

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

Evaluación de seis diferentes soluciones nutritivas hidropónicas en el crecimiento de brócoli (*Brassica oleracea* L. var avenger) y su efecto en la resistencia a *Alternaria alternata*

Trujillo Corella Bryan Stalin

Ingeniería en Agronomía

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito
para la obtención del título de
Ingeniero Agrónomo

Quito, 22 de diciembre de 2023

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingeniería

HOJA DE CALIFICACIÓN DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA

Evaluación de seis diferentes soluciones nutritivas hidropónicas en el crecimiento de brócoli (*Brassica oleracea L. var avenger*) y su efecto en la resistencia a *Alternaria alternata*

Trujillo Corella Bryan Stalin

León Reyes Antonio, Ph.D

Quito, 22 de diciembre de 2023

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en la Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador.

Nombres y apellidos: Bryan Stalin Trujillo Corella

Código: 210550

Cédula de identidad: 172049114

Lugar y fecha: Quito, 22 de 12 de 2023

ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN

Nota: El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETHeses>.

UNPUBLISHED DOCUMENT

Note: The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETHeses>.

RESUMEN

El cultivo de brócoli es un rublo importante en la agricultura del Ecuador, cuya área de superficie sembrada en el país ha aumentado en los últimos años, sin embargo, su rendimiento y comercialización se ve afectado por el ataque del patógeno *Alternaria alternata*. Este hongo afecta las hojas afectando el desarrollo vegetativo, pero también afecta las pellas, disminuyendo su calidad y vida en percha. Una posible manera de reducir la infección de enfermedades en plantas, es por medio de la resistencia inducida empleando elicitores o cambio en la nutrición mineral. Por lo cual, en este estudio se evaluarán seis diferentes soluciones nutritivas hidropónicas, cada una con un elemento en alta concentración; los tratamientos empleados fueron: Control, nitrato de amonio (NH_4NO_3), muriato de potasio (KCl_4), cloruro de calcio ($CaCl_2$), ácido fosfórico (H_3PO_4) y cloruro de magnesio ($MgCl_2$). Se utilizó un diseño experimental DBCA con tres bloques y las variables evaluadas fueron: altura, peso de planta, largo, ancho de hoja, contenido de clorofila y severidad de infección en las hojas de *A. alternata*. El tratamiento $MgCl_2$ tuvo la mayor altura de planta y el tratamiento H_3PO_4 la menor. El mayor contenido de clorofila lo obtuvo el tratamiento $MgCl_2$ siendo superior al Control con 5 grados SPAD. El menor porcentaje de severidad de infección fue el Control y el tratamiento $MgCl_2$, los cuales fueron idénticos estadísticamente, mientras que el tratamiento H_3PO_4 obtuvo la mayor severidad de infección.

Palabras clave: *Alternaria*, brócoli, hidroponía, macroelementos, resistencia.

ABSTRACT

The broccoli is an important ruble in Ecuador's agriculture, whose surface area planted in the country has increased in recent years; however, its yield and comercialization is affected by the pathogen *Alternaria alternata*. This fungus affects the leaves, affecting the development of the plants, but also affects the pellets, decreasing their quality and perch life. One method to reduce disease infection in plants is through induced resistance using the nutrients they need in high concentrations. Therefore, in this study, six different hydroponic nutrient solutions were evaluated, each one with an element in high concentration; The treatments used were: Control, NH_4NO_3 , KCl_4 , $CaCl_2$, H_3PO_4 and $MgCl_2$. A DBCA experimental design was used with three blocks and the variables evaluated were: plant height and weight, leaf length and width, chlorophyll content and severity of infection in the leaves. The highest plant heigt was obtained with the $MgCl_2$ treatment and the H_3PO_4 treatment had de lowest. The highest chlorophyll content was obtained by the $MgCl_2$ treatment, being higher than the Control with 5 points SPAD. The lowest percentage of infection severity was in the Control and the $MgCl_2$ treatment, which were statistically identical, while the H_3PO_4 treatment had the highest infection severity.

Key words: Alternaria, broccoli, hydroponics, macroelements, resistance.

