



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE CIENCIAS

AGROPECUARIAS

CARRERA DE AGRONOMÍA



**“Evaluación de productos a base de silicio en el comportamiento
agronómico del cultivo de brócoli (*Brassica oleracea* Var.
Avenger)”**

**DOCUMENTO FINAL DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN COMO
REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE INGENIERO AGRÓNOMO**

AUTOR:

Estuardo Efrain Atencio Orbe

TUTOR:

Ing. Marco Pérez, PhD.

CEVALLOS, 2025

**“Evaluación de productos a base de silicio en el comportamiento agronómico del cultivo
de brócoli (*Brassica oleracea* Var. Avenger)”**

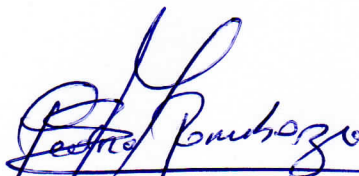
REVISADO POR



.....
Ing. Marco Oswaldo Pérez Salinas, PhD.

TUTOR

APROBADO POR LOS MIEMBROS DE CALIFICACIÓN

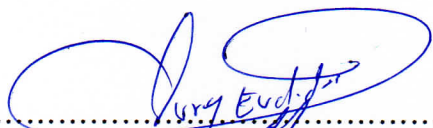


.....
Ing. Pedro Pablo Pomboza, PhD.

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE CALIFICACIÓN

Fecha

.....07/02/2025



.....
Ing. Segundo Euclides Curay Quispe, PhD.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE CALIFICACIÓN

.....07/02/2025



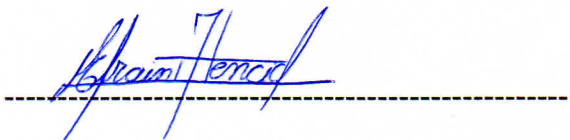
.....
Ing. Mg. José Hernán Zurita Vásquez

MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE CALIFICACIÓN

.....07/02/2025

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

El suscrito, **ESTUARDO EFRAIN ATENCIO ORBE**, portador de cédula de ciudadanía número: **0502939200**, libre y voluntariamente declaro que el Informe Final del Proyecto de investigación titulado: “**Evaluación de productos a base de silicio en el comportamiento agronómico del cultivo de brócoli (*Brassica oleracea* Var. Avenger)**” es original, auténtico y personal. En tal virtud declaro que el contenido es de mi sola responsabilidad legal y académica, excepto donde se indican las fuentes de información consultadas.



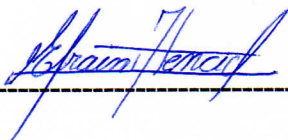
ESTUARDO EFRAIN ATENCIO ORBE

DERECHO DE AUTOR

Al presentar este Informe Final del Proyecto de Investigación titulado: **“Evaluación de productos a base de silicio en el comportamiento agronómico del cultivo de brócoli (*Brassica oleracea* Var. Avenger)”** como uno de los requisitos previos para la obtención del título de grado de Ingeniero Agrónomo, en la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Técnica de Ambato, autorizo a la Biblioteca de la Facultad, para que este documento esté disponible para su lectura, según las normas de la Universidad.

Estoy de acuerdo en que se realice cualquier copia de este Informe Final, dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica potencial.

Sin perjuicio de ejercer mi derecho de autor, autorizo a la Universidad Técnica de Ambato la publicación de este Informe Final, o de parte de él.



ESTUARDO EFRAIN ATENCIO ORBE

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación se lo dedico a Dios quien fue mi principal compañero desde el primer día, por su fortaleza al colocarme en este camino y permitiéndome crecer tanto a nivel académico como personal, alejando de mí el peligro durante todo este trayecto, llenándome de inteligencia para culminar con éxito la carrera y sobre todo me enseñó a no perder la Fe.

A mis queridos padres Estuardo Atencio y Yolanda Orbe, que gracias a su esfuerzo y apoyo incondicional brindado en todo ámbito de inicio a fin pude llegar a cumplir esta meta, gracias a sus valores inculcados y puestos en práctica. Gracias por poner mis necesidades por encima de las suyas y hacerme saber que la educación, la perseverancia y la pasión por lo que hago es importante.

A mi hermana que, gracias a su ejemplo y sus consejos me permitieron no decaer durante todo mi trayecto y formación académica para llegar a ser un profesional y culminar una etapa muy importante en mi vida.

A mis ángeles Inés, Ángel y Efraín; mis abuelos por otorgarme unos padres excepcionales, sé que celebran desde el cielo cada uno de mis logros y están orgullosos de mí.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por brindarme la salud, vida y sabiduría durante mi vida universitaria, guiando mis pasos y llenándome de fuerza para superar cada obstáculo presentado.

A mi familia que gracias a su sacrificio hicieron que mi esfuerzo valga la pena.

A la Universidad Técnica de Ambato, a la Facultad de Ciencias Agropecuarias y en especial a la carrera de Agronomía por abrirme las puertas al conocimiento y permitirme alcanzar mis metas, brindándome amistades y oportunidades que me ayudaron a crecer como persona.

A mi enamorada por su apoyo constante en momentos de incertidumbre, permitiéndome mantenerme enfocado en mis estudios.

De manera especial, agradezco a mi tutor, el Ing. Marco Pérez, PhD, cuya orientación y conocimientos especializados fueron fundamentales para la culminación de este trabajo.

Gracias a todos quienes contribuyeron de alguna manera a la culminación de este trabajo.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
MARCO TEÓRICO	2
Antecedentes investigativos.....	2
1.1. Categorías fundamentales	5
1.1.1. Productos utilizados en el ensayo.....	5
Silikon	5
ProduSil Gold.....	6
1.1.2. Propiedades de la composición de las diatomeas	6
1.1.3. Otros usos en la agricultura	6
1.1.4. Efectos del silicio en las plantas.....	7
1.2. Cultivo de brócoli	7
1.2.1. Origen.....	7
1.2.2. Descripción variedad Avenger	8
1.2.3. Morfología.....	9
1.2.4. Características botánicas	9
1.3. Objetivos.....	10
Objetivo general.....	10
Objetivos específicos	10
METODOLOGÍA.....	11
2.1. Ubicación del estudio.....	11
2.2. Caracterización del lugar	11
2.3. Equipos y materiales.....	11
2.3.1. Equipos.....	11
2.3.2. Materiales y herramientas	12
2.3.3. Materiales de oficina	12
2.3.4. Insumos	13
2.4. Factores de estudio.....	13
2.4.1. Factor 1.....	13
2.4.2. Factor 2.....	13

Métodos de aplicación	13
2.4.3. Tratamientos.....	14
2.4.4. Croquis de la unidad experimental.....	14
2.4.5. Ensayo	15
2.6. Manejo del experimento	15
2.6.1. Preparación del terreno.....	15
2.6.2. Desinfección del suelo	16
2.6.3. Siembra.....	16
2.6.4. Riego	16
2.6.5. Fertilización.....	17
2.6.6. Plagas y enfermedades	17
2.6.7. Cosecha	18
2.6.8. Postcosecha	19
2.6.10. Aplicación de los tratamientos	19
2.7. Tamaño de la muestra	20
2.8. Variables respuesta	20
2.8.1. Altura de la planta	20
2.8.2. Peso de la pella.....	20
2.8.4. Acumulación de Ca/Si en hojas	20
2.8.5. Uniformidad del grano	21
2.8.6. Contenido de Clorofila de la hoja	21
2.9. Diseño experimental	21
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	22
3.1. ALTURA DE LA PLANTA (cm)	22
3.2. PESO DE LA PELLA (g) Y UNIFORMIDAD DEL GRANO.....	23
3.4. ACUMULACIÓN DE CALCIO Y SILICIO EN HOJAS (mg g ⁻¹ DW).....	25
3.5 CONTENIDO DE CLOROFILA DE LA HOJA (SPAD).....	27
3.6 Costos.....	28
Comprobación de la hipótesis.....	29
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	30
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	32
ANEXOS	38

Anexo 1. Altura promedio (cm)	38
Anexo 2. Contenido de clorofila (cm).....	38
Anexo 3: Peso de la pella (g).....	39
Anexo 4. Compactación de la pella	39
Anexo 5. Desinfección de plántulas	40
Anexo 6. Formación de camas y siembra de plántulas.....	40
Anexo 7. Distancia de siembra entre planta e hilera	41
Anexo 8. Colocación de los letreros	41
Anexo 9. Primera aplicación de los productos a base de silicio.....	42
Anexo 10. Productos ocupados para las aplicaciones	42
Anexo 11. Toma de datos de altura a los 30 días	43
Anexo 12. Toma de datos de Clorofila a los 30 días.....	43
Anexo 13. Fertilización edáfica.....	44
Anexo 14. Segunda aplicación de los productos a base de silicio.....	44
Anexo 15. Toma de datos de altura a los 60 días	45
Anexo 16. Toma de datos de Clorofila a los 60 días.....	45
Anexo 17. Formación de las primeras pellas.....	46
Anexo 18. Tercera aplicación de los productos a base de silicio	46
Anexo 19. Toma de datos de altura a los 90 días	47
Anexo 20. Toma de datos de Clorofila a los 90 días.....	47
Anexo 21. Pesaje de las pellas.....	48

Anexo 22. Niveles de compactación	48
Anexo 23. Gráfico de barras de altura de la planta (cm).....	49
Anexo 24. Gráfico de barras de peso de la pella (g).....	49
Anexo 25. Gráfico de barras de la uniformidad del grano	50
Anexo 26. Gráfico de barras de contenido de clorofila de las hojas	50

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características del brócoli variedad Avenger.	8
Tabla 2. Clasificación taxonómica del brócoli (<i>Brassica oleracea</i> Var. Avenger).	9
Tabla 3. Simbología de tratamientos	14
Tabla 4. Características del campo experimental.	15
Tabla 5. Plagas del cultivo de brócoli.	17
Tabla 6. Enfermedades del cultivo de brócoli.	18
Tabla 7. Altura de las plantas tomadas a los 30, 60 y 90 días.	22
Tabla 8. Variación del peso de la pella y uniformidad del grano en las plantas de brócoli (<i>Brassica oleracea</i> Var. Avenger) en función a distintos tratamientos.	23
Tabla 9. Variación del contenido de clorofila en las hojas de brócoli (<i>Brassica oleracea</i> Var. Avenger) en función a distintos tratamientos.	27
Tabla 10. Relación Costo - Beneficio.	28

