



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE BABAHOYO
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS



**ESCUELA DE AGRICULTURA, SILVICULTURA, PESCA Y
VETERINARIA**
CARRERA DE AGROPECUARIA

TRABAJO DE TITULACIÓN

Componente práctico del examen de carácter Complexivo, presentado al
H. Consejo Directivo de la Facultad, como requisito previo a la obtención
del título de:

INGENIERO AGROPECUARIO

TEMA:

“Efecto del silicio sobre la incidencia de enfermedades en el cultivo de
arroz (*Oryza sativa* L.)”

AUTOR:

Néstor Isaac Bravo Sellan

TUTOR:

Ing. Agr. Oscar Mora Castro, MAE.

Babahoyo - Los Ríos – Ecuador

2023

RESUMEN

El arroz, *Oryza sativa* L., uno de los cultivos más importantes del mundo, es el segundo cereal más popular después del trigo. Los objetivos eran explicar los efectos del silicio sobre las enfermedades de los cultivos y demostrar cuán crucial es el silicio para la prevención de brotes de enfermedades en el arroz. Este documento, que sirvió como componente práctico del trabajo de grado, se elaboró utilizando información recopilada de textos de actualidad, revistas, bibliotecas en línea y artículos científicos. Según los hallazgos, en el arroz, los agentes bióticos causantes de enfermedades (bacterias, espiroplasmas, hongos, protozoos, micoplasmas, nematodos y virus) afectan el cultivo, lo que influye en la reducción de la producción y los efectos beneficiosos del silicio tienen ha sido demostrado en varias especies vegetales, y en caso de problemas fitosanitarios, es capaz de aumentar la resistencia de las plantas. El silicio actúa formando una barrera física en las células epidérmicas de las hojas que impide la penetración de hifas de hongos o estiletes de insectos chupadores como los pulgones. Esto da como resultado cambios bioquímicos, como la acumulación de compuestos fenólicos, lignina y fitoalexinas.

Palabras claves: gramíneas, enfermedades, hongos, fertilizantes.

SUMMARY

Rice, *Oryza sativa* L., one of the most important crops in the world, is the second most popular cereal after wheat. The objectives were to explain the effects of silicon on crop diseases and to demonstrate how crucial silicon is for preventing disease outbreaks in rice. This document, which served as a practical component of the degree work, was prepared using information collected from current texts, magazines, online libraries and scientific articles. According to the findings, in rice, disease-causing biotic agents (bacteria, spiroplasmas, fungi, protozoa, mycoplasmas, nematodes and viruses) affect the crop, influencing the reduction of production and the beneficial effects of silicon have ha It has been demonstrated in several plant species, and in case of phytosanitary problems, it is capable of increasing the resistance of plants. Silicon acts by forming a physical barrier in the epidermal cells of the leaves that prevents the penetration of fungal hyphae or stylets of sucking insects such as aphids. This results in biochemical changes, such as the accumulation of phenolic compounds, lignin, and phytoalexins.

Keywords: Grasses, Diseases, Fungi, Fertilizers.

CONTENIDO

1. CONTEXTUALIZACIÓN	1
1.1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.3. JUSTIFICACIÓN.....	2
1.4. OBJETIVOS	3
1.4.1. Objetivo general	3
1.4.2. Objetivos específicos.....	3
1.5. LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN	3
2. DESARROLLO	4
2.1. MARCO CONCEPTUAL	4
2.1.1. Generalidades del cultivo de arroz.....	4
2.1.2. Efectos del silicio sobre las enfermedades de los cultivos	7
2.1.3. Importancia del silicio para el control de enfermedades en arroz	11
2.2. MARCO METODOLÓGICO.....	16
2.3. RESULTADOS	16
2.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	17
3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	19
3.1. CONCLUSIONES	19
3.2. RECOMENDACIONES.....	19
4. REFERENCIAS Y ANEXOS	20
4.1. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	20
4.2. ANEXOS	25

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Cultivo de arroz a cosecha.....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 2. Enfermedades asociadas al cultivo de arroz	26

1. CONTEXTUALIZACIÓN

1.1. INTRODUCCIÓN

Debido a que el arroz es un componente importante de la canasta de alimentos básicos de los hogares ecuatorianos, el sector de la industria arrocera del país es importante. En términos de su estructura productiva, la mayor parte de la producción es propiedad de pequeños agricultores y casi todo el arroz producido se consume internamente, lo que crea oportunidades de empleo y contribuye al PIB (González y Zapata 2022).

En Ecuador son 343 022 hectáreas que se siembran, 337 783 hectáreas que se cosechan, con producción de 1 561 211 Tm y 1 506 590 Tm de venta. En la provincia de Los Ríos existen 86 681 hectáreas cosechadas de 87 347 hectáreas sembradas, con una producción de 406 849 Tm y 388 379 Tm de venta (INEC 2023).

Los agentes bióticos que causan enfermedades (bacterias, espiroplasmas, hongos, protozoos, micoplasmas, nematodos y virus) plantean los problemas más graves para este cultivo en todo el mundo porque afectan la producción y, en consecuencia, la rentabilidad del agricultor que siembra. El cultivo se ve afectado por enfermedades bacterianas, fúngicas y virales como resultado de las condiciones ambientales del país. Los principales son: quemadura, pudrición de las vainas, manchado del grano, pudrición negra, tizón de las vainas y virus de la hoja blanca (Pérez *et al.* 2018).

El silicio es un nutriente muy importante que promueve una mejor fotosíntesis en los distintos dorseles de la hoja. Una buena absorción de silicio protege a las plantas contra infecciones por hongos e insectos. de la hoja y, posteriormente, aumenta el beneficio y la producción de los cultivos de arroz (Morán 2021).

