plasma aumentaron significativamente la germinación y el crecimiento de las plántulas, especialmente a 80 W. Las características del crecimiento de la plántula, incluyendo la longitud del brote, el peso seco del brote, la longitud de la raíz y el peso seco de la raíz, aumentaron significativamente en comparación con el grupo de control. El tratamiento de semillas vegetales con plasma frío puede mejorar la germinación, el crecimiento y el rendimiento de las plantas.

En este contexto, la tecnología de plasma no térmico se presenta como una alternativa prometedora para la desinfección de semillas y otros materiales agrícolas sin utilizar productos químicos. El plasma no térmico se genera mediante la aplicación de una corriente eléctrica a un gas, como el aire, el nitrógeno o el argón, lo que produce una gran cantidad de especies reactivas que pueden tener efectos desinfectantes y antioxidantes en diferentes materiales.

La tecnología de plasma no térmico se ha utilizado en diferentes aplicaciones en la industria alimentaria, como la desinfección de superficies, la conservación de alimentos y la eliminación de microorganismos en diferentes etapas de producción. En la desinfección de semillas, el plasma no térmico puede ser utilizado para eliminar microorganismos que se encuentran en la superficie de las semillas, sin afectar su capacidad de germinación. Además, el plasma no térmico también puede tener efectos positivos en la calidad de las semillas, como la mejora de la germinación y la reducción de la aparición de enfermedades en los cultivos.

Uno de los principales beneficios de la tecnología de plasma no térmico es que no produce residuos tóxicos ni dañinos para el medio ambiente, como ocurre con los pesticidas y fungicidas.

Además, el uso de plasma no térmico también puede reducir los costos y los tiempos de producción, ya que no requiere grandes cantidades de energía ni de equipo especializado.

Sin embargo, es importante destacar que se necesitan más estudios para evaluar los posibles efectos del plasma no térmico en diferentes tipos de semillas y condiciones de germinación. Algunos estudios han mostrado que el plasma no térmico puede ser efectivo para desinfectar semillas sin afectar su capacidad de germinación, como se mencionó anteriormente. Sin embargo, otros estudios han encontrado que el plasma no térmico puede tener efectos negativos en la germinación de algunas semillas

2.2.2.1

Plántula

Es la fase temprana de crecimiento de una planta después de la germinación de la semilla. (De La Rosa, 2021) En esta etapa, la planta comienza a desarrollar su sistema de raíces y hojas verdaderas, y a medida que continúa creciendo, se convertirá en una planta adulta. Durante la etapa de plántula, la planta es más vulnerable a las condiciones ambientales adversas y necesita cuidados especiales para asegurar su supervivencia y crecimiento saludable.

2.2.2.2

Clorofila

(De La Rosa, 2021) ayuda a absorber la luz del sol para producir energía y oxígeno a través de la fotosíntesis.

2.3 Variables de Estudio

2.3.1 Definición nominal de variables

2.3.1.1 Eficacia

La eficacia en germinación y producción puede ser medida mediante la comparación de los resultados obtenidos en plantas tratadas con plasma y plantas no tratadas. Se pueden evaluar variables como el tiempo de germinación, el crecimiento de la planta, el tamaño y calidad del fruto o cultivo, la resistencia a enfermedades y plagas, entre otros factores. También se pueden realizar análisis de calidad de los productos obtenidos para evaluar posibles mejoras en aspecto tamaño y peso. La medición del peso de las plántulas nos proporcionará información sobre su

desarrollo y crecimiento. Además, mediremos la altura de las plántulas como indicador del crecimiento vertical, este es un parámetro clave que refleja la vitalidad y el vigor de las plantas.

Estas mediciones cuantitativas nos proporcionarán datos objetivos para analizar y comparar la eficacia de nuestro sistema de desinfección.

Para este análisis, se pueden tomar tres grupos de semillas de maíz: uno tratado con plasma frío, otro con tratamiento tradicional y otro sin ningún tratamiento. Los tres grupos se someten a las mismas condiciones de germinación y se observa el número de semillas que germinan en cada grupo. Luego se calcula el porcentaje de germinación para cada grupo.

Si el grupo de semillas tratadas con plasma frío tiene un aumento en la productividad similar o superior al grupo de control sin tratamiento, esto puede indicar que el tratamiento con plasma frío no ha afectado negativamente la calidad de las semillas y ha eliminado los hongos y bacterias presentes por lo tanto será un sistema eficaz.

Teniendo en cuenta los datos que vamos a obtener al final de la prueba se puede hacer una comparación por lo que para el cálculo de la eficacia se propone la siguiente formula:

$$Eficacia(\%) = \frac{Gp - Gc}{Gc} * 100$$

Donde:

Gp: Grupo de semillas desinfectado.

Gc: Grupo de semillas sin tratamiento.

En este caso se calculará usando los datos obtenidos los cuales son peso y altura, con estos datos se calculará la eficacia de cada grupo y al final se obtendrá la eficacia total de la siguiente manera:

$$EficaciaT(\%) = \frac{Ep + Ea}{2} - \mu * M$$

Donde:

Ep: Eficacia obtenida del peso.

Ea: Eficacia obtenida de la altura.

μ : Porcentaje de penalización por infestación (15%).

M: Presencia de hongos. 1:si; 0: no.

2.4 Hipótesis

2.4.1 Hipótesis de Investigación

Este estudio propone que el uso del sistema de eliminación de hongos y bacterias en semillas de maíz a través del plasma frío con acople de impedancias, puede aumentar significativamente la germinación y producción de las semillas tratadas en comparación con las semillas no tratadas. Se espera que, al eliminar los microorganismos dañinos, se logre un crecimiento más saludable de las semillas tratadas, con un mayor crecimiento de las raíces, una mayor tasa de supervivencia de las plántulas y un mayor rendimiento en la producción.

Para comprobar esta hipótesis se llevará a cabo un estudio experimental en el que se comparará la eficacia de las semillas de maíz tratadas con plasma frío con acople de impedancias con las semillas no tratadas, midiendo diversos indicadores como la altura, peso y el rendimiento de la producción. Se espera que los resultados confirmen que este sistema de eliminación es una tecnología efectiva para mejorar la producción de semillas de maíz en un 30%, lo cual puede contribuir a la creación de una agricultura más sostenible y saludable.

2.4.2 Hipótesis Nula

Se espera que los resultados no demuestren una diferencia significativa en la producción de semillas de maíz entre el grupo de semillas tratadas con plasma frío y el grupo de semillas no tratadas.

2.4.3 Hipótesis Alternativa

Se espera que los resultados demuestren una mejora significativa del 30% en la producción de semillas de maíz en el grupo tratado con plasma frío en comparación con el grupo no tratado, respaldando así la eficacia del tratamiento de desinfección.

3. Metodología

3.1 Enfoque

El enfoque de esta investigación es cuantitativo, dado que las variables asociadas al objeto de investigación se miden numéricamente, y se centrará en la evaluación de la eficacia de la desinfección de semillas de maíz por medio de plasma frío con acople de impedancia.

Se llevará a cabo una evaluación de la eficacia de los tratamientos en la eliminación de microorganismos, así como en la germinación, el crecimiento y la calidad del cultivo.

3.2 Paradigma

Esta investigación se basará en un paradigma neopositivista, ya que se busca determinar la eficacia de la desinfección de semillas de maíz por medio de plasma frío con acople de impedancia utilizando un enfoque cuantitativo.

3.3 Método

El método que se utilizará es científico. En esta investigación será el diseño experimental, que se aplica para establecer relaciones causales entre variables y determinar si los cambios en una variable provocan cambios en otra variable mediante la manipulación y control de las variables independientes y la medición de los efectos sobre las variables dependientes.

3.4 Tipo de diseño

La investigación es de tipo descriptivo, ya que la finalidad es determinar la eficacia del Sistema de eliminación de hongos y bacterias en semillas de maíz por medio de plasma frío con acople de impedancias comparado con otros sistemas.

3.5 Diseño de investigación

El diseño de esta investigación se define como experimento puro, ya que se pretende implementar un sistema de eliminación de hongos y bacterias en semillas de maíz por medio de plasma frío con acople de impedancias.

Se empleará un conjunto de semillas de maíz, que se dividirá en tres subgrupos con iguales características. Cada subgrupo será asignado a un método de desinfección particular que se busca evaluar. De este modo, se establecerá un diseño experimental en el cual cada método de desinfección contará con su propio grupo, permitiendo llevar a cabo comparaciones relevantes. El diseño experimental del trabajo es el siguiente:

RG1 X1 O1

RG2 X2 O2

RG3 – O3

Donde:

RG1: Semillas de maíz.

RG2: Semillas de maíz.

RG3: Semillas de maíz.

X1: Sistema de eliminación de hongos y bacterias en semillas de maíz por medio de plasma frío con acople de impedancias.

X2: Métodos de desinfección tradicionales.

O1: Eficacia con Sistema de eliminación de hongos y bacterias en semillas de maíz por medio de plasma frío con acople de impedancias.

O2: Eficacia con Métodos de desinfección tradicionales.

O3: Eficacia sin ningún tratamiento.

3.6 Universo

El universo para el sistema de eliminación de hongos y bacterias en semillas de maíz por medio de plasma frío con acople de impedancias estaría constituido por el mismo sistema a implementar.

3.7 Muestra

La muestra corresponde a el sistema de eliminación de hongos y bacterias en semillas de maíz por medio de plasma frío con acople de impedancias, que se compararan con métodos comunes de desinfección.

3.8 Técnicas de recolección de información

En el presente estudio, se llevará a cabo una evaluación de la eficacia del sistema de eliminación de hongos y bacterias en semillas de maíz mediante el uso de plasma frío con acople de impedancias. Para obtener los datos necesarios, se empleará el método de observación directa. El objetivo principal será comparar la eficacia de este sistema con los métodos tradicionales de tratamiento y con un grupo de semillas sin ningún tipo de tratamiento.

El objetivo de asegurar la igualdad de condiciones entre los tres grupos de semillas, se mantendrán las condiciones ambientales lo más similares posible sin ejercer un control activo sobre ellas. Durante el experimento, se tomarán mediciones de humedad, temperatura y pH en cada grupo de semillas para demostrar que están expuestos a entornos similares. Aunque no se realizarán ajustes deliberados en estas condiciones, las mediciones periódicas servirán para documentar y evidenciar que los tres grupos se encuentran en igualdad de condiciones ambientales. La medición de la eficacia cuantitativa se llevará a cabo mediante el uso de equipos específicos. Se utilizará una cinta métrica para medir la altura de las plántulas y una gramera para medir el peso. Estos instrumentos permitirán comparar el desarrollo y el crecimiento de cada grupo de semillas, proporcionando datos objetivos y cuantificables.

La utilización de estos instrumentos de medición garantizará la obtención de resultados precisos y confiables, permitiendo así evaluar de manera adecuada la eficacia del sistema de eliminación de hongos y bacterias en las semillas de maíz.

3.8.1 Principio de funcionamiento

3.8.1.1 Generador de plasma

En un primer aspecto, el presente desarrollo hace referencia a un generador de plasma frío el cual comprende una fuente de voltaje y un electrodo. En el generador de plasma frío, es posible complementar el electrodo con uno o más electrodos para conformar una matriz de electrodos. Dicho electrodo es tridimensional y está conformado por una pared dieléctrica, un conductor, y una cavidad

hueca. La configuración resultante del generador de plasma frío permite garantizar la generación de plasma en un volumen determinado, junto con la generación controlada de ozono, un cambio de temperatura superior a 160 °C y radiación ultravioleta en la banda de 300 nm a 400 nm, a bajo costo tanto de fabricación como de operación. Esta generación de plasma frío no requiere un suministro constante de ningún compuesto o gas reactivo, sino únicamente la presencia natural de nitrógeno en el aire del ambiente.(Unigarro, 2022)

3.8.1.2 Gramera

Una gramera es un instrumento de medición utilizado para pesar pequeñas cantidades de materiales con alta precisión. Funciona mediante la aplicación de la fuerza de la gravedad sobre un objeto colocado en su plato de pesaje. Las grameras modernas utilizan un sensor de carga, que mide la deformación causada por la fuerza del objeto en el plato y convierte esa información en un valor de peso.

El valor de peso se muestra en una pantalla digital, que puede ser calibrada para diferentes unidades de medida, como gramos, onzas o quilates. La precisión de la gramera depende del modelo y puede variar desde 0,1 gramos hasta 0,001 gramos o incluso menos. Para garantizar una medición precisa, las grameras suelen ser colocadas sobre una superficie nivelada y libre de vibraciones, y se recomienda calibrarlas con un peso conocido antes de su uso.