TABLA DE CONTENIDO

I. Introducción	10
1.1 Antecedentes.....	10
1.2 Justificación.....	13
II. Marco teorico.....	18
2.1 El brócoli.....	18
2.2 Clasificación y descripción botánica	18
2.3 Distribución.....	19
2.4 Aspectos agronómicos del cultivo de brócoli.....	19
2.4.1 Ciclo del brócoli.....	19
2.4.2 Clima.....	19
2.4.3 Suelo	20
2.4.4 Plantación.....	20
2.4.5 Control de malezas	21
2.4.6 Nutrición y fertilización.....	21
2.4.7 Enfermedades.....	22
2.4.8 Cosecha.....	22
2.4.9 Valor nutricional.....	23
2.5 Alternaria	24
2.5.1 Clasificación y descripción	24
2.5.2 Daños en cultivos	25
2.6 Hidroponía.....	25
2.7 Soluciones nutritivas.....	26
2.8 Resistencia Inducida	27
III. Objetivo general	28
3.1 Objetivos específicos.....	28
3.2 Hipótesis.....	28
IV. Materiales y métodos.....	28
4.1 Material biológico	29
4.2 Solución nutritiva utilizada	29
4.3 Método de manejo de los bioensayos.....	29
4.4 Métodos estadístico	32
V. Resultados.....	32
5.1 Altura de planta	32
5.2 Largo de hoja.....	33
5.3 Ancho de hoja.....	34
5.4 Peso de planta.....	35
5.5 Contenido de clorofila.....	36
5.6 Severidad.....	37
VI. Discusión	38
Conclusiones	40
Referencias bibliográficas.....	41
Anexo A: Tabla 1. ANOVA del promedio de la altura.....	45
Anexo B: Tabla 2. ANOVA del largo de hoja.....	46
Anexo C: Tabla 3. ANOVA del ancho de hoja.....	46
Anexo C: Tabla 4. ANOVA del peso de planta	46

Anexo C: Tabla 5. ANOVA del contenido de clorofila	47
---	-----------

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Altura de planta.....	32
Figura 2. Largo de hoja.....	32
Figura 3. Ancho de hoja	33
Figura 4. Peso de planta.....	33
Figura 5. Contenido de clorofila.....	34
Figura 6. Escala elaborada para medir la infección en las plantas	35
defined.	
Figura 7. Prueba Chi Cuadrado.	36
Figura 8. Total de hojas infectadas	37

I. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

El cultivo de brócoli en Ecuador es una actividad importante en la agricultura del país, en el último Censo Nacional Agropecuario se estimó que la superficie sembrada en el país en el año 2019 fue de 9 923 hectáreas, siendo la provincia de Cotopaxi el mayor productor con el 90% de la producción nacional, seguido de la provincia de Chimborazo con el 4,7%, Tungurahua con el 2,5% y el resto en Pichincha, Imbabura, Cañar, Azuay y Loja. El brócoli es una hortaliza de clima templado de alto valor nutricional que aporta vitaminas E, C y minerales como el sodio, magnesio, calcio, potasio y azufre, además se adapta bien a las condiciones climáticas de varias regiones ecuatorianas, especialmente en las zonas de la Sierra. Debido a su alto valor nutricional es una de las hortalizas con mayor demanda a nivel mundial, siendo Ecuador el principal exportador sudamericano, exportando 80 000 Toneladas métricas con un valor de US\$ 120 millones; el brócoli es uno de los principales productos no petroleros de exportación siendo Japón, Estados Unidos, Canadá, Guatemala y la Unión europea los principales países de destino. Uno de los principales problemas de su cultivo en el Ecuador es su bajo rendimiento, si se comparan con los rendimientos a nivel mundial. Los principales productores son China, India, México y Estados Unidos con una producción media de 20 toneladas por hectárea (t/ha^{-1}), por otro lado, en nuestro país el rendimiento es de $8 t/ha^{-1}$, este ha ido decreciendo en un promedio de 0,02% desde el año 2015 (Sánchez et al, 2019).

Una de las causas de los bajos rendimientos en el país es causada por el hongo necrotrófico del género *Alternaria*. Este es un hongo patógeno de vegetales encontrándose principalmente en el suelo, en vegetales en descomposición (madera, frutas, cereales, hortalizas), siendo mayor su proliferación en humedades relativas más altas (superiores al 90 %). También puede crecer en un amplio rango de temperaturas de 2 °C a 33 °C, y

amplio rango de pH entre 2-8. Este patógeno puede ocasionar pérdidas de hasta el 30 % en el rendimiento, ya que este afecta y daña las hojas provocando manchas cafés en el envés de las hojas e infecta la inflorescencia ocasionando su pudrición, impidiendo que estas puedan ser comercializadas. Entre los tratamientos para mitigar o prevenir el apareciendo de este hongo en el cultivo se incluyen tratamientos preventivos y la aplicación de funguicidas de amplio espectro, sin embargo, estos pueden tener efectos residuales en el producto, contaminan el medio ambiente y representan un alto costo para el productor (Acurio et al, 2018).