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Acción del silicio en las plantas.....	7
Figura 2. Croquis de la unidad experimental.....	14
Figura 3. Acumulación de Ca y Si en hojas de brócoli.	25

RESUMEN

La presente investigación se realizó en la agrícola María Victoria, en la provincia de Cotopaxi, en el sector Héroes del Cenepa, se evaluó el impacto de dos productos a base de silicio en el comportamiento agronómico del cultivo de brócoli (*Brassica oleracea* Var. Avenger). Los productos utilizados fueron (Produsil Gold con una concentración de 73.69%) y (Silikon con una concentración de 36%), aplicados mediante diferentes métodos (drench, foliar y drench + foliar) a una concentración de 2g/L y 2 ml/L respectivamente. El objetivo principal del estudio fue determinar el producto y método de aplicación más adecuados para mejorar la calidad y el rendimiento del cultivo, especialmente en términos de compactación y peso de las pellas. Las variables de altura y contenido de clorofila se evaluaron cada 30 días, mientras que las variables de peso, uniformidad del grano, y acumulación de calcio y silicio en las hojas fueron evaluadas al final del ciclo del cultivo. Los resultados mostraron que la aplicación de silicio, particularmente con el producto Silikon vía drench + foliar, incrementó significativamente la altura de las plantas con una altura promedio de 64.27 cm; de igual manera aumentó el peso de las pellas obteniendo un peso promedio de 556.89 g. Además, se observó una mayor compactación de las pellas en la mayoría de los resultados, lo que reduce las pérdidas postcosecha. Los análisis de laboratorio confirmaron una sinergia entre el silicio y el calcio, lo que sugiere un efecto positivo en la fisiología de la planta. En conclusión, los resultados obtenidos respaldan la hipótesis de que el silicio, aplicado de manera adecuada, puede mejorar significativamente la calidad y el rendimiento del cultivo de brócoli, convirtiéndolo en una herramienta prometedora para optimizar la producción y reducir las pérdidas postcosecha.

Palabras clave: Silicio, drench, foliar, compactación, postcosecha, sinergia, fisiología.

ABSTRACT

This research was carried out at the María Victoria agricultural farm, in the province of Cotopaxi, in the Héroes del Cenepa sector. The impact of two silicon-based products on the agronomic performance of broccoli (*Brassica oleracea* Var. Avenger) was evaluated. The products used were (Produsil Gold with a concentration of 73.69%) and (Silikon with a concentration of 36%), applied by different methods (drench, foliar and drench + foliar) at a concentration of 2 g/L and 2 ml/L respectively. The main objective of the study was to determine the most suitable product and application method to improve crop quality and yield, especially in terms of compaction and weight of the pellets. The variables of height and chlorophyll content were evaluated every 30 days, while the variables of weight, grain uniformity, and calcium and silicon accumulation in the leaves were evaluated at the end of the crop cycle. The results showed that the application of silicon, particularly with the Silikon product via drench + foliar, significantly increased the height of the plants with an average height of 64.27 cm; it also increased the weight of the pellets, obtaining an average weight of 556.89 g. In addition, greater compaction of the pellets was observed in most of the results, which reduces post-harvest losses. Laboratory analyses confirmed a synergy between silicon and calcium, suggesting a positive effect on plant physiology. In conclusion, the results obtained support the hypothesis that silicon, applied appropriately, can significantly improve the quality and yield of broccoli crops, making it a promising tool to optimize production and reduce post-harvest losses.

Keywords: Silicon, drench, foliar, compaction, post-harvest, synergy, physiology.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El brócoli es un producto demandado por el mercado internacional por décadas. El Ecuador brinda las condiciones necesarias para producir un producto de calidad como la luminosidad y altitud que confieren ventajas insuperables. Desde 1990 los índices de demanda de brócoli crecieron, aumentando la producción en la región andina del Ecuador en su mayoría en la sierra centro, abasteciendo alrededor de cinco agroindustrias transnacionales dedicadas a congelar y exportar el brócoli (Le Gall et al., 2012).

Este tipo de hortaliza impulsa la economía, especialmente en las provincias productoras como Cotopaxi, Chimborazo, Tungurahua, Imbabura y Pichincha, generando numerosos empleos.(Duque & Murillo, 2021).

La sobreexplotación del suelo está comprometiendo los rendimientos del cultivo de brócoli, uno de los principales productos de exportación. La creciente necesidad de enmiendas químicas para satisfacer las demandas nutricionales de este cultivo ha impulsado investigaciones sobre el silicio. Sin embargo, existe una escasez de estudios específicos en crucíferas, optimizar el uso de este elemento representa un desafío clave para desarrollar prácticas agrícolas más sostenibles.

De acuerdo con los datos del Banco Central del Ecuador, las exportaciones de brócoli han mostrado un crecimiento del 4,61% en valor y del 4,34% en volumen si se compara el año 2015 con el 2016, pasando de USD 84.978 a USD 88.900 en valor FOB y de 61.555 a 64.225 toneladas. De acuerdo con el Instituto de Promoción de Exportaciones e Inversiones, Cotopaxi lidera la producción de brócoli en el país con

51.350 toneladas, mientras que Pichincha ocupa el segundo lugar con 11.791 toneladas. (PROECUADOR, 2017).

El cultivo de brócoli se enfrenta a múltiples retos que afectan su rendimiento y calidad. Si bien el silicio ha demostrado ser beneficioso para diversos cultivos, su potencial en el brócoli aún está por explorar a fondo. No obstante, los resultados preliminares son alentadores y abren nuevas perspectivas para el desarrollo de prácticas agrícolas más sostenibles y eficientes, centradas en maximizar el potencial de este elemento esencial.

MARCO TEÓRICO

Antecedentes investigativos

El brócoli, una crucífera con un tallo succulento y inflorescencias gruesas, debe su nombre a la palabra italiana "broccolo" que se refiere a las pequeñas yemas florales de color verde azulado, las cuales son la parte comestible de la planta.

Logrando superar a la col en cuanto a su valor nutricional, conteniendo aproximadamente 14 veces más betacaroteno, un precursor de la vitamina A o retinol que contribuye a la formación y mantenimiento de dientes, huesos, tejidos blandos, mucosas y piel saludables. Asimismo, es indispensable para la visión, ya que participa en la producción de los pigmentos de la retina. Además, posee una cantidad considerable de vitamina C conocida como ácido ascórbico, esencial para la reparación de tejidos y vasos sanguíneos favoreciendo la cicatrización de heridas. (Cruz et al., 2018).

Con su alto contenido de calcio comparable al de la leche, se posiciona como un alimento fundamental en la dieta de personas con osteoporosis o deficiencias de calcio. Esta creciente demanda demuestra la conciencia de los consumidores sobre los beneficios nutricionales de este vegetal. (Cruz et al., 2018).

La evidencia científica relaciona que la baja ingesta de vegetales conduce a un mayor riesgo de mortalidad. El brócoli, gracias a su alto contenido de nutrientes y compuestos bioactivos, se destaca como una hortaliza con un gran potencial para mejorar la salud. Es necesario promover su consumo, así como la investigación e implementación de nuevas variedades y técnicas de cultivo. (Paniagua et al., 2015).

Después del oxígeno, el silicio es el segundo elemento que más abunda la corteza terrestre, sin embargo no es un elemento esencial para las plantas superiores, pero su absorción produce diferentes beneficios como fomentar el crecimiento, menor evapotranspiración, tolerancia a la toxicidad por metales pesados, mejoría de la arquitectura de las plantas, resistencia a estrés abiótico y especialmente al ataque de plagas y enfermedades (Castellanos et al, 2015).

Este último efecto se atribuye principalmente a que el silicio contribuye al reforzamiento de las propiedades mecánicas de la pared celular vegetal mediante su deposición en forma de sílice amorfa. Además, se acumula en la capa cuticular formando una barrera física que dificulta la penetración e infestación por insectos fitófagos. Paralelamente, el silicio induce la biosíntesis de compuestos de defensa como fitoalexinas, fenoles y enzimas PR, potenciando así las respuestas de defensa de la planta hospedera (Bhatt & Sharma, 2018).

En dicotiledóneas como el brócoli, el silicio incrementa la rigidez de las hojas maduras, incrementa el contenido de clorofila y reduce la senescencia. La presencia de silicio en las plantas modula la toxicidad del manganeso, evitando que se concentre en niveles perjudiciales en los tejidos. De esta manera, el silicio contribuye a mantener la salud y el vigor de las plantas. En forma general, el silicio mejora la resistencia contra

patógenos y parásitos, y protege a la planta contra pérdidas de agua por transpiración cuticular (Rodríguez Mariela & Flórez Victor, 2004).

Cuando se aplica silicio a los suelos sódicos, la concentración de sodio, boro y cloro disminuye en la parte aérea de las plantas y por sus efectos sobre algunas enzimas, se propone que tuviera un papel fisiológico y/o bioquímico como incrementar la capacidad defensiva antioxidante de las plantas. (Raya Juan & Aguirre César, 2012). Esto sugiere que el silicio puede ayudar a mitigar los efectos tóxicos de estos elementos en las plantas, pudiendo estar involucrado en mecanismos que protegen a las plantas del estrés oxidativo y otros factores de estrés.

Además, la aplicación de Si puede atenuar la deficiencia de Calcio (Ca) en el cultivo de col (*Brassica oleracea* L.) y la deficiencia de K en plantas de frejol común (*Phaseolus vulgaris* L.) cuando se aplica vía foliar.

Estos efectos beneficiosos se deben a la presencia de fitolitos en los cultivos expuestos a varios tipos de estrés ambiental (da Silva et al, 2021).