3.8.1.3 Cinta métrica

consiste en una cinta flexible hecha de material como tela o acero que se enrolla en un carrete o carcasa. Al estirar la cinta, se puede medir la distancia entre dos puntos. La mayoría de las cintas métricas tienen marcas de medida en pulgadas y centímetros, y algunos modelos también incluyen medidas adicionales

3.8.1.4 Microcontrolador Arduino uno

El microcontrolador en la placa Arduino Uno viene pre programado con un bootloader, lo que significa que puede cargarse el código en la placa sin necesidad de un programador externo. Para programar la placa, se utiliza el entorno de desarrollo integrado de Arduino (IDE), que es un software que se ejecuta en un ordenador y se utiliza para escribir y cargar el código en la placa Arduino.

La placa Arduino Uno tiene una serie de pines de entrada/salida (E/S) que se pueden programar para realizar diversas funciones. Estos pines pueden utilizarse para conectar sensores, actuadores y otros dispositivos externos a la placa Arduino.

Además, la placa Arduino Uno tiene una serie de componentes integrados, como un regulador de voltaje, un cristal oscilador y varios diodos y resistencias, que hacen que sea fácil de utilizar y programar para una amplia variedad de proyectos electrónicos

3.8.2 *Valides de la técnica*

Según (Los et al., 2019) la medición cuantitativa del peso y la altura en la germinación de las semillas es una técnica válida debido a la estrecha relación entre el crecimiento y desarrollo de una planta y el proceso de germinación de las semillas. El peso y la altura son dos indicadores clave que permiten evaluar el éxito de la germinación y el crecimiento de las plantas.

Cuando se aplica el sistema de eliminación de hongos y bacterias en las semillas de maíz mediante plasma frío con acople de impedancias, se espera que las semillas tratadas sean más saludables y tengan un mayor potencial de crecimiento en comparación con las semillas sin tratamiento o tratadas con métodos tradicionales. Estos efectos positivos en las semillas tratadas se deberían reflejar en un aumento en el peso y la altura de las plantas resultantes.

Por lo tanto, la medición cuantitativa del peso y la altura de las plantas germinadas se considera una forma objetiva de evaluar la eficacia del sistema de eliminación de hongos y bacterias en las semillas de maíz mediante plasma frío con acople de impedancias. Estos parámetros proporcionan datos tangibles y comparables que pueden respaldar conclusiones sobre la mejora en la calidad y el crecimiento de las plantas tratadas.

3.8.3 *Confiabilidad de la técnica*

La medición cuantitativa del peso y la altura en la germinación de las semillas es una técnica ampliamente utilizada en estudios científicos debido a su confiabilidad y objetividad. Esta técnica proporciona datos numéricos que pueden ser recolectados de manera precisa y repetible, lo que permite evaluar de manera precisa los efectos de diferentes tratamientos o condiciones en el crecimiento de las plantas.

La confiabilidad de esta técnica se basa en su naturaleza objetiva y en la posibilidad de reproducir los resultados. Al seguir un protocolo estandarizado para la recolección de datos, se minimizan posibles fuentes de error y se asegura la consistencia en las mediciones. Además, realizar múltiples mediciones en muestras repetidas aumenta la confiabilidad de los resultados al reducir la variabilidad y proporcionar una visión más precisa del comportamiento de las semillas.

3.9 Instrumentos de recolección de información

Los instrumentos que permitirán registrar los datos obtenidos serán los dispositivos que se mencionan en la técnica de recolección de información, los cuales se encargan en medir el peso y la altura de la planta.

Utilizar un registro de datos para registrar la cantidad de semillas de maíz tratadas con plasma frío, la cantidad de semillas tratadas con método tradicional y con las semillas de maíz no tratadas. Luego, seguirá el progreso de la germinación de los grupos de semillas, registrando la altura y el peso de las plántulas en intervalos de tiempo específicos.

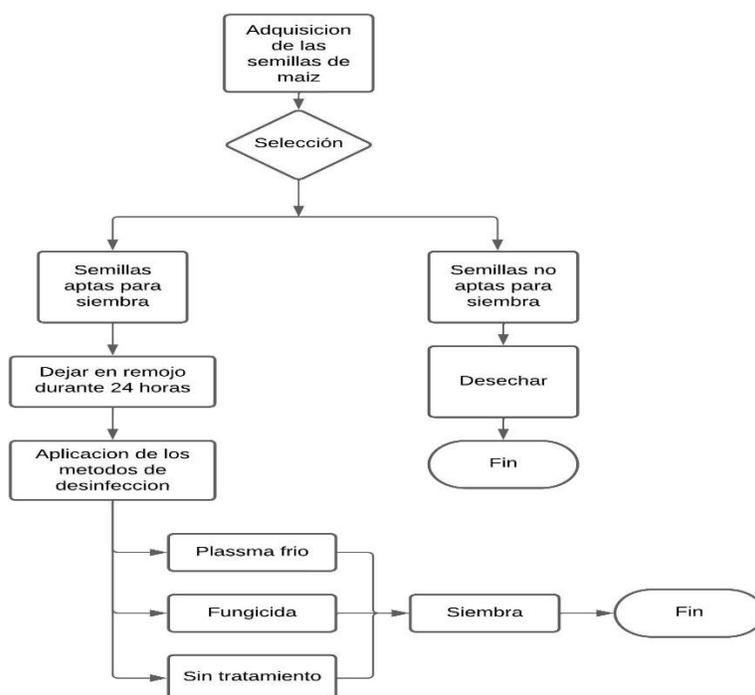
4. Resultados

4.1 Diseño de un sistema de desinfección de semilla utilizando acople de impedancias para aplicar plasma frio.

4.1.1 Estudio del proceso de germinación de la semilla.

Una semilla de maíz comienza a germinar, básicamente está empezando su viaje para convertirse en una planta. Este proceso está influenciado por variables como la temperatura, la humedad y si hay suficiente oxígeno cerca. La semilla de maíz sigue un plan ordenado para convertirse en una planta.

Figura 1. Proceso de germinación



En la figura 1, se presenta el proceso por el que se sometió la semilla de maíz antes de ser plantada.

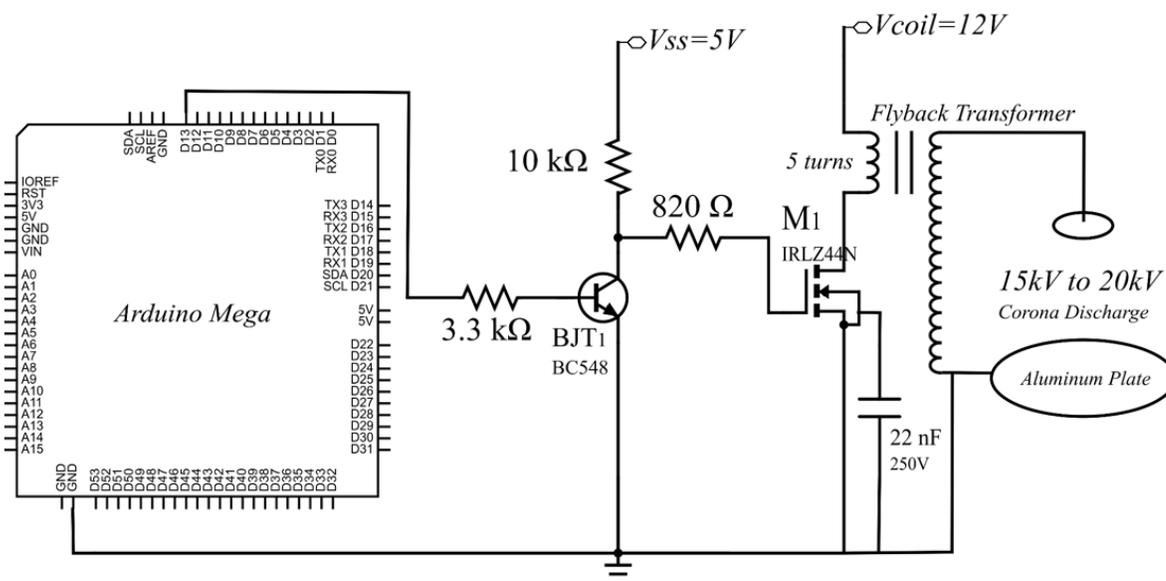
4.1.2 Diseño del sistema de desinfección de semillas de maíz con acople de impedancias para aplicar plasma frío.

El diseño de un sistema de desinfección de semillas de maíz con acople de impedancias para aplicar plasma frío representa un avance significativo en la tecnología agrícola moderna. En un mundo donde la seguridad alimentaria y la sostenibilidad son prioridades, este tipo de innovación ofrece una solución eficaz y respetuosa con el medio ambiente para mejorar la calidad y la salud de los cultivos.

Este sistema combina dos tecnologías poderosas: el plasma frío y el acople de impedancias. El plasma frío, un estado altamente energético de la materia, se utiliza para desinfectar las semillas de maíz de manera efectiva sin necesidad de productos químicos agresivos. Por otro lado, el acople de impedancias optimiza la transferencia de energía al ajustar las características eléctricas del sistema, lo que aumenta la eficiencia y la uniformidad del proceso de desinfección.

Para el proceso de la generación del plasma es necesario contar con un sistema electrónico de elevación de voltaje, el cual es alimentado con una fuente de 12 voltios y 5 amperios

Figura 2. Diseño del sistema de desinfección



4.1.2.1 Funcionamiento del circuito de descarga de plasma

El circuito de la figura 2 funciona a partir de un controlador Arduino que envía una señal a un circuito BJT que amplifica la señal y activa un MOSFET. El MOSFET permite que la corriente fluya hacia un flyback, que eleva el voltaje a 6000V. Este voltaje se aplica a un electrodo lleno de agua, creando una descarga de plasma entre el electrodo y una placa de tierra. Para generar plasma en el aire, se necesita un voltaje de aproximadamente 3 kV por cada milímetro de distancia entre los electrodos. Por lo tanto, para una distancia de 2 mm, se requieren 6 kV. En este caso, estamos utilizando 6000V para asegurar una distancia mayor y una ionización eficiente del aire, facilitando así la formación del plasma.(Pedersen, 1967)

La fórmula de tensión de ruptura, también conocida como ecuación de Paschen, se utiliza para calcular el voltaje requerido para provocar una ruptura eléctrica en un gas entre dos electrodos.(Minotti, 2005)

$$Vb = \frac{B * p * d}{\ln(A * p * d) - \ln[1 + \frac{1}{rse}]}$$

Donde:

Vb: es el potencial de ruptura en voltios, en corriente continua.

A y B: son constantes que dependen del gas.

p: es la presión del gas para el voltaje de ruptura deseado (6000v)

d: es la distancia en centímetros entre los electrodos.

rse: es un coeficiente. rendimiento de electrones secundarios.

Para el aire A típicamente tiene un valor de $20 \text{ cm}^{-1} \text{ torr}^{-1}$. Este valor es derivado de la investigación empírica sobre el comportamiento de ionización en el aire a diferentes presiones y distancias.

Para el aire, B típicamente tiene un valor de $365 \text{ cm}^{-1} \text{ torr}^{-1}$. Este valor se basa en estudios experimentales que miden el voltaje de ruptura en el aire bajo diferentes condiciones de presión y distancia. torr^{-1} representa la inversa de la presión, utilizada en contextos como la ecuación de Paschen para relacionar presión y distancia en un gas para calcular el voltaje de ruptura.

El valor de p se determina mediante el voltaje de ruptura deseado, en este caso para p = 145 la ecuación de Paschen nos da un valor de Vb de aproximadamente 6057.65 V que es

bastante cercano al objetivo de 6000 V, para una distancia $d = 0.2$ cm entre los electrodos. Este proceso de ajuste iterativo.

En muchos casos rse se elige típicamente en el rango de 0.01 a 0.1 para gases comunes como el aire. Este rango suele funcionar bien para muchas aplicaciones prácticas. En nuestra practica elegimos 0.01. Entonces se obtiene:

$$A = 20$$

$$B = 365$$

$$p = 145$$

$$d = 0.2$$

$$rse = 0.01$$

Se calcula:

$$\ln(A * p * d)$$

$$\ln(20 * 154 * 0.2)$$

$$\ln(580) = 6.3630$$

Ahora calculamos

$$\ln\left[1 + \frac{1}{rse}\right]$$

$$\ln\left[1 + \frac{1}{0.01}\right] = \ln(101) = 4.6151$$

Se calcula:

$$B * p * d = 365 * 145 * 0.2 = 10585$$

Verifique el valor de Vb en la formula reemplazando los valores anteriores.

$$Vb = \frac{B * p * d}{\ln(A * p * d) - \ln\left[1 + \frac{1}{rse}\right]}$$

$$Vb = \frac{10585}{6.3630 - 4.6151}$$

$$Vb = \frac{10585}{1.7479} = 6057.65$$

La descarga de plasma se puede utilizar para diversas aplicaciones como esterilización, eliminación de olores, activación de reacciones químicas y esterilización de semillas, entre otras aplicaciones.

