



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE BABAHOYO
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**



TRABAJO DE TITULACIÓN

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

INGENIERO AGRÓNOMO

TEMA:

El Silicio (Si) como mineral multifuncional en la agricultura

AUTOR:

José Fernando Onofre Salazar

ASESOR:

Ing. Agr. Guillermo García Vásquez, M.Sc.

Babahoyo- Los Ríos- Ecuador

2019



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE BABAHOYO
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA



DEDICATORIA

Éste trabajo se lo dedico a mi familia por haberme brindado su apoyo desde los inicios de la carrera, pero, en especial a mis padres por orientarme y aconsejarme en los diferentes aspectos de la vida, ya que en la vida universitaria uno se relaciona con todo tipo de personas, y el consejo que siempre me dan mis padres es que “en esta vida te vas a encontrar con todo tipo de personas, buenos y malos, a ambos escúchalos, porque de las personas buenas aprendes cosas buenas, y de las malas aprendes a no hacer cosas malas”



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE BABAHOYO
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA



AGRADECIMIENTO

En primer lugar doy gracias a Dios por la vida y por permitir que todo lo proyectado en la Carrera se halla dado conforme a lo planificado, agradecer a mi familia por el apoyo constante que día a día me brindaban para continuar con los estudios, a los señores docentes que con sus conocimientos nos nutrieron de ellos y llegamos a tener un alto nivel de entendimiento, no solo de las asignaturas, sino que también sobre la vida, sus experiencias laborales, anécdotas en el campo, porque es en el campo en dónde el Ingeniero Agrónomo se forja y se convierte en un técnico de alto nivel, agradecer a los compañeros de curso, porque ellos fueron como nuestra segunda familia.

RESUMEN

El Silicio (Si) como mineral multifuncional en la agricultura

AUTOR

José Fernando Onofre Salazar

TUTOR:

Ing. Agr. Guillermo García Vásquez, M.Sc.

El elemento Silicio (Si) dentro de la producción agrícola cumple un papel multifuncional en lo que refiere al ciclo de desarrollo de los cultivos, es decir, desde la siembra, hasta la cosecha. Éste elemento cumple papeles de: desbloqueador de nutrientes en el suelo, mediante sus iones aleja a los elementos que generan toxicidad en las plantas, al adicionar silicatos a las plantas, favorece a la producción de fitoalexinas (sustancias de mucha importancia para la autodefensa de éstas), inhibe la transpiración excesiva de agua y cualquier sustancia mineral que se encuentran en la masa foliar, refuerza las paredes celulares de las hojas, evitando así la penetración e infección de hongos fitopatógenos. El Silicio con relación al medio ambiente tiene la capacidad de atrapar las moléculas de gas carbónico (CO₂), dando como resultado una disminución de los impactos ambientales; contribuyendo de ésta forma a que se promueva una agricultura amigable con los recursos naturales.

Palabras claves: silicio, mineral, agricultura, cultivos, nutrientes.

SUMMARY

Silicon (Si) as a multifunctional mineral in agriculture.

AUTHOR

José Fernando Onofre Salazar

TUTOR:

Ing. Agr. Guillermo García Vásquez, M.Sc.

The element Silicon (Si) within agricultural production plays a multifunctional role in what refers to the cycle of crop development, that is, from sowing, to harvesting. This element fulfills the roles of: Unblocker of nutrients in the soil, by means of its ions, it removes the elements that generate toxicity in the plants, by adding silicates to the plants, it favors the production of phytoalexins (substances of great importance for the self-defense of these), inhibits the excessive transpiration of water and any mineral substance found in the leaf mass, reinforces the cell walls of the leaves, thus preventing the penetration and infection of phytopathogenic fungi. Silicon in relation to the environment has the ability to trap the molecules of carbon dioxide (CO₂), resulting in a decrease in environmental impacts; contributing in this way to the promotion of a friendly agriculture with natural resources.

Keywords: silicon, mineral, agriculture, crops, nutrients.



Índice General

DEDICATORIA	I
AGRADECIMIENTO	II
RESUMEN	III
SUMMARY	IV
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I	3
MARCO METODOLÓGICO	3
1.1. Definición del tema caso de estudio.....	3
1.2. Planteamiento de Problema.....	3
1.3. Justificación.....	3
1.4. Objetivos	4
1.4.1. Objetivo General	4
1.4.2. Objetivos Específicos:.....	4
1.5. Fundamentación teórica	4
1.5.1. ¿Qué es la Agricultura?	4
1.5.2. Importancia del Silicio en la Agricultura	4
1.5.3. Uso del Silicio en la agricultura.....	6
1.5.4. Efectos y beneficios del Silicio en el sistema: suelo – planta – ambiente.....	11
1.5.5. Fuente natural de Silicio.....	13
1.6. Hipótesis	15
1.7. Metodología de la investigación	15
CAPITULO II	16
RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN	16
2.1. Situaciones detectadas.....	16
2.2. Soluciones planteadas.....	17
2.3. Conclusiones.....	17
2.4. Recomendaciones	17
Bibliografía	18

INTRODUCCIÓN

La agricultura es la actividad económica de mayor importancia en el mundo y en el Ecuador, debido a que constituye la principal fuente para la obtención de materia prima para la alimentación de la población. Es el arte de cultivar la tierra, refiriéndose a los diferentes trabajos de tratamientos del suelo y cultivos de vegetales, ya sean éstos: cereales, frutas, hortalizas, pastos, forraje, entre otros. En general todos los países realizan algún tipo de agricultura. Los promedios de productividad son variables, existiendo altos rendimientos en los países desarrollados y bajos en países en desarrollo. Las mayores áreas de producción agrícola se encuentran en el continente americano siendo Estados Unidos, Brasil, Argentina y Colombia, los que presentan mayor importancia a nivel mundial.