La resistencia sistémica inducida (ISR) es un mecanismo de defensa en las plantas que se activa cuando se produce una infección por un patógeno, el cual consiste en incrementar las defensas físicas y químicas de la planta, por medio de las señales de transducción activadas por el ácido jasmónico y etileno (Choudhary et al, 2002). Por otro lado, la resistencia sistémica adquirida (SAR) es un mecanismo de defensa que se activa en toda la planta después de una exposición localizada anterior a un patógeno y es análogo al sistema inmune que se encuentra en los animales, y a diferencia del ISR su respuesta depende del ácido salicílico (Ausubel, 2005). Tanto el salicílico como el jasmónico son hormonas vegetales que inducen a la producción de proteínas con propiedades antifúngicas y oxidativas. Por un lado, el jasmónico pertenece a una clase de lípidos conocidos como oxilipinas y su síntesis se produce en los cloroplastos (López et al, 2021). Por otro lado, el salicílico se acumula intracelularmente en las plantas como mecanismo de defensa, lo que aumenta los niveles de Especies Reactivas de Oxígeno y expresión de genes, después se produce la inducción de resistencia en el tejido sistémico haciendo que este se aleje del punto de infección (Diaz, 2012).

Una de las formas de reducir la incidencia de enfermedades fúngicas en plantas, es por medio de la resistencia inducida, la cual consiste en la aplicación de diferentes nutrientes tanto macro y micros en una mayor concentración, entre los nutrientes que han demostrado ser eficaces para la prevención de enfermedades causados por hongos se encuentran el potasio, elemento que en deficiencia provoca una acumulación de aminoácidos y azúcares que disminuyen y retrasan la cicatrización de heridas, favoreciendo así la penetración de los patógenos. Otro elemento cuya deficiencia facilita la infección de hongos en la planta es el calcio, cuya función es la inhibición de la actividad de las enzimas pectolíticas, las cuales algunos hongos utilizan para invadir el tejido vegetal, además, dicho elemento da estabilidad a las membranas y paredes celulares (Criollo et al, 2021).

La aplicación de nutrientes en una mayor concentración puede ser beneficio tanto en el desarrollo y crecimiento de las plantas, como en la resistencia a patógenos, sin embargo, el exceso de estos elementos puede resultar fitotóxico y hacer que las plantas tengan una mayor susceptibilidad a enfermedades y un menor crecimiento y desarrollo. Pero también el exceso de estos puede ocasionar antagonismos entre nutrientes, debido a las interacciones entre iones, el diámetro del ión y la valencia. Entre los principales grupos de elementos antagónicos se encuentran el amonio y potasio, nitrógeno y cobre, fósforo y zinc, por ejemplo, altas cantidades de amonio provoca una menor absorción de potasio en las raíces ya que ambos son cationes monovalentes; una gran concentración de nitrógeno provoca la inmovilización del cobre, lo cual inhibe la absorción de este nutriente por la planta, y una alta concentración de fósforo disminuye la absorción de zinc ya que se forman complejos de zinc-fósforo que precipitan (Cakmak, 2015).

Las soluciones nutritivas en la hidroponía son mezclas específicas de nutrientes disueltos en agua que proporcionan a las plantas todo lo que necesitan para crecer y desarrollarse

adecuadamente, ya que, en este sistema de cultivo, las plantas no obtienen nutrientes del suelo, sino directamente de la solución nutritiva. La solución Hoagland es uno de los medios nutritivos hidropónicos más utilizados en investigaciones científicas y en experimentos en el cultivo de plantas en condiciones controladas, ya sea en invernaderos, o en laboratorios ya que esta cuenta con todos los macros y micro nutrientes que las plantas necesitan para su crecimiento y desarrollo. También se utiliza para estudiar los efectos de diferentes nutrientes en el crecimiento y desarrollo de las plantas, así como para determinar las deficiencias nutricionales en estas. Los nutrientes esenciales que se encuentran en esta solución incluyen nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre, hierro, manganeso, zinc, cobre, boro y molibdeno, entre otros, sin embargo, la cantidad y los elementos pueden variar según el propósito del estudio y las necesidades de la planta (Smith et al, 1983).