4.1.2.2 Acoplamiento de Impedancia en la Desinfección con Plasma Frío

El acoplamiento de impedancia es crucial en la desinfección con plasma frío, ya que garantiza una transferencia óptima de potencia desde la fuente de alimentación al plasma. Ajustar la fuente de alimentación para que coincida con la impedancia del plasma es esencial para obtener un plasma más estable y eficiente. La impedancia del plasma, que varía según la presión, la composición del gas y la geometría del dispositivo, puede ser ajustada mediante técnicas como la modulación de la frecuencia de operación, la amplitud de la señal de entrada o la forma de onda. Coincidir la fuente de alimentación con la impedancia del plasma maximiza la transferencia de potencia, resultando en un plasma más efectivo para aplicaciones como la desinfección.

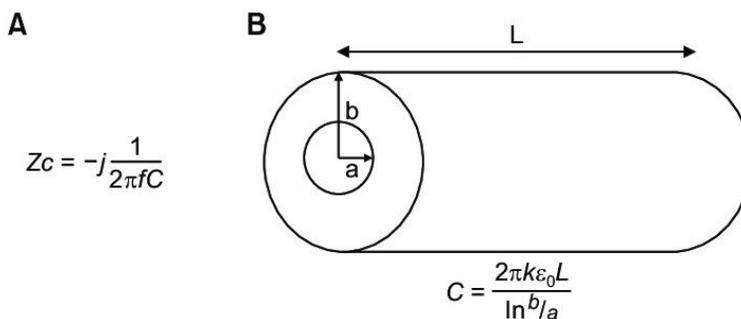
La impedancia del plasma se refiere a la resistencia eléctrica y la reactancia que presenta el plasma a la corriente eléctrica. Un plasma a baja temperatura tiende a tener una impedancia más alta debido a su menor conductividad eléctrica, lo que aumenta la resistencia eléctrica. El acoplamiento de impedancia no solo optimiza la transferencia de potencia, sino que también ayuda a controlar la temperatura del plasma, evitando sobrecalentamientos que podrían dañar los objetos. Esto se logra mediante redes de adaptación de impedancia, electrodos específicos y ajuste de frecuencia de la fuente de alimentación, cuyos detalles específicos son confidenciales y patentados por empresas especializadas.

El agua, por su capacidad de almacenar energía eléctrica en un campo eléctrico (capacitancia), se utiliza como medio dieléctrico en condensadores. Su alta constante dieléctrica la convierte en un buen material dieléctrico. El acoplamiento capacitivo, que utiliza condensadores para transferir señales eléctricas alternas entre dos circuitos, es un método clave en diversas aplicaciones electrónicas. Este tipo de acoplamiento permite el paso de señales de AC mientras bloquea la corriente continua, aislando circuitos entre sí.

tanto el acoplamiento de impedancia en la desinfección con plasma frío como el uso de agua en condensadores y el acoplamiento capacitivo en circuitos electrónicos, comparten la necesidad de gestionar eficazmente la transferencia y almacenamiento de energía eléctrica.

Para el cálculo de la capacitancia y la impedancia del electrodo se hace el siguiente proceso con las formulas e imagen de la figura 3.

Figura 3. capacitancia e impedancia



Para:

$$c = \frac{2\pi k \epsilon_0 L}{\ln b/a}$$

Donde:

C: es la capacitancia en faradios (F).

K: es la permitividad del vacío, aproximadamente 8.854×10^{-12} F/m.

ϵ_0 : es la permitividad relativa del material dieléctrico entre los electrodos (vidrio).

L: es la longitud del electrodo en metros (m).

a: es el radio del electrodo interno en metros (m).

b: es el radio del electrodo externo en metros (m).

una permitividad de 6 ofrece un equilibrio óptimo entre la capacidad de almacenamiento de energía y otras propiedades del vidrio, como la transparencia óptica, la resistencia mecánica y la estabilidad térmica. En el caso de la permitividad del vacío se deriva de conceptos fundamentales en la física, como la ley de Coulomb y las ecuaciones de Maxwell, y ha sido medido con gran precisión en experimentos de laboratorio.

Luego se hace las medidas necesarias en el electrodo para completar los datos y poder remplazarlos en la formula.

Se obtiene los siguientes datos:

$$K: 8.854 \times 10^{-12} \text{ F/m.}$$

$$\varepsilon = 6$$

$$L = 0.1m$$

$$a = 0.0129m$$

$$b = 0.0154m$$

Podemos sustituir los valores en la ecuación

$$c = \frac{2\pi k \varepsilon_0 L}{\ln b/a}$$

$$c = \frac{2\pi * 8.854 \times 10^{-12} * 6 * 0.1}{\ln(0.0154/0.0127)}$$

Primero, resolvamos el logaritmo natural

$$\ln(0.0154/0.0127) = 0.1949$$

Sustituimos este valor en la ecuación original

$$c = \frac{2\pi * 8.854 \times 10^{-12} * 6 * 0.1}{0.1949}$$

$$c = 1.712611 \times 10^{-10} \text{ Faradios}(f)$$

Por lo tanto la capacitancia (C) es de $1.712611 \times 10^{-10} \text{ Faradios}(f)$

Para:

$$Z_c = -j \frac{1}{2\pi f C}$$

Donde:

Zc: es la impedancia en ohmios (Ω).

j: es la unidad imaginaria $(-1)^{0.5}$.

f: es la frecuencia de la señal en hercios (Hz).

C: es la capacitancia en faradios (F).

En este cálculo se utiliza la frecuencia con la que esta programo el pwm del arduino, la unidad imaginaria j también conocida como $\sqrt{-1}$ se utiliza en ingeniería eléctrica y otros campos para representar cantidades que tienen una componente imaginaria

Dado que:

$$F = 10 \text{ Khz}$$

$$j = (-1)^{0.5}$$

$$F = 1.712611 \times 10^{-10} f$$

Se logra sustituir los valores en la ecuación

$$Zc = -j \frac{1}{2\pi f C}$$

$$Zc = -j \frac{1}{2\pi * 10 * 10^3 * 1.712611 * 10^{-10}}$$

$$Zc = -j \frac{1}{2\pi * 10 * 10^3 * 1.712611 * 10^{-10}}$$

Primero, resolvemos el denominador

$$2\pi * 10 * 10^3 * 1.712611 * 10^{-10} = 1.075393 * 10^{-5}$$

Entonces Zc se convierte en:

$$Zc = -j \frac{1}{1.075393 * 10^{-5}}$$

$$Zc = -j92976.611$$

Por lo tanto la impedancia Zc es $-j92976.611$

Una vez que el condensador se carga y la distancia entre los electrodos es menor a 2mm, se produce la descarga de energía debido a la ruptura del dieléctrico. La energía almacenada en el condensador se libera en forma de calor y luz.

El acoplamiento capacitivo se utiliza para transferir señales de CA entre dos circuitos sin que pase la corriente continua. Esto se debe a que el condensador bloquea la corriente continua, pero permite el paso de las señales de CA, que varían con el tiempo.

4.1.2.3 Código Arduino para la descarga de plasma

El código Arduino para la descarga de plasma implica la configuración inicial del pin 13 con la función setup () como salida y la generación de una señal PWM en este pin. La señal PWM controla un MOSFET por medio de la función loop (), encendiéndolo para permitir la corriente hacia el flyback cuando la señal es alta y apagándolo cuando es baja. La frecuencia y el ciclo de trabajo de la señal PWM pueden ajustarse para controlar el comportamiento del plasma, siendo una frecuencia más alta asociada a un plasma más estable.

```
void setup() {
  pinMode(13, OUTPUT);
```

```

}

void loop() {
  digitalWrite(13, HIGH);
  delayMicroseconds(50);
  digitalWrite(13, LOW);
  delayMicroseconds(80);
}

```

La función `setup()` configura el pin 13 como salida.

La función `loop()` genera una señal PWM con una frecuencia de 10 kHz y un ciclo de trabajo del 37%.

4.2 Implementar un sistema de desinfección de semilla utilizando acople de impedancias para aplicar plasma frío.

La puesta en práctica del sistema de desinfección de semillas de maíz utilizando plasma frío y acople de impedancias representa un avance significativo en la agricultura gracias a la tecnología innovadora. En esta fase, se traducen los conceptos teóricos y el diseño previo en un sistema real y funcional, en la figura 4 se muestra la implementación del sistema.

Figura 4. *Implementación sistema de desinfección.*



La utilización de plasma frío para desinfectar las semillas de maíz ofrece una alternativa prometedora a los métodos convencionales que a menudo emplean productos químicos que pueden ser perjudiciales. Por otro lado, el acople de impedancias permite mejorar la eficacia del sistema al asegurar una transferencia de energía uniforme y controlada.

Las pruebas y ajustes sobre la implementación del sistema de desinfección de semillas de maíz con plasma frío y acople de impedancias son una fase importante en el proceso de desarrollo tecnológico. En esta etapa, se lleva a cabo una serie de experimentos y ajustes prácticos para garantizar que el sistema funcione de manera óptima y cumpla con los objetivos establecidos.

4.3 Evaluar la eficacia de la tecnología de plasma con acople de impedancia en la eliminación de hongos y bacterias presentes en las semillas de maíz.

4.3.1 Obtener muestras de semillas que obtengan hongos y bacterias

En la investigación, obtener muestras de semillas que estén infectadas con hongos y bacterias es fundamental. Esto nos proporciona el material necesario para probar la eficacia de diferentes métodos de desinfección y encontrar formas de controlar las enfermedades en los cultivos.

Cuando las semillas están contaminadas con hongos y bacterias, se vuelven un problema serio para los agricultores. Estas contaminaciones pueden disminuir la cantidad de cosecha que se obtiene e incluso representar un riesgo para la seguridad alimentaria. Por eso, es crucial identificar y estudiar estos patógenos para poder encontrar formas de combatirlos adecuadamente.

En la figura 5 se observan las semillas de maíz que serán seleccionadas para el experimento. Este grupo contiene una variedad de semillas, algunas de las cuales pueden estar contaminadas, aunque esto no es visible a simple vista. Las mejores semillas serán seleccionadas por observación y luego divididas en tres grupos para continuar con el proceso de desinfección.

Figura 5. *Semillas de maíz*



4.3.2 *Configurar y calibrar el sistema*

La configuración y calibración del sistema son pasos fundamentales en la investigación sobre desinfección de semillas en la agricultura. Estas etapas implican ajustar y optimizar los parámetros del sistema para garantizar su funcionamiento eficiente y preciso durante el proceso de desinfección.

La frecuencia y el ciclo de trabajo de la señal PWM se pueden modificar para ajustar el comportamiento del plasma. Modificar la frecuencia y el ciclo de trabajo de la señal PWM (Modulación por Ancho de Pulso) es crucial para ajustar el comportamiento del plasma. Aumentar la frecuencia de la señal PWM hace que el plasma sea más estable, lo que mejora la uniformidad de la desinfección. Por otro lado, incrementar el ciclo de trabajo resulta en un plasma más potente, aumentando la eficacia de la desinfección.

Se pueden agregar otras funciones al código para controlar otros aspectos del circuito, como la temperatura del plasma.

4.3.3 *Dividir las semillas en diferentes grupos y tratar cada grupo de semillas con diferente método de desinfección.*

En esta fase, se exploran y comparan los efectos de los tratamientos químicos tradicionales, el sistema de plasma frío y la ausencia de tratamiento en los cultivos.

En este estudio, se dividen las semillas en tres grupos: uno tratado con productos químicos, otro con el sistema de plasma frío y un tercer grupo que no recibe ningún tratamiento. Cada grupo representa una condición experimental diferente que permitirá comparar los resultados y determinar cuál método de desinfección es más efectivo en términos de control de enfermedades, rendimiento del cultivo.

El primer método de desinfección que se va a aplicar en las semillas de maíz es el tradicional.

Para la desinfección tradicional con químicos se utilizó como desinfectante BENOMYL. Es un fungicida de amplio espectro que se ha utilizado en la agricultura para el control de diversas enfermedades de las plantas causadas por hongos. Fue ampliamente utilizado en cultivos como frutas, verduras, cereales y plantas ornamentales. El principio activo del benomyl, el carbendazim, funciona interfiriendo con la formación de la pared celular de los hongos, lo que inhibe su crecimiento y reproducción.