En general, han existido muchos esfuerzos en el desarrollo investigativo y generación de tecnología, sobre todo en la obtención de nuevas variedades con un rendimiento potencial y también tolerantes a plagas y enfermedades. Los avances en nutrición del cultivo también han logrado un rápido desarrollo, especialmente en la actividad de los micro elementos dentro del sistema productivo, esto con el fin de incrementar su producción. El énfasis en la utilización de fertilizantes químicos hace que la fertilización constituya, un factor de importancia en el rendimiento de las cosechas.

Según Otto Filgueiras (2007): “El Silicio tiene un papel importante en la relación planta-ambiente, porque puede dar a los cultivos mejores condiciones para soportar adversidades climáticas, del suelo y biológicas, teniendo como resultado final un aumento en la producción con mejor calidad del producto”.

Los suelos necesitan nuevos manejos o métodos de producción modernos. El contenido de nutrientes varía mucho dependiendo de las prácticas de cultivo, intensidad de producción, rotación de las cosechas, incorporación de fuentes de fertilizantes y residuos de cosecha. En el Ecuador el uso del silicio es uno de los problemas más críticos, debido al desconocimiento de la cantidad y efectos que causa en los cultivos.

Este elemento mineral es considerado benéfico para el desarrollo y crecimiento de las plantas. El elemento es parte de moléculas que son un componente intrínseco de la estructura o metabolismo de una planta (Redagrícola, 2017).

Existen problemáticas que presentan las plantas con ausencia del Silicio: es que son susceptibles al ataque de plagas y enfermedades, puesto que son más débiles estructuralmente, tienen menor tamaño, desarrollo, viabilidad y su reproducción es anormal.

Por esta razón esta investigación será el punto de partida para dar a conocer la importancia y los efectos del Silicio en la agricultura, de la misma manera llegar a fomentar la utilización del Silicio como un elemento transversal, el cual ayudará a incrementar la productividad y mejorar la calidad de productos agrícolas.

CAPITULO I

MARCO METODOLÓGICO

1.1. Definición del tema caso de estudio

El presente trabajo presentado en este compendio, que trata sobre “El Silicio (Si) como mineral multifuncional en la agricultura”; el miso que dará a conocer la importancia del Silicio como mineral multifuncional en el sistema suelo, planta y ambiente.

1.2. Planteamiento de Problema

El desconocimiento del uso del Silicio es una de las problemáticas que influye en la producción agrícola, debido a que este elemento cumple el papel de ser multifuncional en el proceso de producción de cultivos; puesto que, se conoce que el elemento en sí tiene la capacidad de restaurar mediante un proceso, los suelos agrícolas que se encuentran desgastados, desmineralizados y erosionados por las diferentes condiciones de explotación a los que ha sido sometidos a lo largo del tiempo.

Otro de los problemas que genera la ausencia de Silicio en la agricultura es que las plantas que se desarrollan si estos elementos son débiles estructuralmente, es decir que los cultivos se vuelven susceptibles al ataque de plagas y se ven fuertemente influenciadas por las variaciones de las condiciones medio ambientales.

1.3. Justificación

En el Ecuador el desconocimiento o el no uso del Silicio, es uno de los temas que se lo considera como una situación desfavorable para la agricultura; a este elemento se le atribuye como la base principal para la producción de los diferentes cultivos. Su adición es importante debido a que el elemento actúa como mineral multifuncional y, potencializa la disponibilidad de nutrientes almacenados en el suelo, y los vuelve viables para la nutrición de las plantas, además actúa como desintoxicante de suelos con problemas de acumulación de metales pesados como Hierro, Aluminio, Cadmio, entre otros; y es por eso que el presente trabajo pone en conocimiento los múltiples beneficios que ofrece el Silicio dentro de la agricultura en general.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

- Establecer la importancia del Silicio como mineral multifuncional en la agricultura.

1.4.2. Objetivos Específicos:

- Identificar las principales funciones del Silicio en las plantas.
- Generar información técnica sobre los efectos del Silicio en el sistema suelo, planta y ambiente.

1.5. Fundamentación teórica

1.5.1. ¿Qué es la Agricultura?