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El principal problema del arroz, uno de los cultivos de ciclo corto más importantes, es el bajo rendimiento por unidad de superficie, causado por una serie de factores que incluyen una nutrición deficiente, la aparición de plagas y enfermedades y un control ineficaz de las malas hierbas.

Es necesario buscar alternativas que controlen las enfermedades porque las enfermedades que afectan el cultivo de arroz perjudican la plantación.

A veces se utilizan fungicidas para tratar enfermedades, pero hacerlo hace que las plantas sean resistentes a estos productos, Además que contamina el suelo y el medio ambiente.

1.3. JUSTIFICACIÓN

Se requieren mayores rendimientos de arroz porque es uno de los principales productos de consumo para la nutrición humana. Uno de los componentes principales del suelo es el silicio que, cuando está presente en cantidades suficientes, es absorbido por las plantas de arroz y aumenta su peso total hasta en un 10%.

Por esta razón, en el cultivo del arroz se utilizan variedades resistentes a las enfermedades, debido a que poseen mayor contenido de silicio.

Se puede destacar que una buena absorción del silicio protege a las plantas de infecciones por hongos e insectos, y que una capa cuticular de silicio sana actúa como barrera contra los hongos, dos de las muchas funciones claramente establecidas del silicio en el crecimiento de las plantas de arroz. insectos, ácaros, etc.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general

Establecer el efecto del silicio sobre la incidencia de enfermedades en el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.).

1.4.2. Objetivos específicos

- Analizar la importancia del silicio para el control de enfermedades en arroz.
- Describir los efectos del silicio sobre las enfermedades del cultivo de arroz.

1.5. LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Dominio: Recursos Agropecuarios, ambiente, biodiversidad y Biotecnología

Líneas: Desarrollo agropecuario, agroindustrial sostenible y sustentable

Sublínea: Agricultura sostenible y sustentable

2. DESARROLLO

2.1. MARCO CONCEPTUAL

2.1.1. Generalidades del cultivo de arroz

El arroz, conocido científicamente como *Oryza sativa* L., uno de los cultivos más importantes del mundo, es el segundo cereal más popular después del trigo. Aunque la mayor parte de la producción mundial se concentra en climas tropicales húmedos, también se puede cultivar en regiones subtropicales húmedas, así como en climas templados y mediterráneos. Desde los 35° de latitud sur hasta los 49-50° de latitud norte y desde el nivel del mar hasta los 2.500 metros sobre el nivel del mismo se cultiva arroz (Buelvas 2021).

El arroz *Oryza sativa* es una gramínea cuyo origen se remonta a la edad media en Asia concretamente del sur China, consumido principalmente por personas de estratos socioeconómico alto, esta planta que viene siendo cultivada hace 7000 años puede alcanzar los 6 pies de altura, es familia de la avena, rica en nutrientes y minerales como la Riboflavina, Retinol, Calcio, Magnesio, Fosforo y Carbohidratos (Mendoza *et al.* 2019).

El producto más recurrente en la canasta básica de los ecuatorianos es el arroz, lo que lo convierte en uno de los temas de investigación más atractivos. En términos de desarrollo de actividades agrícolas, los ecuatorianos destacan, especialmente en lo que respecta a la producción para el consumo interno y la satisfacción de necesidades locales, regionales y globales (Bermúdez y Murillo 2019).

Los agentes bióticos causantes de enfermedades (bacterias, espiroplasmas, hongos, protozoos, micoplasmas, nematodos y virus) son uno de los problemas más graves para este cultivo en todo el mundo porque afectan la producción y, en consecuencia, la rentabilidad del agricultor que siembra la hierba (Pérez *et al.* 2018).

Según la misma fuente, debido a factores ambientales locales, los cultivos son susceptibles a una serie de enfermedades bacterianas, virales y fúngicas, las más comunes son las quemaduras, la pudrición de las vainas, las manchas de los granos, la podredumbre negra, el tizón de las vainas y virus de la hoja blanca (Pérez *et al.* 2018).

Uno de los cereales más producidos a nivel mundial es el arroz, junto con el maíz y el trigo. Con un consumo per cápita de 44 kg por año⁻¹, Ecuador se destaca entre las naciones latinoamericanas y asiáticas donde su consumo es significativo y se acerca al promedio mundial de 54 kg por año. El 30,82 % de los cultivos de transición, que cubren una superficie de 261.770 hectáreas, demuestra la importancia de esta hierba para la nación (Luna *et al.* 2022).

El consumo de arroz lo ha convertido en un producto básico en la alimentación de países de Latinoamérica, es considerado uno de los granos básicos para preservar la seguridad alimentaria de estos países. Su cultivo está extendido hasta alcanzar la cifra de 5,4 7 millones de hectáreas cultivadas, una de sus características es que al ser un cultivo de ciclo corto le permite a pequeños productores ser partícipes de la cadena de producción. Uno de los factores que inciden en su producción es la disponibilidad del recurso agua, en los últimos años debido a las consecuencias del cambio climático que estamos enfrentando en determinados sectores se ha detectado una disminución de este recurso y esto afecta la producción y por ende el bienestar y la economía de los pequeños y medianos productores, por lo tanto es prioritario diseñar sistemas más eficientes para el uso de recursos considerando el cuidado del medio ambiente y los efectos a futuro del cambio climático (Bonell *et al.* 2019).

Más de la mitad de la población mundial depende del arroz como su principal fuente diaria de calorías y proteínas, lo que lo convierte en uno de los cultivos alimentarios básicos más importantes del mundo. En el proceso de producción de este cereal se cosechan un total de 164 millones de hectáreas, o aproximadamente el 10 % de las tierras de cultivo del mundo. Los 514 millones de toneladas estimados de

arroz pulido producidos a nivel mundial en promedio entre 2018 y 2023 apenas satisfacen los 512 millones de toneladas de demanda promedio del grano. Esto, sumado al bajo nivel del comercio global, sugiere que la mayor parte de la producción es para consumo interno, dando lugar a características únicas de este producto que obligan a las naciones consumidoras a mejorar los sistemas de producción para garantizar la seguridad alimentaria de sus poblaciones (Álvarez *et al.* 2023).