En la figura 6 se puede observar el desinfectante químico utilizado en el proceso para desinfectar semillas de maíz, primero prepara una solución del fungicida siguiendo las indicaciones de la etiqueta. Las semillas deben estar limpias y secas antes de sumergirlas en la solución por el tiempo recomendado. Después, se retira las semillas, secar completamente y guárdalas en un lugar fresco y seco hasta la siembra. Es importante seguir las instrucciones del fabricante y tomar precauciones de seguridad adecuadas durante la manipulación y aplicación del fungicida.

Figura 6. *Desinfección tradicional*



El segundo método que se aplica en las semillas de maíz es el sistema de plasma frío, en la figura 7 se puede observar como es expuesta la semilla de maíz al sistema de eliminación de hongos y bacterias en semillas de maíz por medio de plasma frío con acople de impedancias.

Para llevar a cabo este método, las semillas se distribuyen uniformemente sobre una placa metálica que actúa como polo a tierra. Esta placa es esencial, ya que permite que el plasma tenga mayor fuerza y presión al interactuar con toda el área de las semillas. El plasma se dirige hacia las semillas dispuestas sobre la placa metálica. La placa metálica, al servir como conductor, maximiza la eficiencia del tratamiento, asegurando que el plasma cubra uniformemente todas las semillas y penetre en sus superficies.

La interacción del plasma con las semillas genera especies reactivas de oxígeno y nitrógeno, que son altamente efectivas para eliminar hongos, bacterias y otros patógenos presentes en la superficie de las semillas. Además de desinfectar, este proceso puede activar mecanismos biológicos dentro de las semillas, mejorando su capacidad de germinación y crecimiento.

Figura 7. *Desinfección con plasma frío*



Por ultimo en la figura 8 se presenta la muestra de semillas la cual no fue tratada. En este caso existe un riesgo mayor de que las plagas y enfermedades afecten las plantas. La desinfección de las semillas es importante para eliminar cualquier patógeno presente en la superficie de las semillas y evitar la propagación de enfermedades en los cultivos.

Figura 8. *Semillas sin tratamiento de desinfección*



4.3.4 Realizar varias pruebas y comparar los resultados obtenidos

Estas pruebas permiten evaluar y comparar los resultados obtenidos de diferentes tratamientos de desinfección, así como analizar la eficacia y los posibles efectos secundarios de cada método.

Durante estas pruebas, se llevan a cabo experimentos en condiciones controladas para medir parámetros como la germinación de las semillas, el crecimiento de las plántulas, la incidencia de enfermedades y la calidad de los cultivos.

Para llevar a cabo la siembra de los tres grupos de semillas, se llevaron a cabo diversas actividades. En primer lugar, se construyó una base sólida para sostener las bandejas de manera firme, garantizando así las condiciones óptimas para la germinación exitosa de las semillas. Además, se implementó un sistema de riego por goteo utilizando una motobomba controlada por Arduino. Este sistema permite un suministro de agua controlado, contribuyendo así al adecuado desarrollo de las plantas desde las etapas iniciales de crecimiento.

Además, se adecuó un espacio tipo invernadero utilizando polisombra. Este sistema se implementó con el fin de proteger las semillas de la exposición directa a los rayos solares, proporcionando así un ambiente óptimo para su desarrollo inicial como se muestra en la figura 9.

Figura 9. Espacio donde se realizo la siembra



4.3.4.1 Sistema de riego

Para gestionar el sistema de riego el cual comienza con la activación de una bomba de agua para bombear el agua desde una fuente. Una vez bombeada el agua, la bomba se apaga y el agua fluye por gravedad. Mientras las plantas absorben parte del agua, el excedente se recoge nuevamente para ser reutilizado en un ciclo continuo. Este proceso se repite periódicamente, con la bomba encendiéndose para bombeo inicial y apagándose para permitir el riego por gravedad,

para este proceso se empleó un controlador basado en Arduino, lo que implicó la utilización de relés para regular el encendido y apagado de la bomba en intervalos de tiempo específicos.

En la figura 10 y 11 se muestra una simulación en TinkerKad y el montaje del relé para verificar el correcto funcionamiento y control del relé dentro del sistema.

Figura 10. Diagrama de conexiones

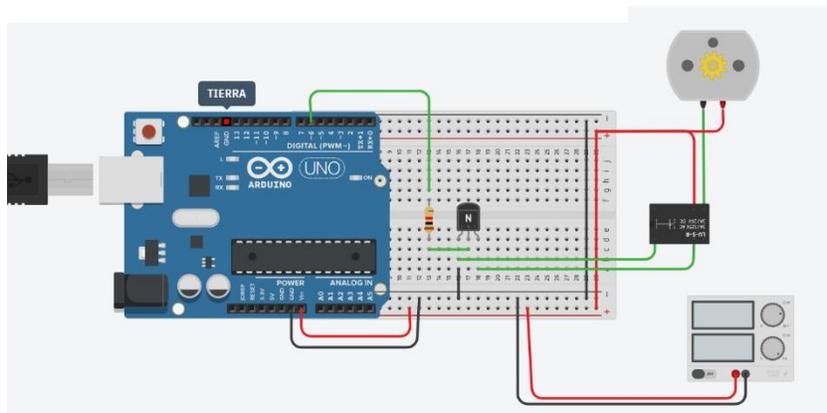
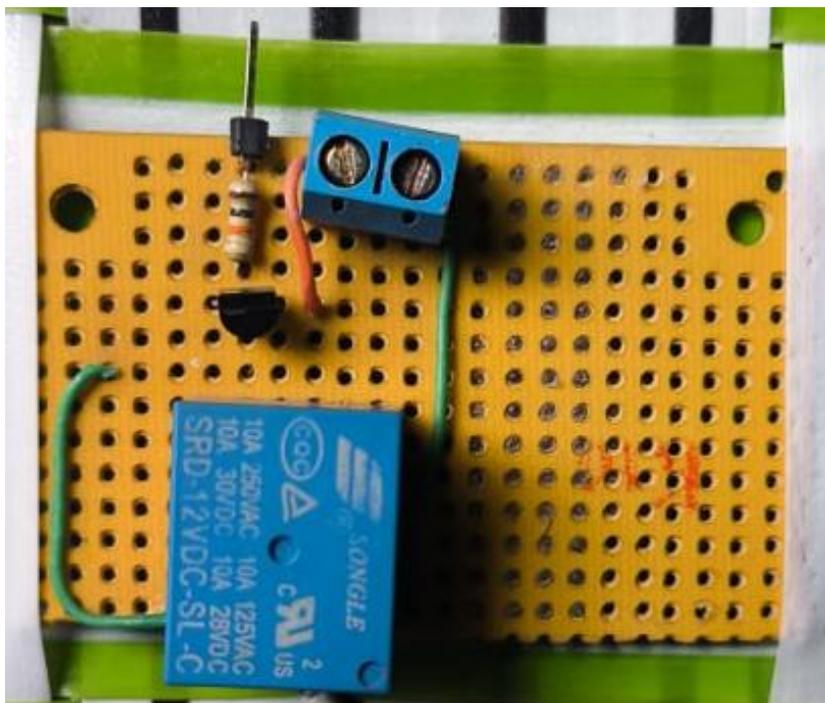


Figura 11. Montaje del relé para el control del riego



4.4 Análisis de viabilidad del sistema

En esta etapa de la investigación, hemos realizado un análisis de viabilidad de nuestro sistema de desinfección de semillas de maíz. A través de diversas pruebas, hemos podido observar y analizar la cantidad de hongos presentes en cada uno de los grupos de desinfección. En la figura 12 se puede observar la presencia de hongos en los tres diferentes grupos. De izquierda a derecha, se puede observar el grupo de semillas sin tratamiento de desinfección, seguido del grupo de semillas desinfectadas tradicionalmente con químicos (BENOMYL) y, por último, el grupo de semillas desinfectadas con nuestro sistema de plasma frío.

Figura 12. Hongos presentes en cada grupo de semillas



Los hongos y bacterias patógenas en las semillas de maíz son evidentes, y esta invasión está comprometiendo su viabilidad reproductiva. Esto implica que con el tiempo las semillas perderán su capacidad de germinar y crecer, lo que resultará en la pérdida total del cultivo.

En la imagen de la parte izquierda, se observan claramente los hongos presentes en el grupo de semillas sin tratamiento de desinfección. En comparación, el grupo de semillas desinfectadas tradicionalmente, mostrado en la imagen central, también presenta hongos, pero el tratamiento recibido con el químico impide la proliferación de hongos y bacterias. Por último, en la imagen de la parte derecha, correspondiente al grupo de semillas desinfectadas con plasma frío, se observa una mayor tasa de germinación en comparación con los otros dos grupos.

Después de vigilar cuidadosamente durante 25 días los tres grupos de semillas de maíz tratadas con diferentes métodos de desinfección, encontramos resultados importantes. Demostramos que el método propuesto para eliminar hongos y bacterias de las semillas de maíz es mucho mejor que método tradicional de desinfección. Esto confirma que el sistema de eliminación de hongos y bacterias en semillas de maíz por medio de plasma frio con acople de impedancias es efectivo y cumple con su propósito.

Esto es significativo porque asegura que las semillas de maíz estén libres de hongos y bacterias, esto es crucial para tener buenas cosechas. Nuestro estudio respalda esta idea y muestra que este método propuesto de desinfección es mejor en comparación con el método tradicional. En la figura 13, se presentan los resultados obtenidos de los diferentes tratamientos aplicados, observados de izquierda a derecha:

1. Se trata del grupo de semillas sin tratamiento de desinfección.
2. Se trata del grupo de semillas con tratamiento de desinfección tradicional de químicos BENOMYL
3. Se trata del grupo de semillas con tratamiento de desinfección con el sistema de eliminación de hongos y bacterias en semillas de maíz por medio de plasma frio con acople de impedancias.

Figura 13. Resultados Significativos



5. Análisis y discusión de los resultados.

5.1 Evaluación de la eficacia del sistema con la variable peso.

Para evaluar la eficacia de nuestro sistema, hemos comparado el peso inicial y el peso final de cada grupo de semillas como se muestra en la tabla 1, manteniendo el peso inicial constante para los tres grupos. Esto nos permite determinar el impacto de los diferentes métodos de desinfección en el crecimiento y desarrollo de las semillas. también nos permite comparar la cantidad de semillas que no germinaron en cada grupo.

Tabla 1. *Calculo de peso en gramos.*

	Peso Inicial (Día 0)	Peso Final (Día 25)	Peso semillas germinadas	Peso semillas no germinadas
Grupo desinfectado con plasma	1150gr	1942gr	1604gr	338gr
Grupo desinfectado con químico	1150gr	1732gr	1289gr	443gr
Grupo sin desinfección	1150gr	1525gr	953gr	472gr

5.1.1 *Calculo de porcentaje de cada grupo de semillas.*

En el grupo de semillas desinfectadas con plasma frío, el peso inicial fue de 1150 gramos. Después del periodo de cuidado, el peso final fue de 1942 gramos. Esto representa un aumento del 68.87%. De las semillas tratadas, un total de 338 gramos no germinaron, lo que corresponde al 17.41% del peso inicial. Mientras tanto, las semillas que sí germinaron pesaron en conjunto 1604 gramos, lo que equivale al 82.59% del peso inicial.

En el grupo de semillas desinfectadas con productos químicos, el peso inicial también fue de 1150 gramos. Al final del experimento, el peso final fue de 1732 gramos, lo que representa un aumento del 50.61%. Se registraron 443 gramos de semillas que no germinaron, correspondiente

al 38.52% del peso inicial. Las semillas germinadas pesaron en total 1289 gramos, lo que equivale al 56.09% del peso inicial.

En cuanto al grupo de semillas sin tratamiento de desinfección, su peso inicial fue de 1150 gramos. Tras el periodo de cuidado, el peso final fue de 1525 gramos, lo que indica un aumento del 32.61%. Un total de 572 gramos de semillas no germinaron, lo que corresponde al 49.74% del peso inicial. Mientras tanto, las semillas germinadas pesaron en conjunto 953 gramos, lo que equivale al 41.57% del peso inicial.

Teniendo en cuenta el porcentaje de peso de las semillas SI germinadas, en la tabla 2 se muestra el promedio.

Tabla 2. *Porcentaje de semillas SI germinadas en cada grupo*

Grupo de semillas SI germinadas	Promedio
Grupo de semillas SI germinadas desinfectada con plasma frio	82.59%
Grupo de semillas SI germinadas desinfectada químicos	56.09%
Grupo de semillas SI germinadas sin tratamiento de desinfección	41.57%

Teniendo en cuenta el porcentaje de peso de las semillas NO germinadas, en la tabla 3 se muestra el promedio.