En la investigación "Effect of magnesium and silicon on yield, quality and mineral content of purple cabbage" realizada por (Gharibi & Khoshgoftarmanesh, 2015) en la Universidad de Tabriz, Irán, se evaluó la influencia de la aplicación de silicio en el rendimiento y calidad nutricional de *Brassica oleracea* var. capitata f. rubra. En donde se establecieron diferentes tratamientos con diversas dosis de dióxido de silicio aplicadas al suelo y al follaje. Específicamente, se emplearon dosis de 250, 500 y 750 kg/ha de SiO₂. Las crucíferas son reconocidas por su alto contenido de nutrientes y compuestos antioxidantes, por lo que el objetivo del estudio fue determinar si la suplementación con silicio podría potenciar estos atributos benéficos para la salud.

Los hallazgos revelaron que la aplicación de silicio tuvo un impacto positivo en el rendimiento y calidad de *Brassica oleracea* var. capitata. Se observó un incremento tanto en la producción como en las características organolépticas del cultivo. Además, el aporte de este mineral propició un aumento en el contenido de ciertos nutrientes esenciales presentes en la col, tales como calcio y hierro.

(Baglione, 2015) menciona que: Actualmente este elemento ha sido utilizado para prevenir los daños por plagas y enfermedades en cultivos de importancia como, arroz, caña de azúcar, papa y fresa. El silicio actúa de diversas formas para mejorar la salud de las plantas y del suelo. Al fortalecer las paredes celulares, aumenta la resistencia a enfermedades y plagas. Además, mejora la absorción de nutrientes, reduce la lixiviación y neutraliza la toxicidad de metales pesados. Estos mecanismos de acción hacen del silicio un elemento esencial para una agricultura eficiente y sostenible.

1.1. Categorías fundamentales

1.1.1. Productos utilizados en el ensayo

Silikon

Según (Manvert, 2020), Silikon es un bioestimulante líquido formulado a base de SiO_2 , con una concentración de 36% que reduce la pérdida de agua dentro de la planta y hace que ésta se mantenga hidratada y nutrida, mejorando la calidad, la producción y la vida poscosecha de los frutos. La innovadora tecnología Neovert tech utilizada en manvert silikon permite una mayor concentración de silicio en la solución, lo que, combinado con una mejor cobertura y penetración foliar garantiza una máxima eficacia en la aplicación del producto y un aprovechamiento óptimo de sus beneficios.

ProduSil Gold

Según (Bolsa Nacional de Productos Agropecuarios, 2022) describe que: ProduSil Gold a base de SiO_2 , es un fertilizante orgánico en polvo, eficaz y seguro, con una concentración de 73,69% que promueve la restauración de nutrientes perdidos por años de cultivo ya que contiene fósiles de microalgas de agua dulce, posee una tecnología de silicio biodisponible para las plantas que engrosa la pared celular controlando la pérdida excesiva de agua en las plantas, utilizando este producto se consigue disminuir hasta en 8 veces aplicaciones foliares para controlar hongos e insectos.

1.1.2. Propiedades de la composición de las diatomeas

(Sánchez & Merchán, 2017), menciona que: según la presencia de diatomititas en el sector de Angostura en Santa Elena, profundiza la composición química específica de estos yacimientos, mediante diversos análisis se determina la proporción de elementos y compuestos presentes en las diatomeas lo que permite evaluar su calidad y posibles aplicaciones agrícolas.

1.1.3. Otros usos en la agricultura

La diatomea, un producto natural extraído de canteras y procesado mecánicamente, se ha convertido en una alternativa eficaz para combatir plagas como pulgas, hormigas y chinches, gracias a su origen no químico y su abundancia en la naturaleza. Al no depender de mecanismos químicos o biológicos, el insecticida ofrece una solución duradera y efectiva para el control de plagas, ya que los insectos no pueden desarrollar mecanismos de defensa contra su acción física. (Hernández, 2007).

1.1.4. Efectos del silicio en las plantas

El silicio, al formar una capa protectora en la epidermis de las plantas, actúa como una armadura natural. Esta barrera física no solo dificulta la penetración de hongos, sino que también reduce la pérdida de agua por transpiración, mejorando la eficiencia hídrica de la planta. De esta manera, el silicio se posiciona como un elemento esencial para la salud y el vigor de las plantas, complementando su acción como insecticida y fungicida. (Raya Juan & Aguirre César, 2012).

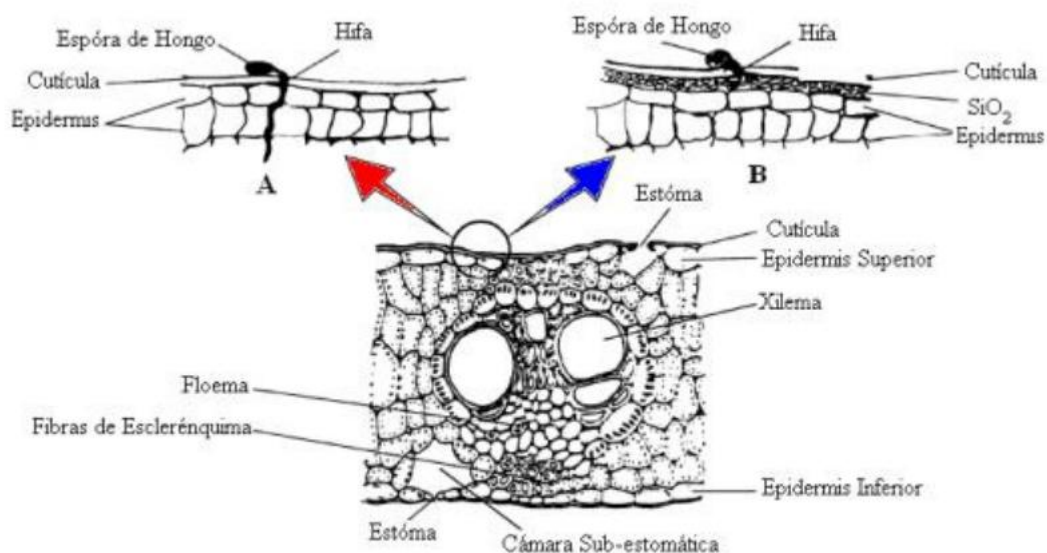


Figura 1. Acción del silicio en las plantas.

1.2. Cultivo de brócoli

1.2.1. Origen

El brócoli forma parte de un grupo de plantas, las brasicáceas, que comparten un origen común en el Mediterráneo Oriental. Estas plantas, caracterizadas por su sabor contienen compuestos llamados glucosinolatos, que se descomponen en sustancias con propiedades insecticidas y fungicidas. Esta característica hace que los residuos de cosecha

de las brasicáceas sean valiosos para mejorar la salud del suelo es decir una biofumigación.(Pino, 2016).

1.2.2. Descripción variedad Avenger

(Coronado Bermeo, 2015) menciona que: La variedad Avenger es una variedad muy popular en el mercado debido a su alta productividad y a la calidad de sus cabezas. Sus características, como el vigor de la planta, el tamaño de la cabeza y su atractivo color, lo convierten en una opción muy atractiva tanto para productores como para consumidores.

Tabla 1. Características del brócoli variedad Avenger.

Características	Criterio de calidad
Cabeza de domo perfecto	Evita pudriciones por acumulación de agua
Mínima presencia de domos laterales	Mayor aprovechamiento de nutrientes
Grano fino a medio	Menor pérdida en la industria del congelado
Cabeza grande, pesada y compacta	Mayor productividad y versatilidad para la industria y mercado fresco
Florete uniforme de tamaño pequeño	Mayor rendimiento en la industria del congelado
Coloración verde intenso	Calidad visual manteniendo el color deseado en el proceso del congelado

Fuente: (Sakata Seed de México, 2016).

1.2.3. Morfología

De acuerdo con (Toledo, 2003), el brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) es una planta anual con hojas lobuladas y una cutícula cerosa que recubre sus hojas. Su inflorescencia, compuesta por pequeñas flores agrupadas, se sitúa en la parte apical del tallo.

Tabla 2. Clasificación taxonómica del brócoli (*Brassica oleracea* Var. *Avenger*).

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Caprales
Familia	Brassicaceae
Genero	Brassica
Especie	Oleracea
Variedad	Avenger
Nombre Comercial	Brócoli

Fuente: (Heredia Cesar, 2022).

1.2.4. Características botánicas

Raíz: El sistema radicular del brócoli, de tipo axonomorfo, alcanza profundidades de hasta 80 cm, con una raíz principal leñosa y un sistema radicular secundario bien desarrollado en los primeros horizontes del suelo.

Tallo: El tallo, de porte herbáceo, presenta entrenudos cortos y un diámetro que varía entre 2 y 6 cm. La inflorescencia, de tipo corimboso, se desarrolla en el ápice del tallo.

Hojas: Las hojas, de gran tamaño y limbo profundamente lobulado, presentan una cutícula cerosa que reduce la transpiración. La nervadura reticulada es evidente.

Inflorescencia: La inflorescencia, compuesta por numerosas flores pequeñas y hermafroditas, presenta un mecanismo de autoincompatibilidad que promueve la alogamia.

Fruto y semilla: El fruto, una silicua, contiene un gran número de semillas pequeñas, de color rojizo y forma redondeada, alojadas en las valvas de la silicua.

1.3. Objetivos

Objetivo general

Evaluar los productos a base de silicio en el comportamiento agronómico del cultivo de brócoli (*Brassica oleracea* Var. Avenger).

Objetivos específicos

Determinar el producto adecuado en el comportamiento agronómico del cultivo de brócoli (*Brassica oleracea* Var. Avenger).

Establecer el método adecuado de la aplicación de silicio.

Establecer los costos de tratamiento en el cultivo de brócoli (*Brassica oleracea* Var. Avenger).

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1. Ubicación del estudio

La investigación se llevó a cabo en la agrícola María Victoria propiedad del señor Andrés Jácome, ubicada en el sector Héroes del Cenepa, parroquia San Buenaventura perteneciente al cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi.

2.2. Caracterización del lugar

Altitud: 2798 msnm.

Latitud: 0° 54' 29'' S.

Longitud: 78° 37' 45'' O.

Temperatura máximo promedio: 20

Temperatura mínimo promedio: 9

Humedad relativa promedio: 74,2%

Velocidad del viento promedio: 8 km/h.