El bajo costo y los beneficios nutricionales del arroz lo convierten en una parte esencial de la seguridad alimentaria en varias regiones, incluidas África, América y Asia. También es el producto principal en la dieta de un gran número de personas en todo el mundo, y un favorito en las cocinas de muchos países. Entre las características del arroz se destacan el bajo número de calorías que posee, la moderada cantidad de carbohidratos que contiene y el importante aporte de azúcares que brinda a los consumidores (Mendoza *et al.* 2019).

“El arroz, es el cereal más importante del mundo en desarrollo, constituye el alimento básico para más de la mitad de la población del planeta” (Viteri y Zambrano 2016).

El consumo de este cereal se ha convertido en un producto de la canasta básica en muchos países y en algunos casos es un elemento indispensable y un indicador económico que incide en el costo de la canasta básica, su nombre científico es *Oryza sativa*, hallazgos históricos y arqueológicos demuestran que empezó a cultivarse hace aproximadamente 7000 años en la zona sur oeste del continente asiático, este cultivo se expandió a la India y con el tiempo al resto de países que pertenecen a Asia (Haro 2022).

Los cereales constituyen la base de la alimentación humana, destacándose el arroz como el alimento primario de más de la mitad de la población mundial, suministrando más calorías que los alimentos básicos como el trigo, el maíz, la yuca o la papa; tiene además muchas virtudes alimentarias, ya que es rico en vitaminas y

minerales, bajo en grasa y sal y está libre de colesterol (Morejón *et al.* 2012).

“Los 53,20 kilogramos por habitante de consumo anual de arroz definen la magnitud de su importancia frente a países vecinos como Colombia y Perú que consumen anualmente 40.0 y 47.4 kg por habitante, respectivamente” (Viteri y Zambrano 2016).

Sus bajos costos de producción y su alta demanda lo convierten en uno de los ingresos más populares de muchas familias agricultoras, pero a pesar de que el cultivo de la gramínea no requiere de grandes inversiones, en los últimos años estos se han incrementado por los precios de los insumos, lo que ocasionó un rápido aumento de los costos de producción agrícola y la disminución en el beneficio de la producción arrocería, problema que provoca a los agricultores quienes de a poco se van volcando a otras actividades comerciales dejando de lado la agricultura (Mendoza *et al.* 2019).

2.1.2. Efectos del silicio sobre las enfermedades de los cultivos

Las múltiples ventajas de la fertilización con silicio, particularmente en cultivos sin suelo, donde este elemento es menos accesible al suelo de las plantas, superan cualquier incertidumbre sobre el papel del silicio en el metabolismo de las plantas y la falta de evidencia que respalde su necesidad como nutriente (Giménez 2020).

Numerosas especies de plantas han demostrado que el silicio tiene efectos positivos y, cuando hay problemas fitosanitarios, puede hacer que las plantas sean más resistentes a los patógenos y al ataque de insectos. Al depositarse, crear una barrera mecánica y actuar como inductor del proceso de resistencia, el silicio puede conferir resistencia a las plantas (Tapia 2019).

En la solución nutritiva, el silicio se puede añadir de diversas formas, incluso como ácido monosilícico, silicatos de potasio, silicatos de calcio, silicatos de sodio o silicatos de calcio. En este experimento usaremos una formulación líquida de silicato

de potasio con una concentración de 0,6 mmol (Giménez 2020).

Aunque la mayor parte se encuentra en forma insoluble y no es asimilado por las plantas, el silicio es uno de los elementos más predominantes en la corteza terrestre. Todas las plantas contienen silicio, que constituye entre el 0 y el 10% de su materia seca y, en ocasiones, cantidades superiores a las de otros macronutrientes como el nitrógeno o el potasio. El silicio está presente en todas las plantas. Se ha descubierto que numerosos cultivos importantes contienen silicio en cantidades significativas (más del 1% de la materia seca) (Giménez 2020).

Dado que la mayoría de los productores de arroz no gestionan bien su trabajo agrícola, los rendimientos se ven afectados negativamente por los principales problemas del cultivo de arroz, que son las plagas y enfermedades. La falta de un programa adecuado de aplicación de fungicidas por parte de los productores es la causa fundamental de los problemas (Aguilar y Soto 2017).

La distribución del silicio dentro de una planta depende de la velocidad a la que transpiran sus distintas partes. El silicio es absorbido por las plantas como ácido monosilícico $\text{Si}(\text{OH})_4$, que es transportado por el xilema. Los investigadores han descubierto que las aplicaciones de silicio pueden aumentar los rendimientos de la caña y el arroz en un 7 y un 45 por ciento, respectivamente. Contrariamente a la creencia popular, el silicio no es un elemento necesario y puede añadirse para mejorar la nutrición, la bioestimulación y la protección de las plantas (Varas 2021).

El ácido monosilícico, una forma de sílice que las plantas absorben a través de sus raíces, se transporta a través del xilema de la planta y se distribuye a sus órganos con mayores tasas de transpiración, principalmente los brotes, donde se condensa en sílice sólida y se deposita como sílice. El ácido silícico amorfo puede formar gel de sílice cuando su concentración es muy alta y puede depositarse en los vasos del xilema y las paredes celulares (Giménez 2020).

Debido a que el silicio es un componente de la pared celular y, por lo tanto, es menos accesible a las enzimas que degradan las paredes celulares, se ha sugerido que este es el mecanismo subyacente a la resistencia a las enfermedades. Para aumentar la rigidez de las células y poder aumentar el contenido de hemicelulosa y lignina en la pared celular, el Si absorbido se deposita en la pared celular, debajo de la cutícula. Además, según algunos autores, el Si es inmune sistémicamente a los hongos (Furcal 2012).