Tabla 3. *Porcentaje de semillas No germinadas en cada grupo*

Grupo de semillas NO germinadas	Promedio
Grupo de semillas NO germinadas desinfectada con plasma frio	17,41%
Grupo de semillas NO germinadas desinfectada químicos	38,52%
Grupo de semillas NO germinadas sin tratamiento de desinfección	49,74%

5.2 Evaluación de la eficacia del sistema con la variable altura.

Una variable adicional que utilizamos para evaluar y comparar los resultados de los tres grupos de semillas tratadas con diferentes métodos de desinfección es la altura de las plantas después de germinar. Esta medida nos proporciona información adicional para comparar la eficacia del sistema de eliminación de hongos y bacterias en semillas de maíz mediante plasma frío con acople de impedancias.

La altura de las plantas germinadas es un indicador importante de su salud y desarrollo inicial. Al comparar las alturas de las plantas de cada grupo de semillas tratadas con diferentes métodos de desinfección, podemos extraer conclusiones sobre la efectividad relativa de estos métodos en la promoción del crecimiento y la salud de las plantas desde las etapas iniciales de su ciclo de vida.

5.2.1 *Calculo de promedio de altura de cada grupo de semillas.*

Tabla 4 se muestra las medidas de altura de 20 semillas germinadas seleccionadas al azar luego de ser desinfectadas con el sistema de eliminación de hongos y bacterias por medio de plasma frío con acople de impedancias. Se seleccionó las semillas que obtuvieron el mejor crecimiento para poder sacar los datos correspondientes.

Tabla 4. *Altura en centímetros desinfeccion con plasma*

Grupo de semillas Desinfectada con plasma	
Semilla	Altura en centímetros
1	19.7
2	19.5
3	19.5
4	18
5	17.6
6	16.4
7	16.4
8	15.5

9	15.1
10	14.7
11	14.5
12	14.3
13	14.1
14	12
15	11.5
16	11.4
17	11.3
18	11
19	11
20	10.7

Al calcular el promedio de la altura de un conjunto de semillas desinfectadas con el sistema de plasma frio, se encontró que la media es de 14,71 centímetros.

La tabla 5 indica las medidas de altura de 20 semillas germinadas luego de ser desinfectadas con químicos como lo es el BENOMYL.

Tabla 5. *Altura en centímetros grupo de semillas desinfectadas con BENOMYL*

Grupo de semillas Desinfectada con BENOMYL	
Semilla	Altura en centímetros
1	22.4
2	21
3	20.5
4	19.5
5	19.3
6	19.1
7	15.3
8	15.2
9	15
10	14.3

11	14.2
12	13.3
13	13.1
14	12.8
15	12.2
16	11.6
17	11.2
18	10.1
19	9.3
20	8.7

Al calcular el promedio de la altura de un conjunto de semillas desinfectadas tradicionalmente, se encontró que la media es de 14,905 centímetros.

La tabla 6 indica las medidas de altura de 20 semillas germinadas luego de no ser sometidas por un proceso de desinfección.

Tabla 6. *Altura en centímetros grupo de semillas sin tratamiento*

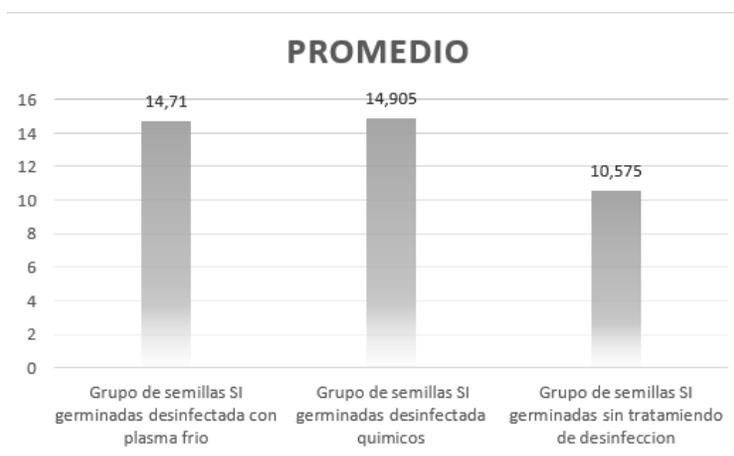
Grupo de semillas sin tratamiento de desinfección	
Semilla	Altura en centímetros
1	19.4
2	16
3	15
4	14.3
5	14.1
6	13.1
7	12.5
8	12.1
9	12
10	11.2
11	10.4

12	10.1
13	9.6
14	9.3
15	7.2
16	6.1
17	5.1
18	4.9
19	4.6
20	4.5

Al calcular el promedio de la altura de un conjunto de semillas sin desinfectar, se encontró que la media es de 10.575 centímetros.

En la Figura 14, se ilustran los promedios de los tres gráficos, destacando así la eficacia del sistema de eliminación de hongos y bacterias en semillas de maíz mediante el uso de plasma frío con acoplamiento de impedancias.

Figura 14. Promedio de la altura de los 3 grupos



5.3 Cálculo de eficacia con las variables peso y altura.

Se presentan los resultados de la eficacia del sistema de eliminación de hongos y bacterias en semillas de maíz mediante el uso de plasma frío con acople de impedancias, comparado con otros métodos de desinfección como el tratamiento químico y la ausencia de tratamiento. Estos cálculos se realizaron utilizando la fórmula propuesta anteriormente, lo que nos permite llegar a conclusiones sobre la eficacia de cada uno de los métodos de desinfección evaluados.

A continuación, aplicamos los valores obtenidos de peso, como se muestra en la Tabla 1, y el promedio de altura, como se representa en la Figura 20, a la fórmula propuesta. Esto nos permite calcular la eficacia de cada uno de los grupos en el estudio, brindando una perspectiva clara sobre el impacto de los distintos métodos de desinfección evaluados.

$$Eficacia(\%) = \frac{Gp - Gc}{Gc} * 100$$

Al reemplazar los valores de peso del grupo de semillas desinfectadas con plasma frío en la fórmula para calcular la eficacia, se obtiene el siguiente resultado.

$$Eficacia(\%) = \frac{1942 - 1525}{1525} * 100$$

$$Eficacia(\%) = 27\%$$

Al reemplazar los valores de peso del grupo de semillas desinfectadas con químicos en la fórmula para calcular la eficacia, se obtiene el siguiente resultado.

$$Eficacia(\%) = \frac{1732 - 1525}{1525} * 100$$

$$Eficacia(\%) = 13\%$$

Al reemplazar los valores promedio de altura del grupo de semillas desinfectadas con plasma frío en la fórmula para calcular la eficacia, se obtiene el siguiente resultado.

$$Eficacia(\%) = \frac{14.71 - 10.575}{10.575} * 100$$

$$Eficacia(\%) = 39\%$$

Al reemplazar los valores promedio de altura del grupo de semillas desinfectadas con Químicos en la fórmula para calcular la eficacia, se obtiene el siguiente resultado.

$$Eficacia(\%) = \frac{14.9 - 10.575}{10.575} * 100$$

$$Eficacia(\%) = 41\%$$

Después de calcular la eficacia del peso y altura para cada grupo, podemos obtener una eficacia total para cada uno de ellos. Utilizando la fórmula propuesta anteriormente, obtenemos el siguiente resultado de eficacia total para el grupo de semillas desinfectadas con plasma frío.

$$EficaciaT(\%) = \frac{Ep + Ea}{2} - \mu * M$$

$$EficaciaT(\%) = \frac{27 + 39}{2} - 0 * 15\%$$

$$EficaciaT(\%) = 33\%$$

Figura 15. No se observa presencia de hongos



En la figura 15 se observa que no se encuentra presencia de hongos por lo cual μ en la fórmula es equivalente a 0

Luego se obtiene el siguiente resultado de eficacia total para el grupo de semillas desinfectado con químicos.

$$EficaciaT(\%) = \frac{13 + 41}{2} - 1 * 15\%$$

$$EficaciaT(\%) = 12\%$$

Figura 16. Presencia de hongos.



En la figura 16 se puede observar la presencia de hongos por lo que μ en la fórmula es equivalente a 1

En la Tabla 7 se presentan todos los resultados obtenidos, los cuales reflejan los valores de eficacia calculados para cada grupo. Estos resultados nos proporcionan una visión completa sobre la efectividad de los diferentes métodos de desinfección evaluados en el estudio.

Tabla 7. Calculo eficacia

Calculo de la eficacia				
	Eficacia Peso	Eficacia Altura	Otros (Hongos μ)	Eficacia total
Plasma	27%	39%	0	33%
Químico	13%	41%	1	12%
Control	0%	0%	1	0%

El resultado esperado del método de desinfección con plasma frío es de un aumento del 33% en la tasa de germinación, en comparación con el grupo de semillas que no recibió tratamiento de desinfección. Esto permite observar que el método de desinfección con plasma frío puede lograr una mejora significativa en la capacidad de germinación de las semillas en comparación con el grupo sin tratamiento de desinfección. Es evidente que este método de desinfección ha sido efectivo al permitir que las semillas germinen en un 33% más que las semillas que no fueron desinfectadas. En contraste, el método de desinfección con químicos

mostró una eficacia del 12% en su germinación. Esto significa que las semillas desinfectadas con químicos germinan un 12% más que las semillas sin tratamiento de desinfección. Ahora, al comparar los dos grupos de semillas desinfectadas, uno con plasma frío y otro con químicos, se observa que ambos métodos fueron significativamente eficaces. Sin embargo, hay una diferencia del 21% en eficacia entre los dos grupos, destacando la superioridad del método de desinfección con plasma frío en términos de mejora en la tasa de germinación.

5.4 Análisis Económico del Sistema

Este método de desinfección con plasma frío ofrece a los agricultores de maíz la oportunidad de aumentar significativamente tanto su productividad como sus ganancias.

El costo anual de la máquina de plasma, considerando su vida útil de 10 años, es de 1'200,000. Además, el costo de operación por kilogramo desinfectado es de 12w/hrs, 4 pesos. Suponiendo que se desinfectan 2000 kilogramos al año, el costo total de operación por año es de 128,000 pesos. Ahora si hacemos la comparación con la desinfección tradicional (Benomyl), El costo de desinfección por kilogramo utilizando Benomyl es de 500 pesos. Para desinfectar 2000 kilogramos al año, el costo total de desinfección anual es de 1,000,000 pesos. La desinfección con plasma frío tiene un costo total anual de 128,000 pesos, mientras que la desinfección con benomyl tiene un costo total anual de 1,000,000 pesos. Por lo tanto, el ahorro anual utilizando plasma frío en lugar de benomyl es de 872,000.

Para esto, un agricultor promedio que siembra alrededor de 100 kilogramos de semillas desinfectadas tradicionalmente esperando 700 kilogramos de producción. Si la eficacia del tratamiento tradicional es del 12% y la eficacia del sistema de desinfección con plasma frío es del 33%, podemos calcular las ganancias en producción.

Considerando las eficacias de cada sistema de desinfección, podemos calcular las ganancias potenciales para los agricultores.

Sin tratamiento de desinfección: Se esperan 700 kilogramos de maíz producidos.

Desinfección con químicos: Con una eficacia del 12%, se esperan 84 kilogramos adicionales de maíz debido al tratamiento.

$$700kg \times 0.12 = 84kg$$

Desinfección con plasma frío: Con una eficacia del 33%, se esperan 231 kilogramos adicionales de maíz debido al tratamiento.

$$700\text{kg} \times 0.33 = 231\text{kg}$$

Considerando el precio promedio del maíz, que es de 4500 pesos colombianos por kilogramo, podemos calcular las ganancias potenciales para cada método de desinfección.

Sin tratamiento de desinfección:

$$\text{Ganancias} = 700 \text{ kg} * 4500 \text{ pesos/kg} = 3,150,000$$

Desinfección tradicional con químicos:

$$\text{Ganancias} = (700 \text{ kg} + 84 \text{ Kg}) * 4500 \text{ pesos/kg} = 3,528,000$$

Desinfección con plasma frío:

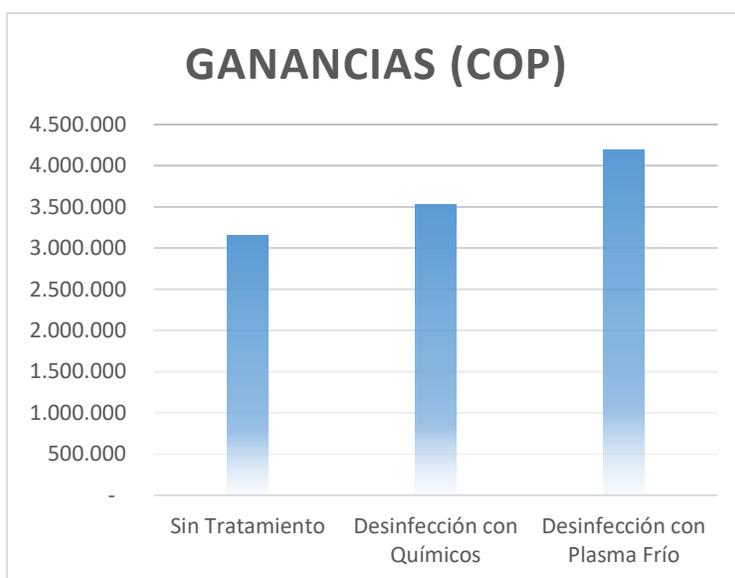
$$\text{Ganancias} = (700 \text{ kg} + 231) * 4500 \text{ pesos/kg} = 4,189,500$$

En la tabla 8 se representa las ganancias tanto en kilogramos de producción como en el dinero.