2.3. Equipos y materiales

2.3.1. Equipos

- Cámara fotográfica
- Refractómetro
- Balanza
- Bomba de mochila
- Colador

2.3.2. Materiales y herramientas

- Azadón
- Rastrillo
- Letreros
- Estacas
- Libreta de campo
- Regla
- Flexómetro
- Ligas
- Cooler
- Plántulas de brócoli
- Gavetas para el transporte de plántulas
- Insumos para el control de plagas y enfermedades

2.3.3. Materiales de oficina

- Computadora
- Internet
- Cuaderno
- Papel bond
- Esfero
- Lápiz
- Borrador

2.3.4. Insumos

- Plántulas de brócoli (*Brassica oleracea* Var. Avenger)
- Fertilizantes foliares
- Fertilizantes edáficos
- Fungicidas e insecticidas
- Silikon
- ProduSil Gold

2.4. Factores de estudio

2.4.1. Factor 1

Fertilizantes silícicos

F1: Dióxido de silicio SiO₂ (Producto comercial “Silikon Manvert”)

F2: Dióxido de silicio SiO₂ (Producto comercial “ProduSil Gold”)

2.4.2. Factor 2

Métodos de aplicación

M1: Drench

M2: Foliar

M3: Drench y foliar

2.4.3. Tratamientos

Tabla 3. Simbología de tratamientos

TRATAMIENTO	SIMBOLOGÍA	DESCRIPCIÓN
1	F1M1	Silikon Manvert en drench
2	F1M2	Silikon Manvert en foliar
3	F1M3	Silikon manvert en drench + foliar
4	F2M1	Produsil Gold en drench
5	F2M2	Produsil Gold en foliar
6	F2M3	Produsil Gold en drench + foliar

Fuente: (Atencio, 2025).

2.4.4. Croquis de la unidad experimental

Produsil			Silikon		
F2M2	F2M3	F2M1	F1M2	F1M1	F1M3
F2M1	F2M2	F2M3	F1M1	F1M3	F1M2
F2M3	F2M1	F2M2	F1M3	F1M2	F1M1

Figura 2. Croquis de la unidad experimental

2.4.5. Ensayo

Tabla 4. *Características del campo experimental.*

CARACTERÍSTICAS	
Número de unidades experimentales	18 UE
Figura del ensayo	Rectangular
Ancho del ensayo	8,1 m
Largo del ensayo	26,54 m
Distancia entre plantas	0,25 m
Distancia entre hileras	0,30 m
Cantidad de plantas/ hilera	102
Cantidad de plantas/tratamiento	204
Área total	215,71 m ²

Fuente: (Atencio, 2025).

2.6. Manejo del experimento

El presente estudio buscó evaluar el potencial del silicio, aplicado a través de diferentes productos y métodos, para mejorar el rendimiento y la calidad del brócoli. Además, se pretende comparar la eficacia de ProduSil y Silikon, considerando sus diferentes características fisicoquímicas.

Los productos (ProduSil Gold y Silikon) fueron aplicaron en las semanas 3, 6 y 9 del ciclo del cultivo, coincidiendo con las etapas fenológicas del cultivo de inicio, desarrollo y final. Las aplicaciones se realizaron junto con el programa de fertilización y fitosanitario establecido para el cultivo.

2.6.1. Preparación del terreno

Toledo (2003), menciona que para asegurar un óptimo crecimiento del brócoli, es fundamental preparar el terreno adecuadamente. El suelo ideal debe tener una textura media, buen drenaje, carecer de piedras, sales y acidez excesiva. Se recomienda analizar

una muestra de suelo en un laboratorio especializado para determinar sus características y realizar las correcciones necesarias. El terreno debe estar libre de malezas y contar con una fuente de agua cercana. La preparación del terreno incluye una buena nivelación y mullimiento, arando y gradeando el suelo. Se sugiere incorporar estiércol, alrededor de 12 Tn/ha para mejorar la fertilidad del suelo.

2.6.2. Desinfección del suelo

Toledo (2003), indica que esta práctica que implica el uso de productos como el Bromuro de Metilo o el Dazomet 350 kg/ha, permite eliminar hongos, insectos, nemátodos y semillas no deseadas presentes en el suelo. Sin embargo, en nuestro medio, esta técnica no es común en la producción comercial de brócoli.

2.6.3. Siembra

Según Ortiz Huamani (2019), la siembra se realiza en semilleros de plástico, y las plántulas están listas para el trasplante entre los 45 y 55 días posteriores, cuando alcanzan una altura de 10 a 15 cm y tienen de 4 a 5 hojas verdaderas.

2.6.4. Riego

Orozco Arce (2015), destaca la importancia de mantener una humedad del suelo entre el 60% y el 80% de su capacidad de campo para un óptimo rendimiento del cultivo de brócoli. En zonas con escasez de lluvias, donde la humedad desciende al 50%, el rendimiento puede disminuir entre un 25% y un 30%. Por lo tanto, en estas áreas se recomienda el riego al momento del trasplante y durante todo el ciclo del cultivo, ya que la falta de agua puede provocar que las cabezas de brócoli se abran repentinamente, resultando en productos pequeños y no aptos para la venta.

2.6.5. Fertilización

Cuji (2022), señala que estudios sobre dosis de fertilización sugieren aplicar entre 100 y 120 kg de nitrógeno por hectárea (N/ha), y entre 50 y 80 kg de pentóxido de fósforo por hectárea (P₂O₅/ha). El potasio, por su parte, solo se recomienda en casos de deficiencia comprobada. En nuestro caso, se aconsejan dosis de referencia de 80-120 kg N/ha, 60 kg P₂O₅/ha y 60 kg de óxido de potasio (K₂O/ha) para suelos con baja fertilidad.

2.6.6. Plagas y enfermedades

Hernández (2007), menciona que el control de plagas y enfermedades en el cultivo de brócoli exige un estricto cumplimiento de las regulaciones internacionales sobre el uso de pesticidas. Se recomienda implementar estrategias de control integrado para cada caso específico, y tanto el diseño como la ejecución del programa fitosanitario deben ser supervisados por un profesional experto. Esto es crucial para prevenir el rechazo de los envíos de exportación debido a problemas cuarentenarios o residuos de pesticidas.

A continuación, se presentan las principales plagas y enfermedades en el cultivo de brócoli.

Plagas

Tabla 5. *Plagas del cultivo de brócoli.*

Nombre común	Nombre científico
Palomilla dorso de diamante	(<i>Plutella xynostella</i>)
Pulgón verde	(<i>Myzus persicae</i>)
Pulgon de la col	(<i>Brevicoryne brassicae</i>)
Gusano falso medidor	(<i>Trichoplusia ni</i>)
Mariposa blanca de la col	(<i>Pieris rapae</i>)
Chinche arlequí	(<i>Murgantia histrionica</i>)
Chinche ligus	(<i>Lygus lineolaris</i>)
Gusano del corazón de la col	(<i>Copitarsia decolora</i>)

Fuente: (Hernández Arriaga, 2013).

Enfermedades

Tabla 6. *Enfermedades del cultivo de brócoli.*

Nombre común	Nombre científico
Alternaria	(<i>Alternaria brassicae</i>)
Hernia de la col	(<i>Plasmodiophora brassicae</i>)
Mancha angular	(<i>Mycosphaerella brassicicola</i>)
Mildiu	(<i>Peronospora brassicae</i>)

Fuente: (Rosero Bustos, 2015).

2.6.7. Cosecha

Toledo (2003), indica que el brócoli está listo para la cosecha entre los 90 y 105 días después del trasplante cuando la inflorescencia alcanza su máximo desarrollo, presenta una forma compacta y las flores individuales permanecen cerradas. El color característico de la cabeza debe ser verde. La presencia de un color amarillento en las inflorescencias indica sobremadurez y senescencia, lo cual es un signo de calidad no deseable. El peso de las cabezas varía considerablemente, desde unos pocos gramos en las cabezas secundarias hasta alrededor de un kilogramo en las cabezas principales.

Durante la cosecha de brócoli, los trabajadores seleccionan cuidadosamente las inflorescencias que han alcanzado la madurez óptima, utilizando cuchillos para cortar los tallos. Posteriormente, se retiran las hojas inferiores y se colocan las cabezas en cajas de plástico. Es fundamental realizar estas tareas con sumo cuidado para evitar dañar el producto. Dado que las inflorescencias expuestas directamente al sol pueden superar en varios grados la temperatura ambiente, se aconseja cosechar a primera hora del día, aprovechando las condiciones más frescas y la mayor humedad relativa. El brócoli cosechado debe ser trasladado de inmediato a un lugar sombreado o al centro de empaque para prevenir el calentamiento excesivo y el consiguiente deterioro del producto.

2.6.8. Postcosecha

Toledo (2003), alude que el proceso de postcosecha del brócoli se centra en mantener su frescura y calidad desde la cosecha hasta que llega al consumidor. Inmediatamente después de la recolección, se eliminan las hojas exteriores y se enfría rápidamente para reducir la temperatura y la respiración, lo que ayuda a preservar su firmeza y color verde intenso. Luego, se clasifica por tamaño, calidad y presencia de defectos. El brócoli se empaca cuidadosamente en cajas o contenedores, a menudo con hielo o sistemas de refrigeración a una temperatura de 0°C para mantenerla baja durante el transporte y almacenamiento. La clave del éxito en la postcosecha es mantener la cadena de frío para asegurar que el brócoli conserve su frescura, textura y valor nutricional hasta su consumo.

2.6.9. Preparación de los tratamientos

Los productos utilizados son: Produsil (73.69% de SiO₂, presentación en polvo) y Silikon (14% de SiO₂, presentación líquida con tecnología Neovertech). Se prepararon las soluciones de Produsil y Silikon siguiendo las recomendaciones del fabricante en diferentes recipientes de 20 litros cada uno respectivamente. Las concentraciones utilizadas fueron de 2 g/L de ProduSil Gold y 1 ml/L de Silikon. Para que las soluciones sean aplicadas de forma homogénea al cultivo, se utilizó una bomba de mochila mediante los 3 métodos de aplicación: drench, foliar y drench + foliar.

2.6.10. Aplicación de los tratamientos

Aplicación drench: Las soluciones fueron aplicadas directamente al suelo, en la zona radicular de las plantas.

Aplicación foliar: Comprende una aplicación en toda la superficie foliar de las plantas.