La agricultura es la actividad que comprende todo un conjunto de acciones humanas que transforma el medio ambiente natural, con el fin de hacerlo más apto para el crecimiento de las siembras. Es el arte de cultivar la tierra, refiriéndose a los diferentes trabajos de tratamientos del suelo y cultivo de vegetales, normalmente con fines alimenticios, o a los trabajos de explotación del suelo o de los recursos que éste origina en forma natural o por la acción del hombre: cereales, frutas, hortalizas, pastos, forrajes, entre otros. Es una actividad de gran importancia estratégica como base fundamental para el desarrollo autosuficiente y de la riqueza de los países (R. Villa, 2016).

1.5.2. Importancia del Silicio en la Agricultura

El Silicio (Si) como mineral multifuncional en la agricultura, dentro del sistema suelo, planta y ambiente potencia la disponibilidad de nutrientes almacenados en el suelo y los vuelve viables para la nutrición de las plantas; en cuanto a los metales pesados, el Si es un desintoxicante de suelos con problemas de acumulación de éstos, ya sea por elementos como el Hierro, Aluminio, Cadmio, entre otros. Respecto a las plantas, el Si actúa como un catalizador de procesos naturales tales como nutrición, autodefensas y buen desarrollo (Ed Bloodnick, 2018)

El Silicio tiene una gran afinidad con el Oxígeno (O) y el gas carbónico (CO) de modo que los silicatos pueden contribuir a atrapar el CO₂ de la atmósfera y el producido en el suelo, reduciendo el impacto ambiental. Este es un asunto muy importante del contexto global del cambio climático en el que el incremento de las concentraciones de CO₂ en la atmósfera es un problema serio que influye en el calentamiento global. De esta manera el Si aporta para logra una agricultura amigable con el medio ambiente (Mejisulfatos, 2014).

Estudios científicos demuestran que el Silicio naturalmente formado como mineral y finamente pulverizado, promueve la asimilación de fósforo en las plantas, genera un mayor volumen de raíces, fortalece la planta haciendo que crezca con una mayor exposición de las hojas a la luz solar lo cual facilita la fotosíntesis, mejora la sanidad de la planta debido a que incrementa la resistencia a insectos fitófagos, disminuye el stress por sequía y salinidad; todo esto, tiene como resultado un significativo incremento en la productividad de los cultivos y mayores beneficios para el agricultor (AGROSILICIUM, 2017).

El mismo autor menciona que, se pueden identificar como efectos y beneficios del Silicio, la mejora de las condiciones físico-químico del suelo, restaura la degradación de estos e incrementa su nivel de fertilidad para la producción agrícola. En lo que refiere a las plantas, incrementa la productividad y calidad de las cosechas agrícolas.

El silicio ha sido demostrado como un supresor de varias enfermedades foliares y radiculares en dicotiledóneas y monocotiledóneas. Esta supresión ha sido eficaz no solo contra las enfermedades fúngicas, sino con las provocadas por bacterias, nematodos y virus. (López, 2013)

Los productos de Silicio ayudan a las plantas a superar estrés biótico y abiótico; vienen del segundo elemento más abundante sobre la corteza de la tierra luego del oxígeno, es considerado un elemento benéfico para el desarrollo y crecimiento de las plantas (Redagricola, 2017).

El Silicio parece afectar a un número de componentes de resistencia de la planta huésped que incluye el retraso de la incubación y periodo de latencia, tamaño de la lesión,

y el número de lesiones. Posteriormente el progreso de la enfermedad y/o al final la severidad de la enfermedad se reduce drásticamente, y la resistencia de los cultivares susceptibles se ve aumentando a casi el mismo nivel que aquellos con resistencia completa o parcial. (López, 2013)

El Si puede incluso suprimir enfermedades de las plantas tan eficazmente como un funguicida. A medida que la concentración de Si (insoluble o soluble) aumenta en el tejido vegetal, las supresiones de enfermedades de las plantas mejoran en gran medida. Además, los suministros de Si a la planta debe ser continuos o los efectos supresores de la enfermedad se reducen o no existen (Lawrence, 2017).

De acuerdo a los diversos estudios y ensayos relacionados con el Silicio, se han propuesto dos hipótesis para explicar cómo el Si aumenta la resistencia de la planta contra la infección por patógenos. **1.-** la capa de Si insoluble se deposita en las células epidérmicas impidiendo la penetración por el patógeno (barrera mecánica), **2.-** que el Si soluble afecta a la respuesta de la planta a nivel bioquímico y molecular. Para esta última hipótesis, un sinnúmero de estudios ha demostrado aumentos en compuestos defensivos de plantas, tales como: compuestos fenólicos, fitoalexinas y proteínas de resistencia de plantas. (López, 2013)

1.5.3. Uso del Silicio en la agricultura.

El Si en la agricultura es considerado como el mineral más usado para controlar plagas, incrementar la productividad y mejorar la calidad de productos agrícolas (Pesquisa, 2007).

Según Parménides (2012): “El silicio (Si), base de mayoría de las arcillas, es el segundo elemento más abundante en la corteza terrestre después del oxígeno, sin embargo, gran parte es inerte e insoluble como el cuarzo ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) y en arena”.