Dado que el silicio no se encuentra naturalmente en su forma libre, su fuerte afinidad por el oxígeno hace que produzca diferentes formas de SiO_2 (vidrio de sílice, sílice amorfa, cristobalita y cuarzo) u otros silicatos, que luego se combinan con diferentes metales (incluidos Al, Fe, Mn y Mg). Debido a su importancia en la fabricación comercial, el silicio se considera el elemento más importante del siglo XXI. Durante mucho tiempo se ha considerado el elemento más sostenible o renovable debido a su alta composición en la corteza terrestre. Debido a su éxito en cultivos como el arroz, la caña de azúcar y otros pastos, investigaciones recientes sugieren que el silicio es un elemento útil en la agricultura (Varas 2021).

Se ha observado que el silicio beneficia a las plantas de diversas maneras y desempeña un papel protector importante contra el estrés biótico y abiótico, por lo que se recomienda agregarlo a las soluciones nutritivas, particularmente para cultivos que se cultivan sin suelo. Para algunos cultivos, como tomate, melón y pimiento, entre otros, se recomienda el uso de soluciones nutritivas con una concentración de Si de al menos 0,65 mmol porque se cree que el Si es un elemento que ofrece importantes beneficios a las plantas y es una útil herramienta para la demandada agricultura sostenible (Giménez 2020).

Dado que el Silicio contribuye a las propiedades mecánicas de la pared, como la rigidez y la elasticidad, actúa depositándose directamente de forma amorfa en las paredes celulares. Por el contrario, en las gramíneas también se deposita dentro de las células de la epidermis (Cruz y Aguayo 2020).

El silicio es uno de los elementos esenciales para las plantas superiores porque las investigaciones realizadas por muchos científicos han demostrado que cuando se produce una deficiencia de silicio, muchas plantas son más vulnerables al estrés biótico y abiótico y a la aparición de enfermedades (Beltrán 2021).

Si actúa creando una barrera física en las células epidérmicas de las hojas para evitar que penetren insectos chupadores como pulgones u hongos. Pero el Si también activa otros mecanismos de defensa. En las zonas de infección, otros componentes dinámicos del Silicio se dispersan y reducen el daño causado por el patógeno (Avellaneda 2022).

El papel del Silicio (Si) se le atribuye por su acumulación y polimerización en las paredes celulares, formando una barrera mecánica contra el ataque de los insectos. Se ha demostrado que plantas tratadas con Silicio provoca la acumulación de compuestos fenólicos, lignina y fitoalexinas (Varas 2021).

Allí donde ocurre una enfermedad, siempre hay silicio disponible para fortalecer las células vecinas. Cuando un nutriente se incorpora a la pared celular, ésta se vuelve inmóvil. La aplicación foliar de silicio, rociada al primer signo de una enfermedad, puede tener ventajas significativas porque la mayoría de los suelos sólo contienen aproximadamente la mitad del silicio necesario (Beltrán 2021).

Uno de los efectos más notables del silicio es la disminución de la gravedad de algunas enfermedades, incluidas las foliares, en muchos cultivos económicamente importantes, incluso al mismo nivel que algunos fungicidas (Nascimento *et al.* 2019).

Se ha establecido que el silicio confiere al arroz una excelente resistencia frente a enfermedades provocadas por *Rhizoctonia*, *Pyricularia*, *Helminthosporium*, *Rynchosporium*, *Sarocladium*, etc., que dependiendo de la variedad y época de siembra, son cruciales para la producción de arroz (Furcal y Herrera 2013).

El Silicio, por ejemplo, se acumula principalmente en áreas de cultivos de trigo infectados por hifas de mildiú polvoriento, y en la avena, la acumulación de Si en los sitios infectados es de 3 a 4 veces mayor que en los sitios no infectados. Este mecanismo ayuda a que las plantas sean más resistentes a las enfermedades. Dado que el Si no se puede translocar después de fijarse en los tejidos, debe aplicarse continuamente a las raíces o a las hojas de las plantas para una protección eficaz (Avellaneda 2022).

Debido a que *S. oryzae* es causada por el hongo *Sarocladium oryzae* y la bacteria *Pseudomonas* y que *S. spinky* porta las esporas del hongo, que causan la pudrición de las vainas y la coloración del grano, es una de las enfermedades más comentadas en años recientes (Furcal y Herrera 2013).

2.1.3. Importancia del silicio para el control de enfermedades en arroz

Sin embargo, se ha establecido que el tratamiento de plantas con silicio provoca cambios bioquímicos, como la acumulación de compuestos fenólicos, lignina y fitoalexinas. Se ha demostrado que esta acumulación de compuestos fenólicos, lignina y fitoalexinas aumenta la resistencia al ataque de insectos (Tapia 2019).

Dado que la acumulación y polimerización del Si en las paredes celulares, que crean una barrera mecánica contra el ataque, se han atribuido en gran medida a la resistencia a plagas y enfermedades de insectos, el Si juega un papel fundamental en esa resistencia. Esta sustancia se acumula en la epidermis y está ligada a iones de calcio y pectina, que endurecen el tejido e impiden la entrada de patógenos vegetales (Cruz y Aguayo 2020).

Las plantas pueden producir dióxido de silicio (SiO_2) en forma de cristales de silicio debajo de la cutícula de sus hojas, tallos y raíces; esta agua, subproducto del proceso antes mencionado, puede provenir de un ácido. La sílice (H_4SiO_4), como resultado de la reacción $n (\text{Si} (\text{OH})_4) \rightarrow (\text{SiO}_2)_n (\text{H}_2\text{O})$, forma SiO_2 , lo que crea

resistencia a la entrada de hifas fúngicas (Furcal 2012).