1.2 Justificación

En una solución nutritiva se encuentran disueltos los nutrientes esenciales que las plantas necesitan para su crecimiento y desarrollo, dichos nutrientes se encuentran en forma de iones en un medio acuoso. Las soluciones difieren en su composición según el tipo de cultivo; demanda nutricional; variedad y la etapa fenológica del cultivo. Por lo tanto, es muy importancia tener en cuenta estos factores al momento de preparar la solución, además de tener en cuenta, la interacción entre la cantidad de iones minerales, el pH y la conductividad eléctrica (Gambino, 2014). El potencial de hidrogeno (pH) afecta directamente la absorción de iones en el cultivo, por lo tanto, se debe mantener en un rango entre 5.8 y 6.5, si el pH se encuentra fuera de estos valores, algunos elementos pueden precipitar y causar toxicidad y deficiencias, por ende, se debe monitorear continuamente los valores de la solución y hacer los ajustes necesarios en esta. La conductividad eléctrica (CE) permite conocer el contenido de sales en la solución

nutritiva, un incremento de sales, sobre todo de iones cloruros y iones de sodio ocasionan un aumento de la presión osmótica de la solución y generan un desbalance hídrico en la planta, por lo tanto, mantener la CE en un rango adecuado según la especie vegetal es importante para su correcto desarrollo (INTAGRI, 2017).

Uno de los sistemas hidropónicos más utilizados es el sistema de Técnica de Flujo Laminar de Nutrientes (NFT) la cual se desarrolló en el año 1979, esta técnica permite reciclar el agua con la solución nutritiva, ya que esta recircula el agua que fluye por los tubos donde se encuentran las plantas hasta el tanque madre donde se encuentra la solución; la recirculación permanente o por ciclos consiste en el paso de una lámina fina entre los tubos la cual aporta los nutrientes y permite una oxigenación adecuada de las raíces. Entre las principales ventajas de este sistema de producción, es que permite acortar los períodos del cultivo, además de un uso eficiente de fertilizantes y agua, ya que estos elementos al estar disponibles en las cantidades adecuadas disminuyen el estrés de las plantas, por ende, también se obtiene un mayor rendimiento. Una de las principales desventajas del sistema NFT es su alto costo de inversión inicial, ya que este requiere de tubos de PVC, bombas de agua y equipos tecnológicos para medir y ajustar los parámetros de las soluciones nutritivas (Rodríguez, 2013).

En el país se pierden grandes hectáreas de superficie de brócoli por plagas y enfermedades, entre ellas causada por la alternariosis, lo que causa en el brócoli una enfermedad conocida como mancha foliar; este patógeno infecta las plantas en cualquier estado fenológico, siendo las plantas juveniles las más afectadas, el principal problema es que provoca la pudrición de las pellas, ocasiona que un tercio de estas se pierdan, causando considerables pérdidas económicas. Según el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) en el Ecuador la producción de brócoli representa el 2% de las

exportaciones agropecuarias del país, y abarca el 3% de la superficie de siembra de cultivos transitorios en la Sierra con la participación de 12 812 personas involucradas en el proceso de producción. La principal provincia productora de este vegetal es la provincia de Cotopaxi que cubre el 79% de la superficie sembrada, seguida de la provincia de Tungurahua con el 16%. La población que participa en el proceso productivo está compuesta por el 21% de familias o personas productivas, un 24% remunerados ocasionales y un 55 % remunerados permanentes. En el Ecuador el 93% de producción de este cultivo es producido principalmente por pequeños productores los cuales cuentan con menos de una hectárea, seguido de medianos productores con el 4 % (1 a 19,9 ha) y grandes productores con el 3% (mayor a 20 ha). A pesar de que su producción en el año 2021 se redujo en un 29% con relación al año 2020, sin embargo, las exportaciones aumentaron en un 4% en el 2021. En cuanto a los precios se mantienen estables hacia el productor, al cual se le paga 28-29 centavos de dólar por kilo de brócoli, por otro lado, el precio internacional de este ha tenido un alza, debido a la creciente demanda en donde el precio por tonelada alcanzo un máximo de USS 2 779 en diciembre de 2021; entre los principales consumidores de brócoli ecuatoriano se encuentra Japón y Estados Unidos (2021)

La alternaria es un patógeno que se adapta a diferentes medios ecológicos, con hábitos saprofitos, sobrevive en los residuos de cosechas anteriores siendo estos los principales focos de contaminación. Produce clamidosporas, las cuales son esporas en dormancia, de paredes celulares gruesas que ayudan en la supervivencia en condiciones desfavorables, como la sequía, y se activan cuando existe una alta humedad relativa en el ambiente alrededor del 87% y una temperatura de 13 °C a 30 °C. Además, las esporas de alternaria pueden propagarse por medio del aire, sobrevivir en las semillas, transmitirse por medio de insectos y por el uso de herramientas empleadas sin la desinfección adecuada. Entre el