Pero en la corteza terrestre se encuentran formas biogeoquímicas activas de silicio como las derivadas del ácido silícico; ortosilícico, (H_4SiO_4) y metasilícico, (H_2SiO_3); formas que pueden ser absorbidas y asimiladas por las plantas desde la solución de suelos (Quero, 2008).

Este elemento en el tejido vegetal de la mayoría de las plantas está presente en cantidades similares a los niveles de Calcio (Ca), Magnesio (Mg) y Fósforo (P). No obstante que el silicio no se considera dentro de los 16 elementos esenciales para la nutrición, tiene una acción dinámica en el sistema agua-suelo-planta, estimándose que anualmente se remueven del suelo un promedio de 400 kilos por hectárea, ya que se encuentra presente de manera soluble y sólida en los diferentes tejidos de la planta, especialmente, formando parte de las células que componen el sistema tegumentario. En las hojas, dependiendo de las condiciones bióticas y abióticas del medio ambiente, por lo que su concentración es variable durante el desarrollo del cultivo, observándose concentraciones de 200 a 7 000 mg/kg, mientras que en el suelo la concentración de silicio soluble está presente entre 5 y 250 mg/kg (Furcal P. , 2012).

Los beneficios que pueden ser alcanzados en el suelo con la presencia de silicio, es la restauración de la fertilidad de los suelos a través del tiempo, al elevar la capacidad de intercambio catiónico, mejorar el contenido de calcio, magnesio, fósforo, entre otros elementos. Las variaciones en la concentración del silicio, también tienen efectos sobre otros procesos del suelo como en la toxicidad por hierro y manganeso en el cultivo de arroz, por ejemplo (Quero, 2008).

La razón más acertada es que la presencia de silicio en las plantas, hace que de las hojas y tallos se incremente la cantidad de oxígeno que impulsan las plantas hacia la raíz, de este modo llega al parénquima oxidando la rizósfera, logrando que el Fe y Mn reducido (producto de agua en cultivo de arroz) se oxide, evitando una excesiva toma de estos elementos por parte de las plantas (Furcal P. , 2012).

Desde el punto de vista de la nutrición vegetal, su absorción no suele presentar problemas en sistemas extensivos ya que es el segundo elemento en abundancia de la corteza terrestre, donde aparece en forma de Sílice (SiO_2) y como Silicatos diversos. No obstante, las formas de Silicio en el suelo no son fácilmente absorbibles por las plantas y sólo una pequeña proporción es absorbida como Ácido Monosilícico (H_4SiO_2) (Sephur, 2009).

El mismo autor indica que, el ácido monosilícico puede actuar como regulador de la absorción del nitrato por la planta, por tanto, cuando un suelo es bajo en nitratos, la aplicación de Silicio aumenta la concentración del nitrato en la planta. Por el contrario, cuando un suelo contiene nitratos en abundancia, la nutrición óptima en Silicio da lugar

a reducir la acumulación del nitrato en las frutas. Además, la fertilización con Silicio puede aumentar la absorción de fósforo en suelos arenosos ya que no sólo fijan el fósforo, sino que lo desbloquea y lo pone en formas disponibles para poder ser asimilado por las plantas (Sephu, 2009).

Dentro de la agricultura, el Silicio ha demostrado beneficiar de gran manera a varios cultivos, entre ellos tenemos el arroz (*Oryza sativa* L). El Silicio (SiO_2), no está clasificado como un microelemento esencial en la agricultura. Por ejemplo, un buen cultivo de arroz toma del terreno de 500 a 1 000 kg/ha de Óxido de Silicio (SiO_2) en cada cosecha, e incluso más. El Silicio es absorbido por las plantas en forma de Ácido Monosilícico $\text{Si}(\text{OH})_4$ y transportado igualmente, a través de la xilema, siendo su distribución en la planta dependiente de los órganos involucrados. Después de solidificarse debajo de la cutícula, sobre las células epidérmicas, el Silicio se vuelve inmóvil dentro de la planta de arroz. Los Silicatos se encuentran almacenados en la paja, la cáscara del grano y en los propios granos de arroz (Sephu, 2012).

El Silicio, tiene varias funciones claramente demostradas en el crecimiento de las plantas de arroz, mencionamos algunas:

- Una buena absorción de Silicio protege las plantas contra la infección de hongos e insectos, y una buena capa cuticular de Silicio sirve como barrera contra hongos, insectos y ácaros.
- Una mayor absorción de Silicio mantiene las hojas erectas y, por tanto, promueve una mejor fotosíntesis en los distintos doseles de la hoja y, en consecuencia, mejora los rendimientos y producción del cultivo de arroz (López, 2013).

Cuando el Silicio se acumula en las paredes de las células epidérmicas, parece que hace disminuir la transpiración, así como las infecciones causadas por hongos. En las hojas de las plantas el Silicio se deposita debajo de la cutícula y sobre las células epidérmicas, esta capa limita la pérdida de agua por las hojas y dificulta la penetración y desarrollo de hifas de hongos (Sociedad Española de productos humicos, 2012).