Cuando la cantidad de Si en el tejido vegetal es mayor, se reduce la incidencia de enfermedades. Se ha demostrado que el Silicio tiene una excelente resistencia contra enfermedades como Rhizoctonia, Pyricularia, Helminthosporium, Sarocladium, etc. En el caso específico del arroz. Sarocladium ha sido una de las enfermedades más comentadas en los últimos años y sus esporas son transportadas por *S. spinky* provocando pudrición de las vainas y manchado del grano, lo que constituye un complejo de enfermedades. Todas estas enfermedades importantes en la producción de arroz dependen de la variedad y la época de siembra (Furcal 2012).

El enorme potencial que tiene el silicio para aumentar la resistencia a patógenos y plagas favoreciendo una buena nutrición ha sido confirmado por numerosos trabajos publicados. Cuarta Conferencia Internacional sobre Silicio en Agricultura. Un análisis de la aplicación en empapado de silicio soluble (silicato de potasio) aplicado al suelo, logrando un efecto inhibitor del 100 por ciento sobre el crecimiento micelial, en el manejo de *Phytophthora cinnamomi* en aguacate (Beltrán 2021).

Trabajar con silicio es algo común en países como Japón y Corea. La productividad del cultivo de arroz ha aumentado como resultado de su uso. Además de aumentar el desarrollo de la planta y la disponibilidad de fósforo en el suelo, también le da vigor, tolerancia a plagas y enfermedades y mayor vigor. El uso de silicio en la agricultura en general tiene un potencial impresionante, particularmente cuando se trata de cuestiones relacionadas con la sostenibilidad, como la disminución del uso de agua, el aumento del uso de fertilizantes y una resistencia más precisa a las plagas y enfermedades (Ramos 2023).

Debido a su relación con la pared celular de la planta, el silicio, un elemento muy beneficioso en la parte nutricional de la planta, la hace menos vulnerable a patógenos como ataques de insectos, plagas y hongos (Caballero 2023).

Debido a que el silicio se acumula y polimeriza en las paredes celulares, formando una barrera física contra el ataque de patógenos, se ha sugerido que el silicio desempeña un papel en el aumento de la resistencia al ataque de enfermedades. Además de servir como barrera física, algunos estudios muestran que el silicio puede facilitar que los compuestos fenólicos o fitoalexinas se depositen rápidamente en los sitios de infección, lo cual es un mecanismo de defensa (Nascimento *et al.* 2019).

Las plantas deficientes en silicio son quebradizas y susceptibles de infecciones fúngicas. La presencia de silicio, en contenido adecuado, aumenta el rendimiento del cultivo de arroz y la resistencia al ataque de hongos (Herrera 2011).

El silicio se le atribuye el término benéfico principalmente porque propicia un aumento en la resistencia de enfermedades en las plantas. Los cultivos que tienen la capacidad de almacenar en sus tejidos a este elemento tienen la ventaja de ser menos propicios al ataque de patógenos (Ortega y Malavolta 2021).

Para lograr buenos niveles de silicio asimilable por las plantas, deben aplicarse al suelo productos que al reaccionar con el agua formen ácido silícico, que es débilmente adherido en el suelo. Este, a pesar de tener poca migración en el suelo, tiene el inconveniente que puede perderse por lixiviación. Pero además, los silicatos tienen otros efectos importantes como los son la transferencia de resistencia contra enfermedades, ataque de insectos y al “volcamiento” de las plantas de arroz (Furcal y Herrera 2013).

Las enfermedades del arroz son usualmente manejadas con el uso de cultivares resistentes o con fungicidas. La resistencia adquirida puede ser fácilmente quebrada y el uso de fungicidas ha sido cuestionado por grupos ambientalistas. Además, los fungicidas son considerados productos de alta tecnología de elevado costo al productor, que en muchos casos no está en condiciones financieras de adquirirlos. La fertilización con Si ha demostrado eficiencia en el control o en la

reducción de la incidencia de varias enfermedades importantes en el arroz (IPNI 2021).

El mecanismo de resistencia a enfermedades ha sido atribuido al silicio como constituyente de la pared celular, tornándola menos accesible a enzimas de degradación. El Si absorbido es depositado en la pared celular, debajo de la cutícula aumentando la rigidez de las células y pudiendo elevar el contenido de hemicelulosa y lignina de la pared celular, además de eso, algunos autores indican que el Si tiene protección sistémica contra hongos (Herrera 2011).

El Si incrementa la producción de granos y mantiene altas acumulaciones de biomasa seca, así mismo, se afirma que las aplicaciones de Si sustituyen al fungicida en cuanto a la protección contra *Pyricularia* disminuyendo la aplicación de plaguicidas (Rodríguez 2015).

La aplicación de Si antes de la siembra puede eliminar o reducir el número de aplicaciones de fungicidas durante el ciclo del cultivo. Un buen cultivo de arroz puede extraer 1.5 t de SiO₂/ha. Numerosos investigadores han demostrado que el Si reduce la severidad de varias enfermedades de importancia económica como la piricularia, la mancha parda y la escaldadura, entre otras. La incidencia de estas enfermedades tiende a disminuir con el incremento de la concentración de Si en el tejido foliar (IPNI 2021).

El Dióxido de Silicio (SiO₂) que se acumula bajo la cutícula de las hojas, tallos y raíces en forma de cristales de silicio, es posible que proviene del proceso de la transpiración de las plantas, esa agua producto del proceso mencionado puede provenir del Ácido Silícico (H₄SiO₄), según la reacción $n(\text{Si}(\text{OH})_4) \rightarrow (\text{SiO}_2) + 2n(\text{H}_2\text{O})$, formándose el SiO₂, el cual produce resistencia a la entrada de las hifas de los hongos y a los aparatos bucales de los insectos, minimizando el ataque de los chupadores y de los masticadores en sus primeros instares, dificultando de esta manera los daños en general (Herrera 2011).