Aplicación combinada: Implica una aplicación drench seguida de una aplicación foliar sin intervalos de tiempos.

2.7. Tamaño de la muestra

Para el tamaño de la muestra se requiere un mínimo de 150 plantas por tratamiento para detectar una diferencia significativa entre los tratamientos, por lo cual se estableció un tamaño final de muestra de 204 plantas por tratamiento y 68 plantas por subparcela.

2.8. Variables respuesta

2.8.1. Altura de la planta

En la evaluación del crecimiento de las plantas en cada tratamiento, se seleccionaron 30 plantas por cada tratamiento. La altura de cada planta se midió con una regla graduada en centímetros, desde la base del tallo hasta el ápice, y se registró cada 30 días. Posteriormente, se calculó el promedio de altura para cada tratamiento, lo que permitió comparar el crecimiento de las plantas bajo diferentes condiciones.

2.8.2. Peso de la pella

Para esta variable se tomaron 30 plantas de cada tratamiento y con la ayuda de una balanza de precisión, se registró el peso en gramos.

2.8.4. Acumulación de Ca/Si en hojas

Para el estudio de esta variable se analizaron concentraciones de calcio y silicio de los tratamientos que mejores resultados se obtuvo, mediante un método de espectroscopía en (mg g⁻¹ DW) al final del ciclo.

2.8.5. Uniformidad del grano

La uniformidad del grano fue medida en todas las plantas del estudio mediante el uso de una escala patrón al finalizar el ciclo.

2.8.6. Contenido de Clorofila de la hoja

El contenido de clorofila se midió a 30 plantas por cada tratamiento cada 30 días utilizando un espectrofotómetro portátil, obteniendo datos de forma rápida y no destructiva.

2.9. Diseño experimental

El diseño experimental que se utilizó es de parcela dividida, siendo la parcela principal los fertilizantes y las subparcelas los métodos de aplicación, estructurado en bloques al azar con 3 repeticiones.

Se realizó un análisis de varianza (ADEVA) para determinar diferencias entre los tratamientos y la Prueba de Tukey al 5%.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. ALTURA DE LA PLANTA (cm)

Tabla 7. Altura de las plantas tomadas a los 30, 60 y 90 días.

Fertilizante Silícico	Método de aplicación	Altura a los 30 días (cm)	Altura a los 60 días (cm)	Altura a los 90 días (cm)
F1	M1	14.97 ^b	40.09 ^{bc}	60.83 ^{bc}
	M2	14.36 ^{abc}	38.22 ^c	60.30 ^c
	M3	15.53 ^a	42.77 ^a	64.27 ^a
F2	M1	13.30 ^c	40.88 ^{bc}	63.23 ^{ab}
	M2	12.97 ^{bc}	42.18 ^b	62.63 ^{ab}
	M3	14.30 ^{ab}	42.12 ^{ab}	63.57 ^b

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$). F1: SilikonManvert. F2: ProduSil Gold. M1: Drench. M2: Foliar. M3: Drench y Foliar.

Fuente: (Atencio, 2025).

Para la variable altura de la planta (Tabla 6) se puede apreciar que, existen diferencias estadísticas entre los tratamientos en estudio, obteniendo los mejores resultados en cuanto al tratamiento F1M3 (*SilikonManvert / Drench y Foliar*) con una media de 15.53 cm registrada a los a los 30 días, seguida del tratamiento F2M3 (*ProduSil / Drench y Foliar*) cuya media fue de 14.30 cm a comparación del tratamiento F2M2 el cual obtuvo la menor altura entre los mismos (12.97 cm). Sin embargo, para la segunda y tercera medición se logró apreciar que el mejor tratamiento fue el F1M3 (*SilikonManvert / Foliar*) con una altura de 42.77 cm y 64.27 cm respectivamente seguida del tratamiento F2M2 (*ProduSil / Drench*) cuyo valor fue de 42.18 cm a los 60 días y el tratamiento F2M3 (*ProduSil / Drench y Foliar*) con una media de 63.57 cm a

comparación de los tratamientos F1M2 y F2M3 los cuales registraron las alturas más bajas entre los tratamientos analizados.

De acuerdo con los resultados obtenidos en la presente investigación concuerdan con lo antes mencionado en la investigación lo mismo que nos permitió concluir que la fuente de silicio contribuye con la absorción efectiva en las plantas de brócoli, mejorando así el crecimiento y el rendimiento del cultivo. Por otra parte, Soundharya *et al.*, (2019) a través de su investigación señalan que el silicio genera un efecto positivo sobre la altura de la planta y rendimiento además también mencionan sobre la sinergia que genera con otros minerales como es el caso del Ca, Mg y K mejorando así su absorción y transporte dentro de la planta.

Lu *et al.*, (2020) mediante su investigación compararon el efecto de tres fuentes de silicio a diferentes concentraciones demostrando que el dióxido de silicio (SiO₂) a una concentración de 5 g/L produjo el mayor incremento en la altura de las plantas de brócoli, así como también en el peso fresco y seco de todos los órganos de la planta.

3.2. PESO DE LA PELLA (g) Y UNIFORMIDAD DEL GRANO

Tabla 8. Variación del peso de la pella y uniformidad del grano en las plantas de brócoli (*Brassica oleracea* Var. *Avenger*) en función a distintos tratamientos.

Fertilizante Silícico	Método de aplicación	Peso de la pella (g)	Uniformidad del grano
F1	M1	487.67 ^b	2.00 ^a
	M2	469.78 ^b	2.00 ^a
	M3	556.89 ^a	2.00 ^a
F2	M1	389.56 ^{bc}	2.00 ^a
	M2	446.67 ^{bc}	2.00 ^a
	M3	368.78 ^c	2.00 ^a

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$). F1: *SilikonManvert*. F2: *ProduSil Gold*. M1: *Drench*. M2: *Foliar*. M3: *Drench y Foliar*.

Fuente: (Atencio, 2025).

De acuerdo con el análisis realizado sobre la variable peso de la pella (g) se observó que si existen diferencias significativas entre los tratamientos mostrando mejores resultados en cuanto al tratamiento F1M3 (*SilikonManvert / Drench y Foliar*) cuya media registrada fue de 556.89 g, seguida de los tratamientos F1M1 (*SilikonManvert / Drench*) y F1M2 (*SilikonManvert / Foliar*) cuyas medias fueron de 487.67 y 469.78 g respectivamente a comparación del tratamiento F2M3 (*ProduSil / Drench y Foliar*) el cual obtuvo un menor peso cuyo valor fue de 368.78 g. Sin embargo, para la variable uniformidad del grano se identificó que no existen diferencias estadísticas significativas entre los mismos ya que todos los tratamientos se encuentran en la escala 2 (Madura) cuyas pellas se encuentran bien desarrolladas y compactas. (Tabla 7).

Diversas investigaciones han demostrado que la mayoría de las variedades evaluadas presentan un rendimiento y compactación favorable, por lo cual se concuerda con los resultados, ya que resulta atractivo para productores y comerciantes interesados en la adquisición de estos cultivares por otra parte resalta que la compactación de la pella es un indicador clave de calidad que los consumidores consideran al momento de seleccionar brócoli.

Según Coello (2019) manifiesta que el silicio juega un papel fundamental en el fortalecimiento de la pared celular además de generar resistencia ante el ataque de agentes externos también menciona que este elemento mejora la calidad del cultivo, ya que extiende el período de llenado e incrementa el peso de la pella. Por otra parte, Gaibor, (2018) señala que el peso adecuado de la pella principalmente para agroindustria está

comprendido entre 250g a 500g aproximadamente, cabe indicar que los valores obtenidos se encuentran dentro del rango de aceptación establecidos.

Cuji, (2022) mediante su investigación señala que la firmeza de la pella al momento de la cosecha, conocida como su firmeza, constituye una característica fundamental de calidad en el ámbito agrícola. Según Jaramillo *et al.*, (2018), una adecuada compactación es esencial tanto para el mercado como para la industria, ya que influye en la aceptabilidad y el rendimiento comercial de los cultivos. Diversas investigaciones han demostrado que la mayoría de las variedades evaluadas presentan una compactación favorable, lo cual resulta atractivo para productores y comerciantes interesados en la adquisición de estos cultivares por otra parte resalta que la compactación de la pella es un indicador clave de calidad que los consumidores consideran al momento de seleccionar brócoli.

3.4. ACUMULACIÓN DE CALCIO Y SILICIO EN HOJAS (mg g⁻¹ DW)

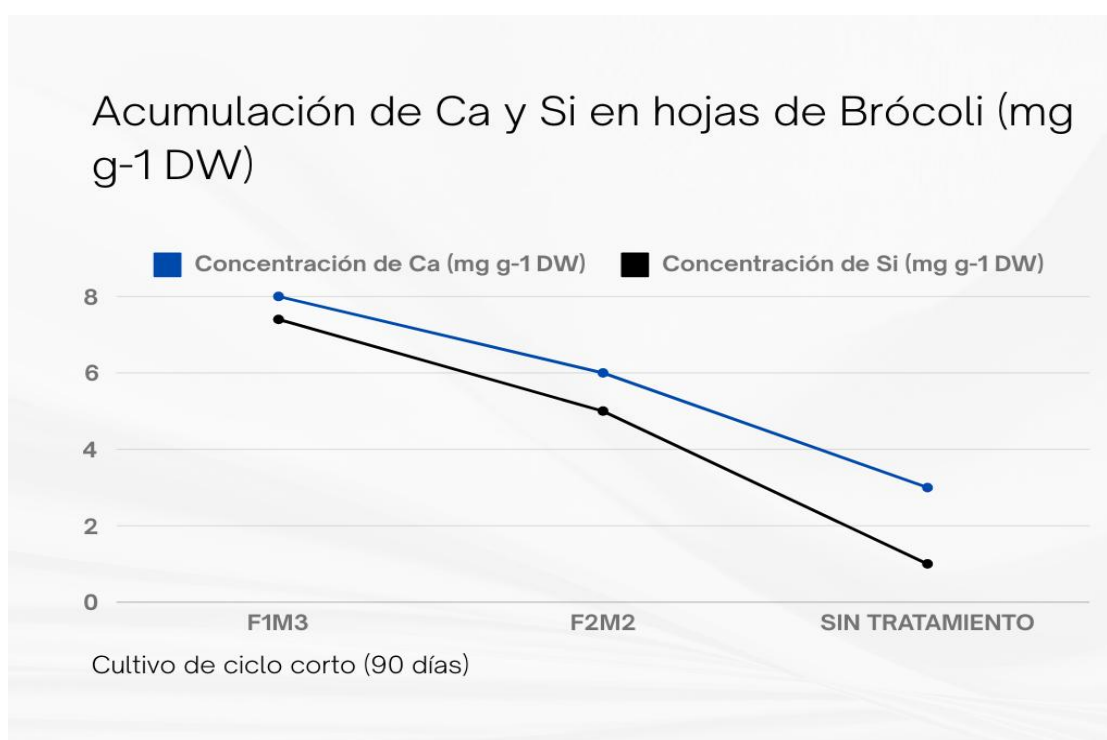


Figura 3. Acumulación de Ca y Si en hojas de brócoli.