La absorción de (Si) es mejor que la absorción de nitrógeno (N) en la planta de arroz, el Si es más eficiente que el (N) al depositarse en las raíces donde forma un gel y

esta es la razón de la rigidez de los tallos; además, se deposita en las hojas siendo esta la razón de la erguides de las hojas, como dureza de las panículas y granos de arroz (Larena, 2017).

La resistencia de las plantas a las enfermedades se puede aumentar mediante la formación de barreras mecánicas o cambiando las respuestas químicas de la planta al ataque del parásito mediante el aumento de la síntesis de toxinas que pueden actuar como sustancias inhibidoras o repelentes. Barreras mecánicas incluyen cambios en la anatomía, como por ejemplo células de la epidermis más gruesa y un mayor grado de lignificación y silicificación acumulación de silicio (Oscar Fontão, 2010).

La sílice amorfa u "opal", ubicada en la pared celular tiene un marcado efecto sobre las propiedades físicas de la misma. Al acumularse en las células en la capa epidérmica el silicio puede ser una barrera física estable en la penetración de algunos tipos de hongos, principalmente en hierbas. En este sentido, el papel del silicio integrado en la pared celular es similar al de la lignina, un componente estructural que es resistente a la compresión (Filho, s.f.).

El silicio, es considerado el segundo elemento químico más abundante sobre la tierra y debido a sus propiedades, ha sido tratado y procesado para emplearse en diversos sectores industriales. Uno de ellos es la agricultura, donde se utiliza para incrementar la producción, calidad y resistencia de las plantas (Apsa, 2018).

En el cultivo del trigo (*Triticum sativum* Lam.) se informa la disminución de las poblaciones de áfidos *Metopolophium dirhodum* (Walker) y *Sitobion avenae* (Hemiptera: Aphididae) después de la aplicación foliar de silicio (1 % Na_2SiO_2), no sólo como resultado de la deposición de silicio en las células epidérmicas, sino también debido a la mayor solubilidad del mismo dentro de la hoja (Apsa, 2018).

Otros autores encontraron que la fertilización de silicio induce resistencia en las plantas de trigo contra (*S. graminum*), ya que este elemento produce el aumento de la síntesis de compuestos de defensa de la planta de trigo como la peroxidasa, la polifenol oxidasa y fenilalanina amonio liasa, la reducción de la tasa de crecimiento y también la

preferencia de este insecto plaga en plantas tratadas con este mineral. En otra investigación se verificó que las plantas de trigo tratadas con silicio (ácido silícico 1 %) fueron resistentes al pulgón verde (Fernando Diaz, 2015).

El mismo autor indica que, trabajos realizados en sorgo (*Sorghum bicolor L. Moench*) evaluaron el efecto de silicio como un inductor de la resistencia al pulgón verde, (*Schizaphis graminum* Rond) (Homóptera: Aphididae), obteniendo como resultado, la reducción de la preferencia y de la reproducción del pulgón verde, constatado por otros autores que informaron resultados satisfactorios con el empleo del silicio para conferir resistencia a este cultivo frente a (*S. graminum*) (Fernando Diaz, 2015).

Varios trabajos aparecen en la literatura relacionados con el silicio y la resistencia a las plagas en papa (*Solanum tuberosum L.*) y otras solanáceas. Para el áfido *Myzus persicae* (Sulzer), importante plaga de la papa por ser un vector de virus, además de causar daño directo por la cantidad de savia extraída, se realizó un estudio para comprobar el efecto de silicio (ácido silícico al 1 %) como inductor de resistencia a este insecto. La aplicación de silicio no afectó a la preferencia de los áfidos; sin embargo, disminuyó la fertilidad y la tasa de crecimiento de la población de insectos. El porcentaje de lignina aumentó en las hojas de las plantas a las que se le añadió Si al suelo o foliar, mientras que el porcentaje de taninos aumentó solo en las plantas que recibieron el Si por ambas vías (Filho, s.f.).

La mortalidad y el número de lesiones de las ninfas de *Thrips palmi* Karny en las hojas de plantas de berenjena (*Solanum melongena L.*), fueron evaluadas después de 3, 6, 9 y 12 aplicaciones foliares de silicato de calcio, el cual disminuyó tanto la población de *T. palmi* como los daños producidos por las ninfas, mostrando un posible aumento de la resistencia de las plantas de berenjena a esa plaga (Fernando Diaz, 2015).

Díaz también indica que: El thrips del plateado, *Enneothrips flavens* Moulton, se considera una de las principales plagas del maní (*Arachis hypogaea L.*) en varios países. En un trabajo donde se evaluó el efecto del silicio sobre la población de este insecto fue comprobado que una aplicación de silicio aumenta la protección a las plantas de maní, ya que reduce el número de adultos y ninfas del insecto.

La estrategia de tratamiento de Si combinado con lesión mecánica artificial afectó la palatabilidad de la hoja de girasol (*Helianthus annuus* L.) y el desarrollo de *Chlosyne lacinia saundersii* (Lepidóptera: *Nymphalidae*), lo cual confiere resistencia a las plantas como consecuencia de la acumulación de Si (Fernando Diaz, 2015).