El mecanismo de protección es en la pared celular o cerca de ésta, donde se concentra el silicio e impide penetración del patógeno. El silicio también reduce los efectos fitotóxicos del exceso de Mn, Fe y Al en suelos ácidos. Es absorbido como ácido monosilícico (H_4SiO_4) no disociado en un proceso activo, parecería que es sensible a la temperatura y a los inhibidores metabólicos. La mayor proporción del Si en la planta se encuentra como sílice amorfa hidratada ($SiO_2 \cdot nH_2O$). Las plantas cultivadas difieren mucho en la capacidad de absorber el Sílice (Ortega y Malavolta 2021).

La incidencia de las enfermedades es menor cuando el tenor de Si en el tejido vegetal es mayor. En el caso específico del arroz, se ha comprobado que el Silicio presenta una excelente resistencia contra enfermedades como *Rhizoctonia*, *Pyricularia*, *Helminthosporium*, *Sarocladium*, etc., todas importantes en la producción de arroz, según la variedad y época de siembra, en ese sentido *Sarocladium* ha sido una de las enfermedades más discutidas en los últimos años y que las esporas de esta son transportados por S. Spinky causando la pudrición de la vaina y manchado del grano, la cual constituye un complejo de enfermedades, desde entonces los esfuerzos se han enfocado a revisar la información científica y en capacitación con el objetivo de desarrollar investigaciones básicas y aplicadas que permiten el manejo del complejo ácaro-hongo (Herrera 2011).

Estudios en arroz indican que una buena producción puede extraer del suelo entre 467 y 560 kg/ha de Si, incrementándose la producción y acumulación de SiO_2 en la epidermis de las hojas. El Si se acumula en forma activa en arroz en concentraciones iguales o mayores al 5 %, esto le confiere a la planta no solo resistencia a enfermedades fúngicas sino también promueven un mayor crecimiento. El silicio se absorbe como ortosilícico $Si(OH)_4$ y metasilícico (H_2SiO_3), en arroz del 4 a 7% de la materia seca aérea es silicio, mientras que en otras gramíneas es de 1 a 2 %. En arroz, se ha comprobado que el silicio induce una excelente resistencia contra enfermedades, producto de *Rhizoctonia*, *Pyricularia*, *Helminthosporium*, *Rynchosporium*, *Sarocladium*, etc., las cuales, según la variedad y la época de siembra

son muy importantes en la producción de arroz (Furcal y Herrera 2013).

2.2. MARCO METODOLÓGICO

Para la elaboración del documento se recopiló información de textos actualizados, revistas, bibliotecas virtuales y artículos científicos que contribuyan al desarrollo del presente documento que sirvió como componente práctico del trabajo de titulación.

La información obtenida fue parafraseada, resumida y analizada a fin de obtener información relevante referente al efecto del silicio sobre la incidencia de enfermedades en el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.).

2.3. RESULTADOS

Los resultados propuestos son:

- Se debe adicionar Silicio en el cultivo de arroz, para que ayude a controlar plagas y enfermedades y a su vez aporte al incremento de los rendimientos.
- El silicio provoca cambios bioquímicos en la planta de arroz, como la acumulación de compuestos fenólicos, lignina y fitoalexinas.
- El Silicio forma una barrera mecánica por su acción como inductor del proceso de resistencia.
- El silicio aporta a la nutrición del cultivo de arroz, ya que al relacionarse con la pared celular de la planta los hace menos susceptibles al ataque de patógenos como los ataques de insectos plagas y hongos

2.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Utilizar silicio en el cultivo de arroz para ayudar en el control de plagas y enfermedades, lo que en última instancia ayudará a aumentar los rendimientos, tal como sugieren Pérez et al., (2018) que los agentes bióticos causantes de enfermedades (bacterias, espiroplasmas, hongos, protozoos, micoplasmas, nematodos y virus) pueden causar enfermedades en cualquier parte del mundo y tener un impacto en la rentabilidad de un productor.

En el caso del crecimiento de la resistencia al ataque de insectos, debido al silicio se ha atribuido su acumulación y polimerización en la pared de las células, lo que constituye una barrera mecánica contra el ataque; sin embargo, se ha demostrado que el tratamiento de plantas con Si produce cambios bioquímicos, acumulación de sacarosa y acumulación de lignina en la planta de arroz, como lo demuestra Tapia (2019).

La mayoría de los productores de arroz no tienen una gestión eficaz de las tareas culturales, lo que repercute directamente en el desempeño. Aguilar y Soto (2017) mencionan que es importante contrarrestar los principales problemas del cultivo de arroz son el ataque de plagas y enfermedades. El silicio actúa como inductor del proceso de resistencia, formando una barrera mecánica. Los programas inadecuados de aplicación de fungicidas de los productores son la raíz de los problemas.

El silicio contribuye al valor nutricional del cultivo de arroz al interactuar con la pared celular de la planta, lo que reduce la susceptibilidad de la planta a patógenos como ataques de insectos, plagas y hongos. Este hallazgo es considerado por Cruz y Aguayo (2020) de que el mecanismo de acción del silicio es que se deposita directamente en las paredes celulares en un estado amorfo, contribuyendo a las propiedades mecánicas de la pared como la rigidez y la elasticidad. Mientras que también se encuentra en el interior de las células de la epidermis en las gramíneas,

además de depositarse en la pared celular.