Fuente: (Laboratorios OSP, 2025).

Mediante el análisis de acumulación de Ca/ Si realizado en las hojas de brócoli se logró conocer que el tratamiento que mejores resultados presento fue el F1M3 (*SilikonManvert / Drench y Foliar*) con una concentración de Calcio de 8 mg g⁻¹ DW y de Silicio de 7 mg g⁻¹ DW seguida del tratamiento F2M2 (*ProduSil Gold / Foliar*) cuya concentración de Ca fue de 6 mg g⁻¹ DW y de silicio de 5 mg g⁻¹ DW a comparación de los demás tratamientos que obtuvieron concentraciones relativamente bajas (Figura 7).

Estos resultados sugieren una correlación positiva entre el contenido de Ca y Si en las hojas de brócoli y el rendimiento de las plantas. Por lo tanto, concuerdo con lo antes mencionado en los resultados ya que es probable que una mayor disponibilidad de estos elementos en los tejidos vegetales contribuya a una mejor salud y vigor de las plantas, favoreciendo así un mayor crecimiento y producción. El silicio, en particular, se ha asociado con una mayor resistencia a estrés biótico y abiótico, lo que podría explicar su influencia en el rendimiento.

(Roman, 2023) señala que el calcio y el silicio son elementos esenciales que fortalecen las defensas naturales de las plantas al acumularse en las hojas, estos minerales desempeñan un papel fundamental en la estructura celular, proporcionando así rigidez y estabilidad. Por otra parte, señala que el calcio actúa como señalizador celular generando resistencia contra patógenos. El silicio es un elemento de gran importancia ya que forma una barrera física la cual protege a la planta de factores estresantes como la sequía y las enfermedades, al mismo tiempo que reduce la pérdida de agua. La acumulación de estos elementos en las hojas depende de factores como la especie vegetal, las condiciones ambientales y las prácticas de cultivo. (Coello M. , 2019).

3.5 CONTENIDO DE CLOROFILA DE LA HOJA (SPAD)

Tabla 9. Variación del contenido de clorofila en las hojas de brócoli (*Brassica oleracea* Var. *Avenger*) en función a distintos tratamientos.

Fertilizante Silícico	Método de aplicación	Clorofila a los 30 días	Clorofila a los 60 días	Clorofila a los 90 días
F1	M1	44.24 ^{abc}	40.20 ^a	43.87 ^{ab}
	M2	44.79 ^{ab}	41.87 ^a	43.93 ^{ab}
	M3	46.05 ^a	42.00 ^a	45.27 ^a
F2	M1	42.60 ^{bc}	39.67 ^a	43.00 ^b
	M2	41.53 ^c	39.67 ^a	42.00 ^b
	M3	43.07 ^{abc}	39.80 ^a	45.57 ^a

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$). F1: *SilikonManvert*. F2: *ProduSil Gold*. M1: *Drench*. M2: *Foliar*. M3: *Drench y Foliar*.

Fuente: (Atencio, 2025).

Mediante el análisis estadístico realizado para la variable contenido de clorofila en hojas de brócoli se identificó que si existen diferencias estadísticas significativas ($p\text{valor} < 0,05$) desde la primera evaluación hasta la última evaluación, siendo el mejor tratamiento el F1M3 (*SilikonManvert / Drench y Foliar*) con una media de 46.05, 42.00 y 45.27 respectivamente a comparación del tratamiento F2M2 (*ProduSil Gold/ Foliar*) el cual registro el valor más bajo entre los tratamientos con un valor de 41.53 y 42 respectivamente. (Tabla 8)

El silicio, al reducir los ataques de plagas y enfermedades, permite que las hojas de la coliflor mantengan niveles óptimos de clorofila. Esta sustancia es esencial para la fotosíntesis y, por ende, para el crecimiento vigoroso y la obtención de mayores rendimientos en el cultivo. (Sarmiento & Sarmiento, 2024) El contenido de clorofila en el brócoli se ve significativamente afectado por el estrés hídrico Coello (2019) en su

investigacion menciona que, bajo condiciones de sequía, las plantas de brócoli experimentan una disminución en la síntesis de clorofila, lo que se traduce en una reducción de la tasa fotosintética lo cual reduce el crecimiento y rendimiento de las pellas por lo tanto esta disminución se puede observar en el amarillamiento de las hojas, especialmente en las más viejas.

3.6 Costos

En el ensayo se consideraron diversos costos asociados a la producción de brócoli. Estos incluyeron los costos tales como plántulas, fertilizantes, productos químicos y agua de riego, así como los costos de mano de obra involucrados en las diferentes etapas del cultivo, desde la siembra y el trasplante hasta la cosecha. Adicionalmente, se contemplaron los costos de alquiler de la tierra, los costos de transporte de los productos cosechados y otros gastos operativos asociados al manejo del cultivo. Todos estos costos fueron registrados y sumados para obtener el costo total de producción (Ortega, 2019).

Tabla 10. Relación Costo - Beneficio.

Descripción	Cantidad	C. Unitario
Plántulas	1000	0,01
TOTAL		\$10,00
Descripción	Cantidad	TOTAL
Produsil Gold	1	\$10,00
Silikon Manvert	1	\$25,00
Luz (mes)	3	\$1,50
Agua (mes)	3	\$7,50
Mano de obra	1	\$150,00
Insumos	12	\$100,00
Gasolina	1	\$30,00
Balanzas	1	\$20,00
Bomba de Mochila	1	\$25,00
Análisis de Laboratorio	3	\$220,00
Letreros	21	\$75
TOTAL DE EGRESOS		\$674

Fuente: (Atencio, 2025).

Comprobación de la hipótesis

Los resultados del análisis estadístico mostraron que el tratamiento con silicio vía drench + foliar resultó en un aumento significativo en el tamaño, peso y la uniformidad del grano de las pellas de brócoli en comparación con el resto de los tratamientos. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, concluyendo que el silicio aplicado vía drench + foliar influye positivamente en la calidad del producto final de la pella de brócoli.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

Una vez finalizado el trabajo investigativo con el tema: “Evaluación de productos a base de silicio en el comportamiento agronómico del cultivo de brócoli (*Brassica oleracea* Var. Avenger)”, se logró concluir lo siguiente:

Los resultados obtenidos en este estudio sugieren que la aplicación de productos a base de silicio, especialmente en combinación con los métodos de aplicación Drench y Foliar, tuvieron un efecto positivo en el crecimiento y desarrollo del brócoli, aumentando el peso y uniformidad del grano teniendo como mejores resultados en cuanto al peso de la pella al tratamiento F1M3 (*SilikonManvert / Drench y Foliar*) cuya media registrada fue de 556.89 g a comparación del tratamiento F2M3 (*ProduSil / Drench y Foliar*) el cual obtuvo el peso más bajo cuyo valor fue de 368.78 g. Sin embargo, para la variable uniformidad del grano se identificó que no existen diferencias estadísticas entre los mismos ya que todos los tratamientos se encuentran en la escala 2 (Madura).

Al evaluar los métodos de aplicación drench, foliar y drench + foliar, se establece que el método adecuado de la aplicación de silicio es el de (drench + foliar) ya que con este método se consiguió los mejores resultados en todas las variables.

A partir del análisis de los datos obtenidos en el experimento, se puede concluir que los costos de tratamiento para el cultivo de brócoli (*Brassica oleracea* Var. Avenger) tuvieron una notable diferencia ya que el producto Silikon brindó mejores resultados ante ProduSil.

RECOMENDACIONES

Analizar cómo la aplicación de silicio interactúa con otros factores como manejo de plagas y enfermedades.

Realizar las aplicaciones en horas de la mañana para no tener una variabilidad en los cambios de clima como la presencia de lluvia y un posible lavado del producto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ashour, M., Hassan, S., Elshobary, M., Ammar, G., Gaber, A., Alsanie, W., . . . El-Shenody, R. (2021). Impact of of Commercial Seaweed Liquid Extract Biostimulant and Its Bioactive Molecules on Growth and Antioxidant Activities of Hot Pepper (*Capsicum annuum*). *Plants* , 1-13. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2223-7747/10/6/1045>.
- Baglione, L. (2015). *Usos de las tierras diatomea*. www.tecnicana.org
- Bhatt, D., & Sharma, G. (2018). Role of silicon in counteracting abiotic and biotic plant stresses. ~ 1434 ~ *International Journal of Chemical Studies*, 6(2), 1434–1442.
- Bolsa Nacional de Productos Agropecuarios. (2022, December 12). *PRODUSIL GOLD* – *Bolsa Nacional de Productos Agropecuarios*. <https://bolsadeproductos.com.ec/listing/produsil-gold/>
- Bracker, M. (2020). Métodos de Investigación Social Cualitativa. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE NICARAGUA, 50-100. Disponible en: <https://qualitative-forschung.de/wp-content/uploads/2020/06/metodolo.pdf>.
- Buesaquillo, C., & Álvarez, J. (2023). Autocuidado en adultos mayores con hipertensión arterial, una revisión de la literatura. *Revista conecta Libertad Volumen 8 (3)*, 5-15. Disponible en: <https://revistaitsl.itslibertad.edu.ec/index.php/ITSL/article/view/389>.
- Castellanos, C., Mello Prado, de Campos, S., & Naudi, C. (2015). *Cultivos Tropicales*, 36, 16–24. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193243640002>