1.5.4. Efectos y beneficios del Silicio en el sistema: suelo – planta – ambiente

El Silicio es un elemento importante en el sistema Suelo - Planta - Ambiente, en donde se ha demostrado que:

En el Suelo:

La presencia de ácido silícico en el suelo depende de la acción de enzimas y ácidos producidos por la actividad microbiológica que ocurre en la materia orgánica, por lo tanto, en suelos con bajo contenido de materia orgánica su presencia es escasa. Sin embargo, mencionamos algunos beneficios:

- Mejora las condiciones físico – químicas
- El Silicio restaura la degradación del suelo e incrementa su nivel de fertilidad para la producción agrícola; la aplicación de fertilizantes minerales con Silicio es obligatoria para una agricultura sustentable y altamente efectiva en cualquier tipo de suelo.
- Es importante mencionar que la disponibilidad de agua y dióxido de carbono son indispensables para aumentar la disponibilidad de ácido orto silícico soluble en el suelo, mejorando significativamente la CIC y movilización de minerales como el Fósforo, Calcio, Magnesio, Potasio, Hierro, Nitrógeno y Zinc.
- La aplicación de Silicio mineral al suelo incrementa la resistencia de éste contra la erosión del viento y agua.
- La fertilización con minerales a base de Silicio activo, permite rehabilitar suelos por sales, compactación y bajos niveles de pH, además de incrementar la resistencia en las plantas a la sequía.
- El Silicio neutraliza la toxicidad causada por los metales pesados como: Manganeso, Hierro, Cadmio, Arsénico; en cuanto al Aluminio en suelos ácidos, mucho mejor que el encalado, mejorando también la nutrición del Fosforo, Hierro Potasio y Zinc; ya que el Silicio activa el intercambio catiónico y la movilización de nutrientes. La fertilización con minerales ricos en Silicio promueve la

transformación de Fosforo no disponible para la planta en forma asimilable, previniendo la transformación de fertilizantes ricos en Fosforo en compuestos móviles (Agrinova Science, s.f.).

En las Plantas:

Después de la aplicación con fuentes de silicio sus beneficios se observan en el desarrollo del cultivo como: coloración uniforme, vigor y una mayor resistencia a plagas y enfermedades. (Cárcamo, 2017)

Una planta bien nutrida posee varias ventajas en cuanto a su resistencia a las plagas con relación a una planta con deficiencia nutricional, y dentro de los elementos minerales, el silicio es considerado un elemento benéfico para las plantas pues contribuye a la reducción de la intensidad del ataque del agente nocivo en varios cultivos (González, 2015).

Mencionamos algunos beneficios:

- Incrementa la productividad y calidad de las cosechas agrícolas como arroz, trigo, aguacate, café, maíz, tomate, pepino, caña de azúcar y palma aceitera, entre otros, ya que el suelo tratado con sustancias con silicio optimiza la fertilidad a través de la mejora de retención y disponibilidad de agua, sus propiedades físicas y químicas, y de mantener los nutrientes de forma disponibles para las plantas.
- Mejora la exposición de las hojas a la luz del sol, promoviendo la fotosíntesis
- Promueve el crecimiento erecto de los tallos
- Efectos sobre actividades enzimáticas
- Promueve la formación de nódulos en leguminosas
- Promueve la resistencia al estrés de distintos tipos (bióticos y abióticos)
- Mejora la resistencia a las enfermedades y plagas
- Ayuda a regular el uso del agua en las plantas
- Disminuye el estrés por sequía y salinidad
- Aumenta la resistencia de las plantas a altas y bajas temperaturas
- El Silicio ayuda al sistema radicular de las plantas y puede incrementar la masa de raíces de un 50 a 200 %, por lo que también estimula la generación de un mayor número de tallos por semilla. (Mejisulfato, 2014)

El silicio parece beneficiar a ciertas plantas cuando están bajo estrés. Se ha comprobado que mejora la tolerancia a las sequías y retrasa la defoliación prematura de algunos cultivos que no se riegan y que puede mejorar la capacidad de resistencia de las plantas a las toxicidades de micronutrientes y de otros metales (por ejemplo, aluminio, cobre, hierro, manganeso, zinc, etc.) (Ed Bloodnick, 2018).

En el Ambiente:

En lo que refiere al medio ambiente, el Silicio tiene una gran afinidad con el Oxígeno (O) y el gas carbónico (CO₂), de modo que los silicatos pueden contribuir a atrapar el CO₂ de la atmósfera y el producido en el suelo, reduciendo el impacto ambiental. (Mejisulfato, 2014)

Con esta acción del Silicio, las condiciones ambientales podrían mejorar, de tal forma que, en cuanto a la agricultura, mejoraría el sistema en donde se desarrollan los cultivos, es decir, en el sistema suelo, planta y ambiente.