Tabla 8. Ganancias Obtenidas en cada metodo.

Ganancias Obtenidas		
Método de Desinfección	Cantidad de Maíz producido (kg)	Ganancias (pesos colombianos)
Sin Tratamiento	700	3,150,000
Desinfección con Químicos	784	3,528,000
Desinfección con Plasma Frío	931	4,189,500

En las figuras 17 y 18 se representa el crecimiento de cada una de las ganancias.

Figura 17. Cantidad de maíz producido**Figura 18.** Ganancias COP

5.5 Implementación en plan productivo.

Se presenta un plan detallado para la implementación de un sistema de desinfección con plasma frío aplicado a la producción de forraje hidropónico. Desde la selección y preparación del espacio de cultivo hasta la elaboración del concentrado final, cada paso se diseña con el objetivo de garantizar un proceso eficiente y seguro que maximice la productividad agrícola y la calidad del producto final. Este enfoque integral no solo busca demostrar la efectividad del plasma en la desinfección de semillas, sino también su potencial para mejorar la sostenibilidad y rentabilidad de la producción agrícola.

5.5.1 Selección y Preparación del Espacio de Cultivo.

Para asegurar un buen ambiente para el cultivo hidropónico, se necesita construir una estructura en un lugar accesible con agua limpia y electricidad como se muestra en la figura 19. Es importante mantener la higiene y seguridad, evitando cualquier contaminación externa que pueda dañar el cultivo.

Figura 19. Estructura para el cultivo



5.5.2 *Prototipo sistema de desinfección Automatizado.*

La introducción del prototipo para desinfectar automáticamente las semillas de maíz es un gran salto en la agricultura. El prototipo usa un tornillo sinfín el cual transporta las semillas de maíz a una velocidad controlada utilizando un motor y en la parte inferior se encuentra el electrodo que es el que genera el plasma frio como se muestra en la figura 20, a continuación, en la 21 se muestra las partes desmontadas dando una idea más clara del funcionamiento de este prototipo. En este proceso se pueden desinfectar las semillas de una manera más controlada y equitativa

Figura 20. *Prototipo sistema automatizado.*



Figura 21. Tornillo transportador y electrodo.



5.5.3 Prototipo sistema de riego automatizado.

Para gestionar el sistema de riego implementado consta de tres componentes principales: un módulo I2C para la configuración del tiempo, un relé de estado sólido para el control de la bomba de agua y un Arduino para el control del relé y la lectura de datos de hora y fecha del módulo I2C.

El módulo I2C es utilizado para configurar el tiempo de riego, permitiendo establecer un horario específico para la activación y desactivación del sistema. En este caso, el riego se programa para realizarse diariamente desde las 6:00 a.m. hasta las 4:00 p.m. Este módulo facilita la configuración precisa del tiempo de riego, lo que garantiza un uso eficiente del agua y una adecuada distribución en el tiempo.

El relé de estado sólido es el encargado de controlar el encendido y apagado de la bomba de agua según la programación establecida en el módulo I2C. Este relé, al ser de estado sólido, ofrece una mayor durabilidad y fiabilidad en comparación con los relés electromecánicos tradicionales. Además, su diseño sin partes móviles minimiza el riesgo de fallos mecánicos, asegurando un funcionamiento estable y seguro del sistema de riego.

El Arduino actúa como el cerebro del sistema, encargado de procesar la información del módulo I2C y controlar el funcionamiento del relé. A través de la lectura de los datos de hora y

fecha proporcionados por el módulo I2C, el Arduino determina el momento exacto en que debe activarse o desactivarse el relé para iniciar o detener el riego. Esta capacidad de procesamiento y control en tiempo real permite una gestión eficiente y precisa del sistema de riego, asegurando que se cumplan los horarios programados de manera confiable. En la figura 22 y 23 se muestra la implementación. En la figura 24 se muestra el diagrama de conexiones.

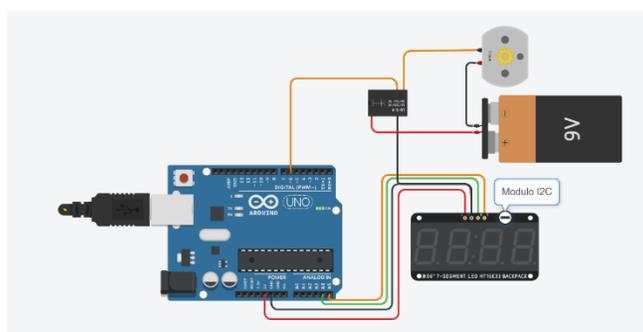
Figura 22. Implementación control de riego



Figura 23. Sistema de riego



Figura 24. Diagrama de conexiones



5.5.4 Siembra de cultivo hidropónico.

Durante la etapa de siembra, se divide el proceso en dos grupos distintos: un grupo de semillas tratadas con plasma frío 7kg que se muestran en la figura 25, y otro grupo sin ningún tratamiento de desinfección 7kg que se muestran en la figura 26. Esta distinción permite comparar y evaluar los efectos del tratamiento de desinfección en el crecimiento y desarrollo de las plantas.

Esta división en grupos permite realizar comparaciones significativas entre el crecimiento, la salud y la productividad de las plantas derivadas de semillas tratadas y no tratadas. Al observar y analizar el desarrollo de ambos grupos a lo largo del tiempo, se pueden obtener conclusiones importantes sobre la eficacia del tratamiento de desinfección y su impacto en el cultivo hidropónico.

Figura 25. Semillas desinfectadas con plasma frio



Figura 26. Semillas sin tratamiento de desinfeccion



En el experimento de plan productivo, un grupo de semillas desinfectado con plasma frio y otro sin desinfectar, se llevaron a cabo mediciones de las raíces y los tallos después de tres días de germinación. Estas mediciones se realizaron utilizando papel milimetrado, que permite una

precisión adecuada incluso en raíces de tamaño pequeño. Esta metodología nos brinda la capacidad de evaluar con precisión el desarrollo inicial de las plantas en ambos grupos y comparar cualquier diferencia que pueda surgir debido al tratamiento de desinfección con plasma frío. En la figura 27 se observa las raíces de algunas semillas desinfectadas con plasma frío y en la tabla 9 se observa las medidas de estas raíces en sus 3 primeros días de germinación.

Figura 27. Raíces semillas desinfectadas con plasma frío



Tabla 9. Longitud raíces semillas desinfectadas con plasma

Semillas tratadas con plasma frío		
	Desarrollo de la semilla (Raíz)	Longitud en centímetros
Día 3	Muestra 1	2.3
	Muestra 2	2
	Muestra 3	1.8
	Muestra 4	3
	Muestra 5	3.5

En la figura 28 se observa los tallos de algunas semillas desinfectadas con plasma frío y en la tabla 10 se observa las medidas de estos tallos en sus 3 primeros días de germinación.

Figura 28. Tallos semillas desinfectadas con plasma frío día 3



Tabla 10. Tallos semillas desinfectadas con plasma frío día 3

Semillas tratadas con plasma frío		
	Desarrollo de la semilla (Tallo)	Longitud en centímetros
Día 3	Muestra 1	1
	Muestra 2	0.7
	Muestra 3	0.6
	Muestra 4	0.9
	Muestra 5	0.8

En la figura 29 se observa las raíces de algunas semillas sin tratamiento de desinfección y en la tabla 11 se observa las medidas de estas raíces en sus 3 primeros días de germinación.

Figura 29. Raíces semillas sin tratamiento de desinfección día 3



Tabla 11. Longitud raíces semillas sin tratamiento de desinfección día 3

Semillas sin tratamiento de desinfección		
	Desarrollo de la semilla (Raíz)	Longitud en centímetros
Día 3	Muestra 1	1
	Muestra 2	0.8
	Muestra 3	1.2
	Muestra 4	1.3
	Muestra 5	1.1

En el grupo de semillas sin tratamiento de desinfección, al llegar al tercer día, aún no se observa la aparición de tallos. Esta observación sugiere que el proceso de germinación en este grupo puede ser más lento en comparación con el grupo de semillas tratadas con plasma. La ausencia de tallos en este punto indica un retraso en el desarrollo inicial de las plántulas.

Al llegar al séptimo día, en el grupo de semillas sin tratamiento de desinfección, se observa la presencia de hongos y bacterias figura 30. En comparación con el otro grupo de semillas, el grupo de semillas desinfectado con plasma frío no presenta ninguna señal de proliferación de hongos o bacterias en este punto. Esta diferencia destaca la efectividad del tratamiento de desinfección con plasma frío en la eliminación de microorganismos no deseados, preservando así la salud y viabilidad de las semillas durante el proceso de germinación.

Figura 30. Presencia de hongos y bacterias día 7 semillas sin tratamiento de desinfección



En la figura 31 se observa las raíces de algunas semillas desinfectadas con plasma frío y en la tabla 12 se observa las medidas de estas raíces en sus 7 primeros días de germinación.

Figura 31. raíces semillas desinfectadas con plasma frío día 7

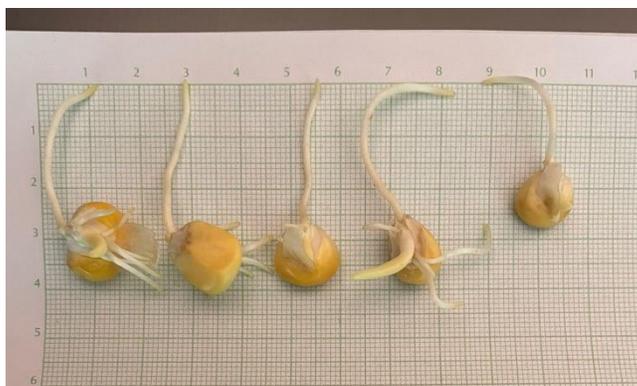


Tabla 12. Longitud raíces semillas sin tratamiento de desinfección día 7

Semillas desinfectadas con plasma frio		
	Desarrollo de la semilla (Raíz)	Longitud en centímetros
Día 7	Muestra 1	3
	Muestra 2	3.1
	Muestra 3	2.8
	Muestra 4	2.5
	Muestra 5	2.4

En la figura 32 se observa las raíces de algunas semillas sin tratamiento de desinfección y en la tabla 13 se observa las medidas de estas raíces en sus 7 primeros días de germinación.

Figura 32. raíces semillas sin tratamiento de desinfección día 7**Tabla 13.** Longitud raíces semillas sin tratamiento de desinfección día 7

Semillas sin tratamiento de desinfección		
	Desarrollo de la semilla (Raíz)	Longitud en centímetros
Día 7	Muestra 1	1.6
	Muestra 2	1.1
	Muestra 3	1.4
	Muestra 4	1.7
	Muestra 5	1.6

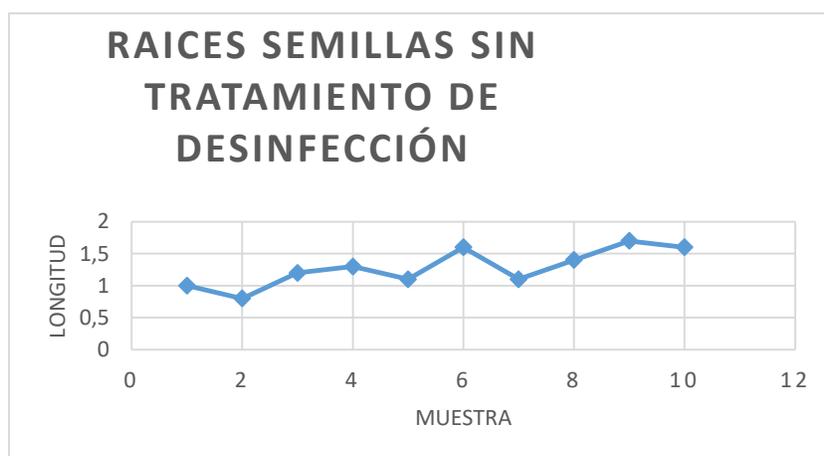
En la figura 33 se puede observar el crecimiento de las muestras de las raíces tomadas el día 3 y el día 7 de su germinación de las semillas desinfectadas con el sistema de plasma frío.