- Coello, M. (2019). EVALUACIÓN DE TRES DOSIS DE BIOPLUS EN EL CULTIVO ORGÁNICO DE BRÓCOLI (*Brassica oleracea* L var. Itálica cv. Mónaco). ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO, FACULTAD DE RECURSOS NATURALES, 10-100. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/3592/3/13T0796%20.pdf>.
- Coello, V. (2020). EFECTO DE LA APLICACIÓN EDÁFICA Y FOLIAR DE EXTRACTOS DE ALGAS MARINAS EN EL CULTIVO DE PIMIENTO (*Capsicum annuum* L.). Universidad Agraria del Ecuador, Facultad de Ciencias Agrarias, Carrera de Ingeniería Agronómica, 5-40. Disponible en: <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/COELLO%20VILLAMAR%20HENRY%20EDUARDO.pdf>.
- Coronado Bermeo, J. L. (2015). *Efecto de ocho combinaciones de dos bioestimulantes orgánicos foliares con cuatro dosis en el cultivo de brócoli*.
- Cruz, E., Vega, J., Gutiérrez, A., González, M., Saltos, R., & González, V. (2018). EFECTO DE LA APLICACIÓN DE ABONOS ORGÁNICOS EN LA PRODUCCIÓN DE BRÓCOLI (*Brassica oleraceae*). *Revista de Investigación Talentos*, 5(1), 1–8. <https://talentos.ueb.edu.ec/index.php/talentos/article/view/23/78>
- Cuji, Y. (2022). “ADAPTABILIDAD DE TRECE CULTIVARES DE BRÓCOLI (*Brassica oleracea* var. Itálica L.) EN EL CANTÓN PUJILÍ, PROVINCIA DE COTOPAXI.”. UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO, FACULTAD CIENCIAS AGROPECUARIAS, CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA, 30-70. Disponible en:

<https://repositorio.uta.edu.ec/server/api/core/bitstreams/28fa8276-6108-4772-b5a1-6af93a28ab0a/content>.

da Silva, D. L., de Mello Prado, R., Tenesaca, L. F. L., da Silva, J. L. F., & Mattiuz, B. H. (2021). Silicon attenuates calcium deficiency by increasing ascorbic acid content, growth and quality of cabbage leaves. *Scientific Reports* 2021 11:1, 11(1), 1–9. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-80934-6>

Duque, P., & Murillo, A. (2021, December 30). *Vista de Análisis de los canales de comercialización del brócoli en Ecuador*. <https://rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/857/573>

Gaibor, F. (2018). Evaluación de la eficacia de cuatro fertilizantes orgánicos foliares en tres dosis y dos épocas de aplicación en el rendimiento del cultivo de Brócoli (*Brassica oleracea* var. Itálica). ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO, FACULTAD DE RECURSOS NATURALES, 1-145. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/1830/1/13T0731%20.pdf>.

Gharibi, S., & Khoshgoftarmanesh, A. (2015). Effect of magnesium and silicon on yield, quality, and mineral content of purple cabbage. In *Journal of Plant Nutrition* (pp. 439–450).

Gharibi, S., & Khoshgoftarmanesh, A. (2015). Effect of magnesium and silicon on yield, quality, and mineral content of purple cabbage. *Journal of Plant Nutrition*. In S. Gharibi.

Hernández Arriaga, D. E. (2013). Efectividad biológica de entomopatógenos para control de plagas de brócoli en Mexquitic de Carmona, San Luis Potosí.

Heredia Cesar. (2022). *UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES INGENIERÍA AGRONÓMICA PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.*

Hernández. (2007). *Infectividad, edad y humedad relativa relacionados con la susceptibilidad de ninfas y adultos de Periplaneta americana a Metarhizium anisopliae y Beauveria bassiana* (Vol. 22, pp. 27–36).

Jaramillo, J., Cardona, P., Valencia, C., Franco, A., Martínez, A., Forero, C., & Arguello. (2018). Modelo tecnológico para el cultivo de brócoli (*Brassica oleracea* L. var. Itálica), en el departamento de Antioquia. Siembra.

Le Gall, J., Le, J., & El, G. (2012). *El brócoli en Ecuador: la fiebre del oro verde*. 6–7.
<https://hal.science/hal-00679543>

Lu, M., De Silva, M., Peralta, E., Fajardo, N., & Peralta, M. (2020). Growth and Yield of Broccoli Applied with Silicon Supplements with Varying Material Structures. Philippine E-Journal for Applied Research and Development 6, 1-50. Disponible en: <http://pejard.slu.edu.ph/vol.6/2016.03.30.pdf>.

Manvert. (2020). *manvert silikon | Bioestimulante para alargar la vida post cosecha*.
<https://manvert.com/es/productos/manvert-silikon-7>

Orozco Arce, C. M. (2015). Evaluación de productos ecológicos para el control de la hernia de las crucíferas (*Plasmodiophora brassicae*) en el cultivo de brócoli (*Brassica oleracea* Var. Avenger), en la parroquia Izamba provincia de Tungurahua (Bachelor's thesis).

- Ortiz Huamani, H. (2019). Abonamiento orgánico y químico en el cultivo de brócoli (*Brassica oleracea* L.) en la comunidad campesina de Los Ángeles, Huancarama Andahuaylas-Apurímac.
- Paniagua, G., Hernández, C., Rico, F., Domínguez, A., Martínez, E., Martínez, L., & González, C. (2015). *EFFECTO DE LA LUZ LED DE ALTA INTENSIDAD SOBRE LA GERMINACIÓN Y EL CRECIMIENTO DE PLÁNTULAS DE BRÓCOLI (BRASSICA OLERACEA L.) EFFECT OF HIGH INTENSITY LED LIGHT ON THE GERMINATION AND GROWTH OF BROCCOLI SEEDLINGS (BRASSICA OLERACEA L.)*. 40, 199–212. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.40.13>
- Pino, M. del. (2016). El cultivo del brócoli. *Contacto Rural*, no. 3 (2016). <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/69028>
- PROECUADOR. (2017). Instituto de Promoción de Exportaciones e Inversiones. Retrieved from Análisis Sectorial Brócoli: https://www.proecuador.gob.ec/wp-content/uploads/2017/02/PROEC_AS2017_BROCOLI.pdf
- Raya Juan, & Aguirre César. (2012). Dialnet-El papel del silicio en los organismos y ecosistemas. *Dialnet*, 43, 42–46. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3985098>
- Rodríguez Mariela, & Flórez Victor. (2004). *Ferti-riego: tecnologías y programación en agroplasticultura: resultado de, curso de formación sobre plasticultura y tecnología de riego, Bogotá, Colombia 2002, taller de fertirrigación, Colegio de Posgraduados Universidad Chapingo, México, 2004*. Programa CYTED. <https://repositorio.ual.es/bitstream/handle/10835/3133/F13.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Roman, R. (2023). “EVALUACIÓN DE FORMULACIONES POTÁSICAS EN EL RENDIMIENTO Y CALIDAD DEL CULTIVO DE BRÓCOLI (*Brassica oleracea* L) var. Itálica. HÍBRIDO AVENGER”. ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO, FACULTAD DE RECURSOS NATURALES, 1-130. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/18361/1/13T01059.pdf>.

Rosero Bustos, A. M. (2015). Evaluación de la adaptabilidad de cuatro variedades de brócoli (*Brassica oleracea* var. Itálica) en el Centro Experimental San Francisco Cantón (Bachelor's thesis).

Sánchez, C., & Merchán. (2017). *Introducción a las diatomitas*.

Sarmiento, Y., & Sarmiento, A. (2024). Efecto del silicio foliar en el rendimiento y poscosecha en coliflor (*Brassica oleracea* var. Botrytis) en condiciones de Yanahuanca – Pasco. UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN, FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIA, ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE AGRONOMÍA, 1-79. Disponible en: http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/4778/1/T026_73956471_T.pdf.

Soundharya, N., Srinivasan, S., Sivakumar, T., & Kamalkumaran, P. (2019). Effect of Foliar Application of Nutrients and Silicon on Yield and Quality Traits of Broccoli (*Brassica oleracea*). International Journal of Pure and Applied Bioscience 7(2), 526-538. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/server/api/core/bitstreams/38723f0d-c4bd-47b5-8ff9-e4973f7ed2c4/content>.

Toledo, J. (2003). Cultivo de brócoli. In *Instituto Nacional de Investigación Agraria - INIA* (Vol. 1).

ANEXOS

Anexo 1. Altura promedio (cm)

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Altura promedio	180	0,99	0,99	5,01

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
(Error)					
Modelo	69942,93	9	7771,44	2006,96	<0,0001
Bloques	69687,64	2	34843,82	763,88	0,0013
(Fertilizante*Bloques)					
Fertilizante	11,56	1	11,56	0,25	0,6646
(Fertilizante*Bloques)					
Fertilizante*Bloques	91,23	2	45,61	11,78	<0,0001
Metodo	115,20	2	57,60	14,88	<0,0001
Metodo*Fertilizante	37,30	2	18,65	4,82	0,0092
Error	658,28	170	3,87		
Total	70601,22	179			

Anexo 2. Contenido de clorofila (SPAD)

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Clorofila (lra med)	90	0,26	0,17	6,92

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
(Error)					
Modelo	253,50	9	28,17	3,08	0,0032
Bloques	8,88	2	4,44	0,20	0,8348
(Fertilizante*Bloques)					
Fertilizante	155,24	1	155,24	6,92	0,1193
(Fertilizante*Bloques)					
Fertilizante*Bloques	44,88	2	22,44	2,45	0,0924
Metodo	33,27	2	16,64	1,82	0,1688
Metodo*Fertilizante	11,22	2	5,61	0,61	0,5440
Error	731,47	80	9,14		
Total	984,96	89			

Anexo 3: Peso de la pella (g)

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Peso	54	0,56	0,47	14,18

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
(Error)					
Modelo	230235,50	9	25581,72	6,20	<0,0001
Bloques	4174,78	2	2087,39	0,27	0,7872
(Fertilizante*Bloques)					
Fertilizante	142604,17	1	142604,17	18,47	0,0501
(Fertilizante*Bloques)					
Fertilizante*Bloques	15440,11	2	7720,06	1,87	0,1660
Metodo	5868,44	2	2934,22	0,71	0,4966
Metodo*Fertilizante	62148,00	2	31074,00	7,53	0,0015
Error	181545,33	44	4126,03		
Total	411780,83	53			