1.5.5. Fuente natural de Silicio

El elemento Silicio lo podemos encontrar de forma natural y en abundancia en lo que se denomina como la ceniza de la cascarilla del arroz. Tanto la cascarilla como la ceniza tienen múltiples beneficios, como, por ejemplo, la cascarilla de arroz sirve como uno de los materiales para elaborar sustratos, elaboración de ladrillos, es utilizado para las camas de los galpones avícolas; y en cuanto a la ceniza, tiene utilidades muy importantes dentro de la agricultura como el de que es un elemento transversal para la producción de cultivos, ya que el Silicio contenido en la ceniza cumple un papel multifuncional como se ha explicado previamente (Valero, 2016).

En la siguiente tabla se mostrarán los porcentajes de elementos minerales que contiene la cascarilla de arroz y la ceniza, y dentro de ellos, el elemento Silicio.

Tabla 1. Composición Química de la Cascarilla de Arroz y de las Cenizas de la Cascarilla de Arroz

CASCARILLA DE ARROZ		CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ	
Componente	%	Componente	%
Carbono	39,1	Ceniza de Sílice(SiO ₂)	94,1
Hidrógeno	5,2	Oxido de Calcio (CaO)	0,55
Nitrógeno	0,6	Oxido de magnesio (MgO)	0,95
Oxígeno	37,2	Oxido de Potasio (K ₂ O)	2,10
Azufre	0,1	Oxido de Sodio(Na ₂ O)	0,11
Cenizas	17,8	Sulfato	0,06
		Cloro	0,05
		Oxido de titanio (TiO ₂)	0,05
		Oxido de Aluminio (Al ₂ O ₃)	0,12
		Otros componentes (P ₂ O ₅ , F ₂ O ₃)	1,82
Total	100,0	Total	100,0

Fi
cc

2. Peña S, Zambrano G. Hormigón Celular con la Utilización de Materiales Locales. Tesis De Grado. Escuela Superior Politécnica del Litoral. 2001

En el siguiente cuadro se puede observar la producción de ceniza de cascarilla de arroz en el Ecuador, en base a las Has cultivadas del cultivo:

PRODUCCION DE CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ EN EL ECUADOR					
Has/arroz/año	Productividad/Ha/arroz/ cascara (qq)	Prod.total/arroz/cascara (qq)	Prod.total/cascarilla/arroz (20%)	Produccion/Ceniza/qq/ cascarilla	Prod.total/ceniza
380 000	88	33' 440 000	6' 688 000	0,178	1' 190 464

Fuente: Autor

1.6. Hipótesis

H0: El uso del elemento Silicio en la agricultura, no permitirá el aumento de los rendimientos ni mejorará la calidad de las cosechas.

Ha: El uso del elemento Silicio en la agricultura, permitirá el aumento de los rendimientos y mejorará la calidad de las cosechas.

1.7. Metodología de la investigación

El presente trabajo de estudio, consistió en la recolección de información, para luego describir, analizar e interpretar sistemáticamente las características del fenómeno estudiado con base en la realidad del escenario planteado. En dicha investigación se utilizaron diferentes bases teóricas y científicas, manifestadas por varios autores (páginas web, tesis, artículos, etc.) en referencia al tema de estudio, lo que permitió fundamentar los objetivos planteados.

CAPITULO II

RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Situaciones detectadas

El bajo rendimiento de los diferentes cultivos se ve sujeto a que ciertos elementos esenciales para la nutrición de las plantas, como el silicio, no está siendo utilizado en la agricultura.

En una investigación realizada para evaluar el uso potencial del silicio como una barrera física que ayudara a reducir el uso de plaguicidas en el manejo integrado de la polilla de las crucíferas *Plutella xylostella* (L.), se utilizó escoria silicatada (agro silicio) con un 23 % de Si como fuente del elemento en los tratamientos. Se evidenció un efecto significativo de los tratamientos sobre las variables evaluadas observándose mayor atracción y mortalidad de las larvas en el tratamiento con 12 kg ha⁻¹ de la escoria. El Silicio alteró la anatomía de la mandíbula, causando un desgaste, que pudo haber obstaculizado los hábitos de alimentación del insecto, causando una elevada mortalidad (Fernando Diaz, 2015).

La disponibilidad de los macro y micronutrientes en el suelo se ven influenciadas directamente por el bloqueo debido al exceso de uno o más elementos, los cuales con el uso del silicio podrían ser desbloqueados.

El Silicio cumple muchas funciones importantes dentro de la agricultura, dentro de ellas tenemos que éste elemento refuerza las paredes celulares de las hojas de las plantas, induciendo así a que generen una barrera mecánica contra los ataques de insectos plaga y enfermedades.

Las informaciones consultadas en los diferentes sitios web se encuentran muy dispersas, por lo que se sugiere realizar investigaciones para consolidar dicha investigación.

2.2. Soluciones planteadas

Es necesario dar a conocer a los agricultores dedicados a la producción de los diferentes cultivos, cuáles son las ventajas que ofrece el Silicio en cuanto a la nutrición de las plantas.

Se debe transmitir mediante materiales didácticos que contengan información acerca de cómo el Silicio actúa en el proceso de desbloqueo de nutrientes que están en exceso en el suelo.