3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1. CONCLUSIONES

Las conclusiones planteadas son:

- Se ha demostrado que el silicio tiene efectos positivos en una variedad de especies de plantas, especialmente en el cultivo de arroz, y en lo que respecta a los diferentes problemas fitosanitarios que se presentan durante el desarrollo del cultivo, incide de que las plantas sean más resistentes a los patógenos y ataques de insectos.
- El silicio forma una barrera mecánica contra el ataque de los diferentes microorganismos, en las paredes celulares debido a su acumulación y polimerización, lo que provoca cambios bioquímicos como la acumulación de compuestos fenólicos, lignina y fitoalexinas.
- El Silicio actúa en el cultivo de arroz creando una barrera física en las células epidérmicas de las hojas para evitar que penetren las hifas de los hongos o los estiletes de insectos chupadores, como los pulgones.

3.2. RECOMENDACIONES

Las recomendaciones son:

- Aplicar Silicio al cultivo de arroz por los beneficios que aporta provocando Resistencia del cultivo ante el ataque de plagas y enfermedades.
- Promover que se realicen investigaciones de campo con diferentes dosis y época de aplicación de Silicio para obtener resultados eficaces sobre las dosis de Silicio que se debe utilizar en el cultivo de arroz.

4. REFERENCIAS Y ANEXOS

4.1. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Aguilar, A. J. S., Soto, M. C. A. 2017. Alternativas biológicas para el manejo del complejo de manchado de grano en el cultivo de arroz en Babahoyo, provincia de Los Ríos, Ecuador. *Revista Científica Ciencias Naturales y Ambientales*, 11(1), 37-48.
- Álvarez, R., Reyes, E., Alvarado, A., Valera, E., Linarez, Y., Ramos, N., Hernández, E., & De la Cruz, R. 2023. Caracteres morfológicos asociados a la calidad del grano de la variedad de arroz Venezuela 21. *Hatun Yachay Wasi* 2(1), 42 - 53. <https://doi.org/10.57107/hyw.v2i1.34>
- Avellaneda Vázquez, J. P. 2022. *Evaluación de dosis de silicio para el control de la mancha marrón (Bipolaris oryzae) en el cultivo de arroz (Oryza sativa L.)* (Bachelor's thesis, Quevedo: UTEQ). Disponible en <https://repositorio.uteq.edu.ec/server/api/core/bitstreams/1a83a440-46f1-4bbc-8ea9-c95743ebdb69/content>
- Beltrán Muñoz, L. E. 2021. Efecto de la aplicación de silicio en el manejo fitosanitario del cultivo de cacao (*Theobroma cacao*) variedad CCN-51. Disponible en <https://repositorio.uteq.edu.ec/server/api/core/bitstreams/7d5a9b69-1aa4-49b4-9b5c-5f22e9e8a8ec/content>
- Bermúdez Espinoza, L., Murillo Mora, M. 2019. Análisis de la cadena de valor en el consumo de arroz para Manabí. *Caribeña de Ciencias Sociales*, (junio). Disponible en <https://www.eumed.net/rev/caribe/2019/06/consumo-arroz-ecuador.html>
- Bonell, M; Yau, alberto; Witkowski, K; Quintero, C. 2019. Arroz más productivo y sustentable para Latinoamérica. Disponible en <https://www.fontagro.org/new/proyectos/arrozmasproductivo/es>.
- Buelvas Jiménez, M. B. 2021. Importancia de los factores climáticos en el cultivo de

- arroz: Importance of climate factors in rice crop. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 6(1), 28-34. Disponible en <https://ojs.unipamplona.edu.co/index.php/rcyta/article/view/1080/1164>
- Caballero, D. 2023. Aplicación de silicio para el manejo de (*Spodoptera frugiperda*) en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.). Universidad Agraria del Ecuador. Disponible en <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/CABALLERO%20CABALLERO%20DIEGO%20LEONARDO.pdf>
- Cruz López, G. P., & Aguayo Zambrano, A. J. 2020. Efecto del silicio y bioestimulantes sobre el rendimiento del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) amarillo duro (Bachelor's thesis, Calceta: ESPAM MFL). Disponible en <https://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/1335/1/TTA08D.pdf>
- Furcal-Beriguete, P. 2012. Efecto del silicio en la fertilidad del suelo, en la incidencia de enfermedades y el rendimiento del cultivo de arroz (*Oryza sativa*) var CR 4477. Disponible en https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=Efectos+del+silicio+sobre+las+enfermedades+de+los+cultivos+2020&btnG=
- Furcal-Beriguete, P., Herrera-Barrantes, A. 2013. Efecto del silicio y plaguicidas en la fertilidad del suelo y rendimiento del arroz. *Agronomía Mesoamericana*, vol. 24, núm. 2, pp. 365-378. Disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/437/43729228013.pdf>
- Furcal-Beriguete, Parménides, Herrera-Barrantes, Alejandra. 2013. Efecto del silicio y plaguicidas en la fertilidad del suelo y rendimiento del arroz. *Agronomía Mesoamericana*, 24(2), 357-364. Retrieved September 19, 2023, from http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1659-13212013000200013&lng=en&tlng=en.
- Giménez Martínez, J. M. 2020. Efecto del silicio sobre la productividad de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*) tipo RAF en cultivo sin suelo. Disponible en <http://repositorio.ual.es/bitstream/handle/10835/9750/GIMENEZ%20MARTINEZ,%20JOSE%20MANUEL.pdf?sequence=1>
- González, C y Zapata, P. 2022. Propuesta de gestión financiera aplicada a empresas