Figura 33. Curva de crecimiento raíces semillas desinfectadas con plasma frío



En la figura 34 se puede observar el crecimiento de las muestras de las raíces tomadas el día 3 y el día 7 de su germinación de las semillas sin tratamiento de desinfección.

Figura 34. Curva de crecimiento raíces semillas sin tratamiento de desinfección



A partir de este día, se vuelve inviable continuar tomando muestras y medidas de las raíces de las semillas, dado que este proceso puede dañar el sistema de cultivo hidropónico. Las raíces tienden a entrelazarse entre sí, lo que dificulta su extracción sin comprometer su integridad y viabilidad. Por tanto, se opta por seguir tomando medidas de algunos tallos, ya que esto también permite evidenciar el crecimiento y desarrollo de cada uno de los grupos de manera adecuada.

En la tabla 14 se presentan las medidas de longitud de los tallos tomadas en los días 3, 7 y 9 desde la germinación del grupo de semillas desinfectado con plasma frío cada día se tomó 5 muestras diferentes.

Tabla 14. Longitud tallo semillas desinfectadas con plasma frío

Semillas desinfectadas con plasma frío		
	Desarrollo de la semilla (Tallo)	Longitud en centímetros
Día 3	Muestra 1	3
	Muestra 2	3.1
	Muestra 3	2.8
	Muestra 4	2.5
	Muestra 5	2.4
Día 7	Muestra 1	1.2
	Muestra 2	1.5
	Muestra 3	1.4
	Muestra 4	1.6
	Muestra 5	1.8
Día 9	Muestra 1	2.8
	Muestra 2	3.9
	Muestra 3	2.8
	Muestra 4	2
	Muestra 5	1.9

En la tabla 15 se presentan las medidas de longitud de los tallos tomadas en los días 3, 7 y 9 desde la germinación del grupo de semillas sin tratamiento de desinfección, cada día se tomó 5 muestras diferentes.

Tabla 15. Longitud tallo semillas sin tratamiento de desinfección

Semillas sin tratamiento de desinfección		
	Desarrollo de la semilla (Tallo)	Longitud en centímetros
Día 3	Muestra 1	0
	Muestra 2	0
	Muestra 3	0
	Muestra 4	0
	Muestra 5	0
Día 7	Muestra 1	0.3
	Muestra 2	0.6
	Muestra 3	0.8
	Muestra 4	0.9
	Muestra 5	1.1
Día 9	Muestra 1	1.3
	Muestra 2	1.4
	Muestra 3	1.4
	Muestra 4	1.2
	Muestra 5	1.8

En la tabla 16 se presentan las medidas de longitud de los tallos tomadas en los días 12, 15 y 18 desde la germinación del grupo de semillas desinfectadas con plasma frío, cada día se tomó 5 muestras diferentes.

Tabla 16. Longitud tallo semillas desinfectadas con plasma frio

Semillas desinfectadas con plasma frio		
	Desarrollo de la semilla (Tallo)	Longitud en centímetros
Día 12	Muestra 1	4
	Muestra 2	4.5
	Muestra 3	3.9
	Muestra 4	4.2
	Muestra 5	5
Día 15	Muestra 1	5.6
	Muestra 2	6
	Muestra 3	6.3
	Muestra 4	5.9
	Muestra 5	6.8
Día 18	Muestra 1	8
	Muestra 2	8.5
	Muestra 3	9
	Muestra 4	9.2
	Muestra 5	10.1

En la tabla 17 se presentan las medidas de longitud de los tallos tomadas en los días 12, 15 y 18 desde la germinación del grupo de semillas sin tratamiento de desinfección, cada día se tomó 5 muestras diferentes.

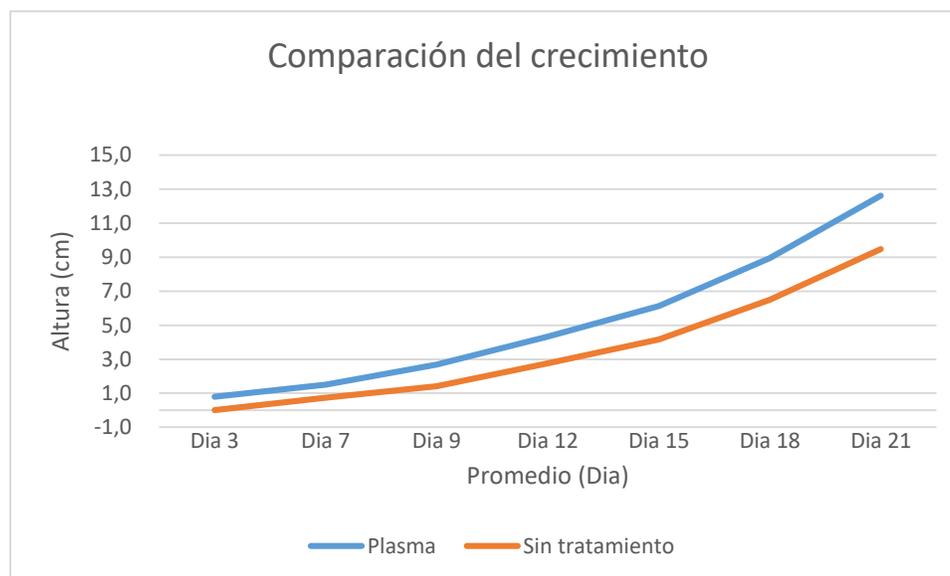
Tabla 17. Longitud tallo semillas sin tratamiento de desinfección

Semillas sin tratamiento de desinfección		
	Desarrollo de la semilla (Tallo)	Longitud en centímetros
Día 12	Muestra 1	2
	Muestra 2	2.2
	Muestra 3	2.3

	Muestra 4	2.5
	Muestra 5	2.3
Día 15	Muestra 1	3.1
	Muestra 2	3.3
	Muestra 3	4
	Muestra 4	4.8
	Muestra 5	4.5
Día 18	Muestra 1	5.8
	Muestra 2	6.2
	Muestra 3	6.2
	Muestra 4	6.8
	Muestra 5	6.3

Después de este período, se realiza una comparación del crecimiento de los tallos en cada uno de los grupos desde el día 3 hasta el día 18, como se ilustra en la figura 35.

Figura 35. Comparación del crecimiento de los tallos



En la empresa Allpa Agricultura 4.0, dedicada a la elaboración de concentrados finos para la cría y comercialización de pollos, la implementación del sistema de desinfección de plasma frío ha demostrado ser altamente beneficiosa para mejorar su rentabilidad. Dado que los cultivos hidropónicos son fundamentales para la elaboración de concentrados, este método de desinfección ha sido especialmente útil, ya que aumenta la productividad de los cultivos hidropónicos, lo que a su vez incrementa la producción de concentrado y reduce los costos. Con la aplicación de plasma frío a los cultivos hidropónicos, se ha logrado una mayor germinación y ausencia de hongos, lo cual genera más rentabilidad para la elaboración de concentrados.

En la figura 36 se puede observar el crecimiento y germinación saludable de las semillas y también la ausencia de hongos lo cual representa raíces sanas y saludables en el cultivo hidropónico.

Figura 36. Germinación y raíces saludables plasma frío



En la figura 37 se puede observar el grupo de semillas que fue colocado a germinar sin ninguna clase de tratamiento de desinfección. En este grupo, se presenta una gran cantidad de hongos y bacterias, lo que impide el crecimiento y germinación saludable de las semillas. Debido a la presencia de hongos y bacterias, este cultivo hidropónico no es apto para la elaboración de concentrado.

Figura 37. Raíces con hongos y mala germinación semillas sin tratamiento de desinfección



En la comparación anterior, se colocaron a germinar dos grupos de semillas: uno desinfectado con plasma frío y otro sin tratamiento de desinfección. Se observa una gran diferencia entre ambos grupos. En la tabla 18 se puede apreciar el peso inicial y el peso final de cada grupo de semillas, destacando las mejoras significativas en el grupo desinfectado con plasma frío en términos de crecimiento y germinación.

Tabla 18. Comparacion de peso

Tratamiento de desinfección	Peso Inicial (Gr)	Peso Final (Gr)
Plasma frio	7000	19375
Sin tratamiento de Desinfección	7000	12150

Dada la alta calidad y el crecimiento abundante de las plantas en el grupo desinfectado con plasma frío, se decidió utilizar exclusivamente este grupo para la elaboración de concentrado en nuestro estudio. Al utilizar las semillas tratadas con plasma frío, se asegura que el concentrado resultante esté libre de patógenos y contaminantes, lo que garantiza un producto final de alta calidad y seguro para su uso en la cría y alimentación animal.

El proceso de elaboración de concentrado orgánico a partir de forraje hidropónico implica varias etapas que aseguran la calidad y conservación del producto final. Uno de estos procesos es

la hidratación del forraje hidropónico, diseñado para reducir la cantidad de agua presente en el material.

Una vez deshidratado, el forraje se somete al proceso de triturado, donde se reduce a partículas más pequeñas. Este paso facilita la mezcla del forraje con otras harinas y componentes necesarios para la alimentación animal, asegurando una distribución uniforme de los nutrientes en el concentrado final.

Finalmente, el concentrado triturado se lleva al proceso de envasado, donde se empaca y sella para su almacenamiento y distribución.

En la figura 38 se observa el proceso de elaboración de concentrado orgánico.

Figura 38. Elaboración de concentrado.



Después de mezclar las sustancias necesarias para la elaboración del concentrado, se logró obtener un total de 22 kilogramos de producto final. Este resultado se representa significativo para Allpa Agricultura 4.0, ya que indica una notable rentabilidad en el proceso de producción.

La obtención de 22 kilogramos de concentrado es el resultado de un proceso. Este logro no solo demuestra la eficacia del sistema de desinfección de plasma frío implementado en la empresa, sino también el compromiso y la dedicación del equipo detrás de la operación.

Además de su impacto en la rentabilidad de la empresa, este rendimiento también tiene implicaciones positivas en términos de sostenibilidad y competitividad en el mercado. Al lograr

una mayor eficiencia en la producción de concentrado, Allpa Agricultura 4.0 puede optimizar sus recursos y reducir sus costos operativos, lo que le permite ofrecer productos de alta calidad para el consumo agrícola.

En la figura 39 se presenta el producto final obtenido luego del proceso de elaboración. Este producto representa la eficacia y la utilidad del sistema de eliminación de hongos y bacterias en semillas de maíz mediante plasma frío con acople de impedancias. La calidad y la eficacia del producto final son testimonio del impacto positivo que tiene esta tecnología innovadora en la producción agrícola.

Figura 39. Producto final



Conclusiones

Los métodos tradicionales de desinfección, como el uso de fungicidas y pesticidas, pueden tener efectos negativos en el medio ambiente y la salud humana, además de que algunos microorganismos pueden desarrollar resistencia a estos compuestos químicos, lo que reduce su eficacia a largo plazo. Por lo tanto, El plasma frío con acople de impedancias emerge como una herramienta prometedora para la eliminación de hongos y bacterias en semillas de maíz. Este método ofrece ventajas significativas, como ser un proceso no térmico y no químico, lo que evita la degradación de la calidad nutricional de las semillas.

El uso de tecnologías innovadoras como el plasma frío con acople de impedancias ofrece una solución prometedora y más sostenible para abordar los desafíos asociados con la desinfección de semillas de maíz, contribuyendo así a mejorar la seguridad alimentaria y la sostenibilidad en la industria agrícola.

Los resultados obtenidos demuestran que el sistema de plasma frío con acople de impedancias es altamente efectivo en la eliminación de hongos y bacterias presentes en las semillas de maíz. Esta eficacia se evidencia en la reducción significativa de la carga microbiana, lo que contribuye a mejorar la calidad, altura, y seguridad de las semillas destinadas a la producción agrícola.

La implementación de este sistema ofrece beneficios significativos en términos de seguridad alimentaria al reducir el riesgo de contaminación por hongos y bacterias patógenas en las semillas de maíz. Esto no solo protege la salud de los consumidores finales, sino que también puede contribuir a evitar pérdidas económicas asociadas con la producción de cultivos contaminados.

Al concluir esta tesis sobre el sistema de eliminación de hongos y bacterias en semillas de maíz mediante plasma frío con acople de impedancias, se ha logrado un profundo aprendizaje en diversos aspectos clave. En primer lugar, se ha adquirido un entendimiento valioso sobre la importancia de la seguridad alimentaria y los desafíos que enfrenta la industria agrícola en la prevención de la contaminación microbiana en los cultivos, particularmente en las semillas de maíz. Además, se ha explorado en detalle la tecnología del plasma frío con acople de impedancias como una solución innovadora y prometedora para abordar estos desafíos. A través de la revisión de la literatura y la investigación, se ha profundizado en los principios científicos

detrás de esta tecnología, así como en su aplicación práctica en la desinfección de semillas de maíz.