Se debe realizar capacitaciones para fortalecer los conocimientos previamente compartidos de cómo el Silicio actúa a nivel de partículas, como un descontaminante y desintoxicante de los gases emitidos al ambiente por parte de las industrias y otros agentes contaminantes.

2.3. Conclusiones

- La utilización del Silicio dentro del proceso de producción de cultivos es fundamental, ya que a éste elemento lo consideramos como un elemento transversal en la agricultura.
- El Silicio relacionándolo con el medio ambiente, actúa como un descontaminante y desintoxicante de gases de efecto invernadero.
- El elemento Silicio lo podemos encontrar de manera abundante y natural en las cenizas del tamo de arroz, la cual contiene un 94,1 % del elemento.

2.4. Recomendaciones

- Capacitar a los agricultores sobre la importancia que tiene la adición del Silicio en el proceso de producción de cultivos.
- Se recomienda adicionar el elemento Silicio contenido en la ceniza de cascarilla de arroz para aprovechar los múltiples beneficios que éste ofrece, y así corroborar las propiedades reflejadas en las plantas.
- Impulsar el interés en los agricultores para la utilización adecuada del Silicio; y de esta manera contribuir a una agricultura amigable con el medio ambiente.

Bibliografía

- Agrinova Science. (s.f.). Agrinova Science. Obtenido de <https://agrinova.com/noticias/el-silicio-en-agricultura/>
- AGROSILICIUM. (2017). Agrosilicium. Obtenido de <http://mejisulfatos.com/>
- Apsa. (2018). Obtenido de <http://www.atsa.cl/como-utilizar-el-silicio-en-el-cultivo/>
- Cárcamo, M. d. (2017). Obtenido de <http://fusades.org/lo-ultimo/blog/importancia-del-silicio-en-el-suelo-y-de-su-cuantificacion>
- Ed Bloodnick. (2018). Promix. Obtenido de <https://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/rol-del-silicio-en-el-cultivo-de-plantas/>
- ESPAM. (2017). Obtenido de <http://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/706/1/TAE92.pdf>
- Fernando Diaz. (2015). Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362015000500002
- Filgueiras, O. (2007). Silicio en la Agricultura. Pesquisa FAPESP.
- Filho, O. F. (s.f.). Diatom. Obtenido de <http://www.diatom.com.br/ES/noticias/item/articulo-el-silicio-y-la-resistencia-de-las-plantas-al-ataque-de-hongos-patogenos>
- Furcal, P. (2012). Instituto Tecnológico Costa Rica. Obtenido de https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/2855/Informe_Final.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Furcal, P. (2012). Repositorio Tec. Obtenido de https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/2855/Informe_Final.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- González, L. C. (2015). Scielo. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362015000500002

<http://revistapesquisa.fapesp.br/es/2007/10/01/silicio-en-la-agricultura/>. (s.f.). Obtenido de <http://revistapesquisa.fapesp.br/es/2007/10/01/silicio-en-la-agricultura/>.

Larena, A. (2017). El silicio y su importancia.

Lawrence. (2017). SlideShare. Obtenido de <https://es.slideshare.net/OrlandoSnchezV/beneficios-del-silicio-en-la-agricultura>

López, N. R. (29 de noviembre de 2013). Slideshare. Obtenido de <https://es.slideshare.net/OrlandoSnchezV/beneficios-del-silicio-en-la-agricultura>

Mejisulfato. (11 de agosto de 2014). Youtube. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=49vri0qvNgI>

Mejisulfato. (2014). Youtube. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=49vri0qvNgI>

Mejisulfatos. (11 de agosto de 2014). Youtube. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=49vri0qvNgI>

Oscar Fontão. (2010). Diatom. Obtenido de <http://www.diatom.com.br/es-ES/noticias/item/articulo-el-silicio-y-la-resistencia-de-las-plantas-al-ataque-de-hongos-patogenos>

Pesquisa. (2007). Obtenido de <https://revistapesquisa.fapesp.br/es/2007/10/01/silicio-en-la-agricultura/>

Quero. (2008). Obtenido de <http://loquequero.com/potal>

R. Villa. (2016). Obra propia. Obtenido de www.obrapropia.com/viewinteriorobra.ashx?idObra=56

Redagricola. (2017). Obtenido de <http://www.redagricola.com/cl/productos-de-silicio-ayudan-las-plantas/>

Redagrícola. (Marzo de 2017). Agtech Latam. Obtenido de <http://www.redagricola.com/cl/productos-de-silicio-ayudan-las-plantas/>

Sephu. (2009). Obtenido de https://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos_y_documentos/81972/028---15.05.09---El-Silicio-como-fertilizante-y-fungicida.pdf

Sephu. (2012). Sephu. Obtenido de
https://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos_y_documentos/81972/074---03.08.12---El-Silicio-en-Arroz.pdf

Sociedad Española de productos humicos. (2012). Obtenido de El-Silicio-en-Arroz.pdf

Valero, P. (2016). Fuente natural del Silicio.

Wild. (1992). Mundi-Prensa. Obtenido de
https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/2855/Informe_Final.pdf?sequence=1&isAllowed=y