- del subsector A0112: Cultivo de arroz del Ecuador. Universidad del Azuay. Disponible en <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/12438/1/17965.pdf>
- Haro, A. 2022. El arroz: fuente de fibra y de hidratos de carbono. Disponible en <https://www.lechepuleva.es/aprende-acuidarte/tu-alimentacion-de-la-a-z/a/arroz>.
- Herrera, A. 2011. Efecto del silicio en la fertilidad del suelo, en la incidencia de enfermedades y el rendimiento del cultivo de arroz (*Oryza sativa*) var CR 4477. Disponible en <https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/5913/Efecto%20del%20silicio%20en%20la%20fertilidad%20del%20suelo%2C%20en%20la%20incidencia%20de%20enfermedades%20y%20el%20rendimiento%20del%20cultivo%20de%20arroz%20%28Oryza%20sativa%29%20var%20CR%204477.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- INEC. 2023. Estadísticas Agropecuarias. Disponible en <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadisticas-agropecuarias-2/>
- IPNI. 2021. Fertilización con silicio: una alternativa para el control de enfermedades en cana de azúcar y arroz. Disponible en [http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/6010C8BA31A1918485258012006D428F/\\$FILE/Art%203.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/6010C8BA31A1918485258012006D428F/$FILE/Art%203.pdf)
- Luna, F. C. G., Alvarado, P. J. A., & Gómez, J. A. M. 2022. Dimensiones adecuadas de parcela experimental para ensayos de arroz en jujan, Ecuador. *Bioagro*, 34(3), 245-252. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8554068>
- Mendoza Avilés, H., Loo Bruno, Á., Vilema Escudero, S. 2019. Rice and its importance in rural entrepreneurs of agricultural business as a local development mechanism of Samborondón. *Revista Universidad y Sociedad*, 11(1), 324-330. Epub 02 de marzo de 2019. Recuperado en 19 de septiembre de 2022, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-36202019000100324&lng=es&tlng=en
- Morán, E. 2021. Efecto del silicio como complemento edáfico en la productividad de la soya en el cultivo de arroz por inundación. Universidad Agraria del Ecuador. Disponible en

<https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/CARLOS%20MORAN%20ERICK%20EDUARDO.pdf>

- Morejón Rivera, R., Díaz Solís, S., Hernández Macías, J. 2012. Comportamiento de tres variedades comerciales de arroz en áreas de la Empresa Arrocería «Los Palacios». *Cultivos Tropicales*, 33 (1), 46-49. Recuperado en 19 de septiembre de 2022, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362012000100007&lng=es&tlng=en
- Nascimento-Silva, K., Roca, L. F., Benlloch-González, M., & Fernández-Escobar, R. 2019. Influencia del silicio en el control de *Fusicladium oleagineum* en el olivo. VII JORNADAS DEL GRUPO DE FERTILIZACIÓN, 47. Disponible en http://www.sech.info/ACTAS/Acta%20n%C2%BA%2082.%20VII%20Jornadas%20del%20Grupo%20de%20Fertilizaci%C3%B3n/Acta%20Horticultura_82.pdf#page=52
- Ortega, A.E.; Malavolta, E. 2021. Los más Recientes Micronutrientes Vegetales. INTA EEA Salta. Argentina. 10 p. Silicio Un Elemento Benéfico para los Cultivos. Disponible en https://www.fertilab.com.mx/AdminFertilab/Notas_Tecnicas/pdf_nota/Silicio,_Un_Elemento_Benefico_Para_Los_Cultivos_.pdf
- Pérez Iglesias, H. I. Rodríguez Delgado, I., & García Batista, R.M. 2018. Principales enfermedades que afectan al cultivo del arroz en Ecuador y alternativas para su control. *Revista Científica Agroecosistemas*, 6(1), 16-27. Disponible en <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes>
- Ramos, J. 2023. Respuesta de plántula de arroz (*Oryza sativa* L.) a enmiendas de silicio en el suelo. Universidad Agraria del Ecuador. Disponible en <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/RAMOS%20RON%20JAIME%20ANDRES.pdf>
- Rodríguez, A. 2015. Efecto de aplicaciones de fuentes de silicio sobre incidencia de enfermedades y componentes de rendimiento de las variedades Fedearroz 174 y Victoria 10 – 39. Disponible en <https://repositorio.unillanos.edu.co/bitstream/handle/001/324/tesis%20final.pdf;jsessionid=2C7DAA3C8E16BAADEC597A6484C158A0?sequence=1>

- Tapia Cortez, J. A. 2019. Efectos del silicio en la resistencia a plagas en el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.). Disponible en <http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/6905/E-UTB-FACIAG-ING%20AGRON-000205.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Varas Carvajal, I. A. 2021. Efecto de la aplicación edáfica del silicio en el control de *Phytophthora capsici*, en el cultivo de pimiento (*Capsicum annuum*). Disponible en <https://repositorio.uteq.edu.ec/server/api/core/bitstreams/3b53a082-8384-460c-ae3f-8f175908b800/content>
- Viteri, G., Zambrano, C. 2016. Comercialización de arroz en Ecuador: Análisis de la evolución de precios en el eslabón productor-consumidor. *Revista Ciencia y Tecnología*, 9(2), 11-17. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6261797>

4.2. ANEXOS

Figura 1. Cultivo de arroz a cosecha



Vivas, L. 2017. Guía para el reconocimiento y manejo de las principales enfermedades en el cultivo de arroz en Ecuador. Disponible en https://www.researchgate.net/profile/Leticia-Vivas-2/publication/266794883_GUIA_PARA_EL_RECONOCIMIENTO_Y_MANEJO_DE_LAS_PRINCIPALES_ENFERMEDADES_EN_EL_CULTIVO_DE_ARROZ_EN_ECUADOR/links/543be9ba0cf24a6ddb97c59b/GUIA-PARA-EL-RECONOCIMIENTO-Y-MANEJO-DE-LAS-PRINCIPALES-ENFERMEDADES-EN-EL-CULTIVO-DE-ARROZ-EN-ECUADOR.pdf

Figura 2. Enfermedades asociadas al cultivo de arroz



Zamudio, J. 2022. Enfermedad causa mermas de la calidad y rendimiento del cultivo de arroz. Disponible en <https://agraria.pe/noticias/enfermedad-causa-mermas-de-la-calidad-10049>