Este aumento en la producción de concentrado demuestra claramente la eficacia del método de desinfección con plasma frío para mejorar el rendimiento de los cultivos hidropónicos y, por ende, la rentabilidad de la empresa.

la implementación del sistema de desinfección con plasma frío ha sido una decisión acertada para Allpa Agricultura 4.0, ya que ha permitido aumentar su producción de concentrado

la adopción del método de desinfección con plasma frío no solo mejora la productividad y el rendimiento de los cultivos de maíz, sino que también ofrece mayores ganancias para los agricultores.

Recomendaciones

Una de las principales ventajas del sistema de eliminación de hongos y bacterias en semillas de maíz mediante plasma frío con acople de impedancias radica en su capacidad para desinfectar las semillas de manera altamente efectiva y, al mismo tiempo, respetuosa con el medio ambiente. A diferencia de los métodos convencionales que suelen emplear productos químicos agresivos, como fungicidas y pesticidas, el plasma frío utiliza un estado altamente energético de la materia para eliminar los agentes patógenos presentes en las semillas. Este enfoque innovador no solo reduce el riesgo de contaminación química en los cultivos, sino que también minimiza el impacto negativo en el medio ambiente y la salud humana.

El plasma frío, al ser un estado altamente energético de la materia, tiene la capacidad única de destruir microorganismos dañinos sin dejar residuos tóxicos en las semillas ni en el entorno circundante. Esto significa que los agricultores pueden desinfectar sus semillas de maíz de manera efectiva sin comprometer la calidad del suelo, la biodiversidad o la salud de los trabajadores agrícolas. Además, al no utilizar productos químicos agresivos, se reduce la posibilidad de contaminación de los recursos hídricos y la acumulación de residuos en los alimentos.

Para garantizar el éxito continuo de este proceso y fomentar su adopción generalizada en la agricultura moderna, es importante implementar algunas prácticas

Trabajos Futuros

Mejorar la eficacia de la desinfección y la tasa de germinación de las semillas mediante el ajuste de los parámetros del tratamiento de plasma frío.

Evaluar el impacto ambiental del uso del plasma frío en comparación con los métodos tradicionales de desinfección de semillas.

Analizar los efectos del tratamiento con plasma frío en la salud general de las plantas y su productividad a lo largo de varios ciclos de cultivo.

Desarrollar y producir concentrados alimenticios específicos para diferentes especies animales (por ejemplo, aves, cerdos, vacas y peces) utilizando cultivos hidropónicos tratados con el método de desinfección con plasma frío para mejorar la calidad y eficiencia del alimento.

Referencias

- Bach, P. (1997). *2.1.1 Efecto de la aplicación de cinco protectores químicos en el control de plagas y enfermedades en semillas almacenadas de Maíz (Zea mays L) amarillo duro en Tarapoto.*
- De La Rosa, E. (2021). *Tecnología de Plasma No Térmico en la Industria Agrícola-Alimentaria y Una Breve Descripción Sobre Sus Posibles Efectos En La Germinación de Semillas : Revisión Non-Thermal Plasma Technology in The Agricultural-Food Industry and a Brief Description of its.* 26, 5–14.
- Hector, Deras, F. (2020). Guía técnica El cultivo del maíz. *Guia Tecnica, El Cultivo Del Maiz, 1*, 42. <http://repiica.iica.int/docs/b3469e/b3469e.pdf>
- Jarintzi, Y. (2014). *Evaluación del Efecto del Tratamiento Con Plasma Frío en los Compuestos Volátiles de Sabor de Nuez Pecana (Carya Illinoensis).*
[https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/13115/Tesis Jarintzi Yared Rico Ruiz CICATA QRO.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/13115/Tesis%20Jarintzi%20Yared%20Rico%20Ruiz%20CICATA%20QRO.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Los, A., Ziuzina, D., Boehm, D., Cullen, P. J., & Bourke, P. (2019). Investigation of mechanisms involved in germination enhancement of wheat (*Triticum aestivum*) by cold plasma: Effects on seed surface chemistry and characteristics. *Plasma Processes and Polymers, 16*(4), 14. <https://doi.org/10.1002/ppap.201800148>
- Minotti, F. O. (2005). *Apuntes de Física del Plasma Índice General.*
- Muñiz, M. (2022). *El cultivo de maiz (Zea mays L.). Plagas agricolas mancha de asfalto.*
- OMS. (2022). *Residuos de plaguicidas en los Alimentos.* Septiembre. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/pesticide-residues-in-food>OMS
- Pedersen, A. (1967). Calculation of Spark Breakdown or Corona Starting Voltages in Nonuniform Fields. *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, PAS-86*(2), 200–206. <https://doi.org/10.1109/TPAS.1967.291836>
- Unigarro, E. (2022). Sistema De Generación De Plasma y Método De Desinfección. In *Paper Knowledge . Toward a Media History of Documents.*
- Minotti, F. O. (2005). *Apuntes de Física del Plasma Índice General.*
- Pedersen, A. (1967). Calculation of Spark Breakdown or Corona Starting Voltages in

Nonuniform Fields. *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, PAS-86(2), 200–206. <https://doi.org/10.1109/TPAS.1967.291836>

 <p>UNIVERSIDAD CESMAG NIT: 800.109.387-7 VIGILADA MINEDUCACIÓN</p>	CARTA DE ENTREGA TRABAJO DE GRADO O TRABAJO DE APLICACIÓN – ASESOR(A)	CÓDIGO: AAC-BL-FR-032
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 09/JUN/2022

San Juan de Pasto, 8 de junio de 2024

Biblioteca
REMIGIO FIORE FORTEZZA OFM. CAP.
Universidad CESMAG
Pasto

Saludo de paz y bien.

Por medio de la presente se hace entrega del Trabajo de Grado / Trabajo de Aplicación denominado Sistema de eliminación de hongos y bacterias en semillas de maíz por medio de plasma frío con acople de impedancias, presentado por el (los) autor(es) Diego Hernán Coral Cordoba y Luis Arnulfo Morales Estrada del Programa Académico ingeniería electrónica al correo electrónico biblioteca.trabajosdegrado@unicesmag.edu.co. Manifiesto como asesor(a), que su contenido, resumen, anexos y formato PDF cumple con las especificaciones de calidad, guía de presentación de Trabajos de Grado o de Aplicación, establecidos por la Universidad CESMAG, por lo tanto, se solicita el paz y salvo respectivo.

Atentamente,

(Firma)



Edgar Alberto Unigarro Calpa
C.C. 1085266351
Ingeniera Electrónica
Cel. 3182969880
C. E. eaunigarro@unicesmag.edu.co

 UNIVERSIDAD CESMAG <small>NIT: 800.109.387-7 VIGILADA MINEDUCACIÓN</small>	AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN DE TRABAJOS DE GRADO O TRABAJOS DE APLICACIÓN EN REPOSITORIO INSTITUCIONAL	CÓDIGO: AAC-BL-FR-031
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 09/JUN/2022

INFORMACIÓN DEL (LOS) AUTOR(ES)	
Nombres y apellidos del autor: Diego Hernán Coral Cordoba	Documento de identidad: 1192800910
Correo electrónico: dhcoral.0910@unicesmag.edu.co	Número de contacto: 3209369863
Nombres y apellidos del autor: Luis Arnulfo Morales Estrada	Documento de identidad: 1004559067
Correo electrónico: lamorales.90672@unicesmag.edu.co	Número de contacto: 3185749274
Nombres y apellidos del autor:	Documento de identidad:
Correo electrónico:	Número de contacto:
Nombres y apellidos del autor:	Documento de identidad:
Correo electrónico:	Número de contacto:
Nombres y apellidos del asesor:	Documento de identidad:
Correo electrónico:	Número de contacto:
Título del trabajo de grado: Sistema de eliminación de hongos y bacterias en semillas de maíz por medio de plasma frio con acople de impedancias.	
Facultad y Programa Académico: Facultad de ingeniería, ingeniería electrónica.	

En mi (nuestra) calidad de autor(es) y/o titular (es) del derecho de autor del Trabajo de Grado o de Aplicación señalado en el encabezado, confiero (conferimos) a la Universidad CESMAG una licencia no exclusiva, limitada y gratuita, para la inclusión del trabajo de grado en el repositorio institucional. Por consiguiente, el alcance de la licencia que se otorga a través del presente documento, abarca las siguientes características:

- a) La autorización se otorga desde la fecha de suscripción del presente documento y durante todo el termino en el que el (los) firmante(s) del presente documento conserve(mos) la titularidad de los derechos patrimoniales de autor. En el evento en el que deje(mos) de tener la titularidad de los derechos patrimoniales sobre el Trabajo de Grado o de Aplicación, me (nos) comprometo (comprometemos) a informar de manera inmediata sobre dicha situación a la Universidad CESMAG. Por consiguiente, hasta que no exista comunicación escrita de mi(nuestra) parte informando sobre dicha situación, la Universidad CESMAG se encontrará debidamente habilitada para continuar con la publicación del Trabajo de Grado o de Aplicación dentro del repositorio institucional. Conozco(conocemos) que esta autorización podrá revocarse en cualquier momento, siempre y cuando se eleve la solicitud por escrito para dicho fin ante la Universidad CESMAG. En estos eventos, la Universidad CESMAG cuenta con el plazo de un mes después de recibida la petición, para desmarcar la visualización del Trabajo de Grado o de Aplicación del repositorio institucional.

 <p>UNIVERSIDAD CESMAG NIT: 800.109.387-7 VIGILADA MINEDUCACIÓN</p>	AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN DE TRABAJOS DE GRADO O TRABAJOS DE APLICACIÓN EN REPOSITORIO INSTITUCIONAL	CÓDIGO: AAC-BL-FR-031
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 09/JUN/2022

- b) Se autoriza a la Universidad CESMAG para publicar el Trabajo de Grado o de Aplicación en formato digital y teniendo en cuenta que uno de los medios de publicación del repositorio institucional es el internet, acepto(amos) que el Trabajo de Grado o de Aplicación circulará con un alcance mundial.
- c) Acepto (aceptamos) que la autorización que se otorga a través del presente documento se realiza a título gratuito, por lo tanto, renuncio(amos) a recibir emolumento alguno por la publicación, distribución, comunicación pública y/o cualquier otro uso que se haga en los términos de la presente autorización y de la licencia o programa a través del cual sea publicado el Trabajo de grado o de Aplicación.
- d) Manifiesto (manifestamos) que el Trabajo de Grado o de Aplicación es original realizado sin violar o usurpar derechos de autor de terceros y que ostento(amos) los derechos patrimoniales de autor sobre la misma. Por consiguiente, asumo(asumimos) toda la responsabilidad sobre su contenido ante la Universidad CESMAG y frente a terceros, manteniéndola indemne de cualquier reclamación que surja en virtud de la misma. En todo caso, la Universidad CESMAG se compromete a indicar siempre la autoría del escrito incluyendo nombre de(los) autor(es) y la fecha de publicación.
- e) Autorizo(autorizamos) a la Universidad CESMAG para incluir el Trabajo de Grado o de Aplicación en los índices y buscadores que se estimen necesarios para promover su difusión. Así mismo autorizo (autorizamos) a la Universidad CESMAG para que pueda convertir el documento a cualquier medio o formato para propósitos de preservación digital.

NOTA: En los eventos en los que el trabajo de grado o de aplicación haya sido trabajado con el apoyo o patrocinio de una agencia, organización o cualquier otra entidad diferente a la Universidad CESMAG. Como autor(es) garantizo(amos) que he(hemos) cumplido con los derechos y obligaciones asumidos con dicha entidad y como consecuencia de ello dejo(dejamos) constancia que la autorización que se concede a través del presente escrito no interfiere ni transgrede derechos de terceros.

Como consecuencia de lo anterior, autorizo(autorizamos) la publicación, difusión, consulta y uso del Trabajo de Grado o de Aplicación por parte de la Universidad CESMAG y sus usuarios así:

- Permiso(permitimos) que mi(nuestro) Trabajo de Grado o de Aplicación haga parte del catálogo de colección del repositorio digital de la Universidad CESMAG por lo tanto, su contenido será de acceso abierto donde podrá ser consultado, descargado y compartido con otras personas, siempre que se reconozca su autoría o reconocimiento con fines no comerciales.

En señal de conformidad, se suscribe este documento en San Juan de Pasto a los 8 días del mes de junio del año 2024

Firma del autor <i>Diego Coral</i> Nombre del autor: Diego Hernán Coral Cordoba	 Firma del autor Nombre del autor: Luis Arnulfo Morales Estrada
Firma del autor Nombre del autor:	Firma del autor Nombre del autor:
 Nombre del asesor:	