Anexo 4. Compactación de la pella

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Compactación	54	0,10	0,00	16,57

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo	0,61	9	0,07	0,55	0,8334	
Bloques	0,15	2	0,07	1,00	0,5000	
(Fertilizante*Bloques)						
Fertilizante	0,02	1	0,02	0,25	0,6667	
(Fertilizante*Bloques)						
Fertilizante*Bloques	0,15	2	0,07	0,59	0,5562	
Metodo	0,15	2	0,07	0,59	0,5562	
Metodo*Fertilizante	0,15	2	0,07	0,59	0,5562	
Error	5,48	44	0,12			
Total	6,09	53				

Anexo 5. Desinfección de plántulas



Anexo 6. Formación de camas y siembra de plántulas



Anexo 7. Distancia de siembra entre planta e hilera



Anexo 8. Colocación de los letreros



Anexo 9. Primera aplicación de los productos a base de silicio



Anexo 10. Productos ocupados para las aplicaciones



Anexo 11. Toma de datos de altura a los 30 días



Anexo 12. Toma de datos de clorofila a los 30 días



Anexo 13. Fertilización edáfica



Anexo 14. Segunda aplicación de los productos a base de silicio



Anexo 15. Toma de datos de altura a los 60 días



Anexo 16. Toma de datos de clorofila a los 60 días



Anexo 17. Formación de las primeras pellas



Anexo 18. Tercera aplicación de los productos a base de silicio



Anexo 19. Toma de datos de altura a los 90 días



Anexo 20. Toma de datos de clorofila a los 90 días



Anexo 21. Pesaje de las pellas



Anexo 22. Niveles de compactación

Maturity Stages of Broccoli

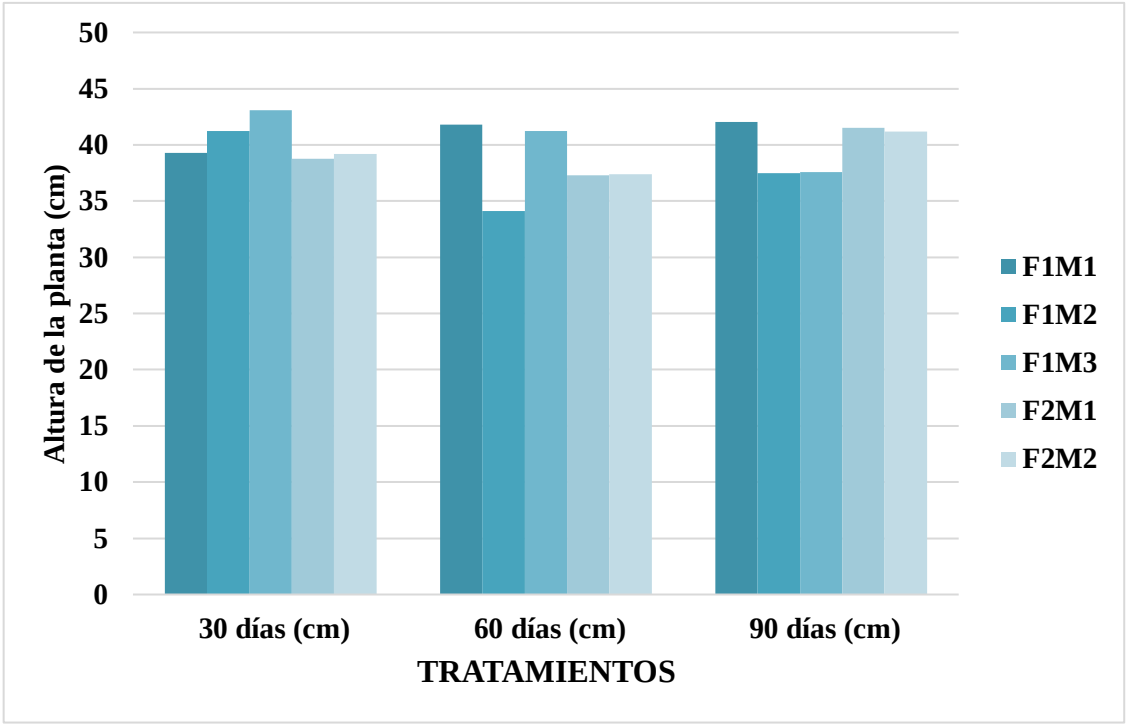


Immature
Beads small
Head very firm

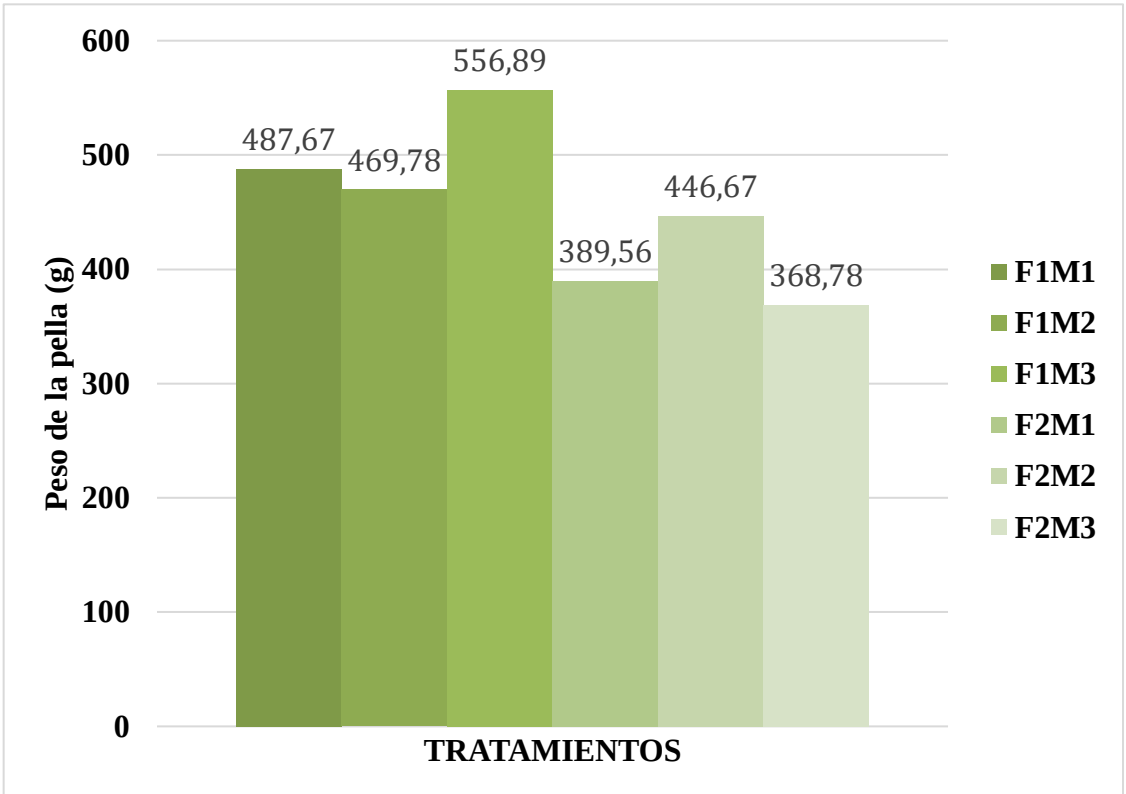
Mature
Beads well developed
Head firm

Overmature
Beads opening
Head not firm

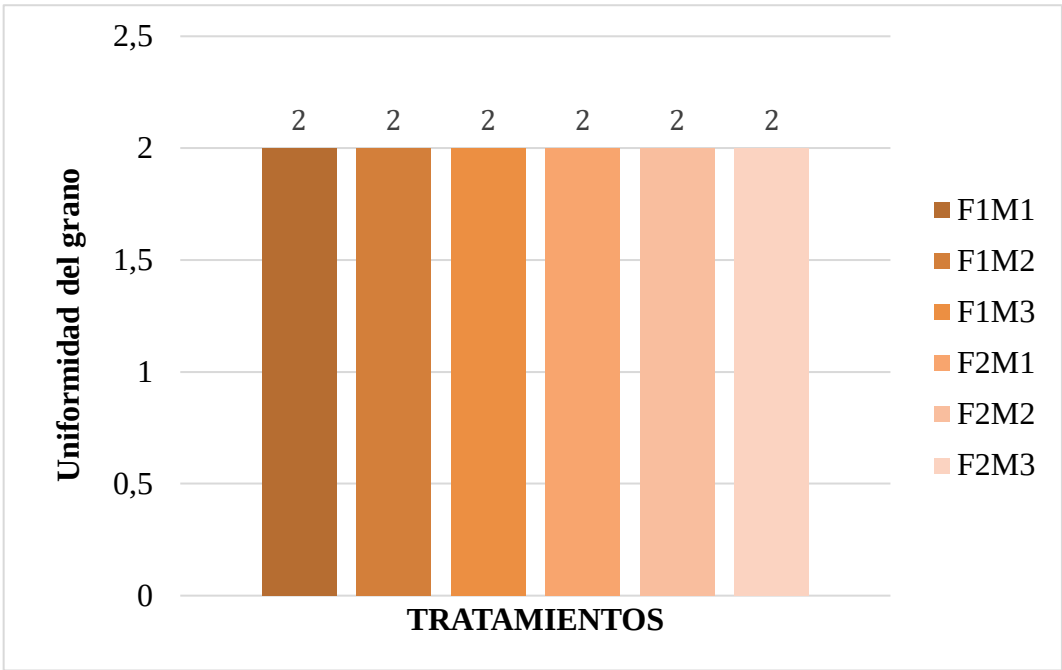
Anexo 23. Gráfico de barras de altura de la planta (cm)



Anexo 24. Gráfico de barras de peso de la pella (g)



Anexo 25. Gráfico de barras de la uniformidad del grano



Anexo 26. Gráfico de barras de contenido de clorofila de las hojas (SPAD)