manejo agronómico y de prevención se recomienda utilizar semilla certificada, programas de rotación de por lo menos tres años evitando sembrar crucíferas, control de malas hierbas ya que están sirven como hospedero para el patógeno, mantener una buena aireación, evitar los riegos por aspersión, entre otros. En cuanto al control químico se recomienda el uso de fungicidas con acción translaminar o sistémica que tienen compuestos como el clorotalonil, fludioxonil, ciprodinil, pyraclostrobin, expoxiconazole, entre otros (LaMondia, 2013). Sin embargo, el uso incorrecto e indiscriminado de dichos productos afectan la calidad del suelo, crea resistencia por parte del patógeno si no se emplea un estricto plan de control del Comité de Acción contra la Resistencia a Fungicidas (FRAC), si no se respeta el período de carencia desde la última aplicación, estos dejan residuos en el producto final los cuales son ingeridos por el consumidor, perjudican la fauna benéfica de la zona, contaminan fuentes de aire, etc.

Una agricultura más limpia y sostenible en el tiempo, que reduzca el impacto ambiental y que logre suplir la demanda mundial de alimentos es uno de los retos actuales que la humanidad debe enfrentar, dichos aspectos deben ir de la mano de una buena productividad y rentabilidad para el agricultor. Una forma de reducir el uso de pesticidas es por medio de la resistencia genética de las plantas a diferentes enfermedades utilizando una correcta nutrición vegetal, ya que el rol de los nutrientes permite a la planta prepararse y activar estrategias para futuras infecciones por parte de los patógenos. Por lo tanto, estudiar el exceso de nutrientes nos podría ayudar a entender el impacto en la resistencia a enfermedades, motivo por el cual algunos agricultores prefieren aplicar en grandes cantidades los fertilizantes, entre los fertilizantes más utilizados se encuentra el nitrógeno. El nitrógeno con altos contenidos aumenta la resistencia a patógenos necróticos y facultativos, sin embargo, provoca susceptibilidad a patógenos biotróficos u obligados, ya que el nitrógeno en exceso provoca una deficiencia de azufre, lo cual disminuye la

producción de azúcares reductores y la síntesis de proteínas, aumentando el contenido de carbohidratos y aminoácidos solubles, y creando un ambiente ideal para que dichos patógenos proliferen (Epstein & Bloom, 2005).

II. MARCO TEORICO

2.1 El brócoli

El brócoli moderno se originó a partir de la selección de plantas silvestres de brasicáceas en el norte del Mediterráneo a partir del siglo VI AC. Los primeros cultivares primitivos se cultivaron en el Imperio Romano, los mismos que se obtuvieron y mejoraron con la selección artificial en la península itálica. En el siglo XVIII el brócoli se esparció por el norte de Europa y a partir del siglo 19 se lo introdujo en Norte América por los inmigrantes italianos. Luego de la segunda guerra mundial, el mejoramiento de esta especie por parte de Estados Unidos y Japón produjo las primeras variedades F1, con lo cual se aumentó la productividad, se mejoró la calidad, se aceleró su crecimiento y su adaptación a distintas zonas, entre dichos cultivares se encuentran Premium Crop, Packman y Marathon. En la actualidad una de las principales variedades de brócoli que se siembran es la variedad Avenger, la cual destaca por tener mínima presencia de brotes laterales, una pella compacta de gran calibre y peso. (Branham et al, 2017).

2.2 Clasificación y descripción botánica

El brócoli cuyo nombre científico es *Brassica oleracea* var. Itálica pertenece a la familia Brassicaceae, las cuales se caracterizan por ser plantas herbáceas perennes, anuales o bianuales. El brócoli es una especie anual que puede crecer hasta 60-90 cm de altura, se caracteriza por tener abundantes inflorescencias al final de un tallo central, el color de las flores varía del violeta al blanco, siendo las más comunes amarillas. Su periodo de crecimiento es de 14 a 15 semanas y su cosecha se la realiza manualmente una vez que su cabeza floral está completamente formada y las flores todavía no se han abierto (Branca et al, 2008).

2.3 Distribución

La mayoría de cultivares de brócoli requieren de climas templados, ya que en zonas con elevadas temperaturas su rendimiento se reduce drásticamente, ya que su cultivo requiere de temperaturas entre 18 °C a 23 °C. Entre los mayores productores se encuentra China con 9.5 millones de toneladas (t), India con 9.2 t, Estados Unidos con 1 t y España y México con 0,7 t, dando en total una producción mundial de 25.8 millones t (FAOSTAT, 2021).

2.4 Aspectos agronómicos del cultivo de brócoli

2.4.1 Ciclo del brócoli

Para su cultivo se consideran dos fases de desarrollo, la primera corresponde a la fase de crecimiento vegetativo, la cual inicia desde la germinación de las semillas, y termina con la formación de los brotes florales. La segunda fase es la reproductiva, en donde se produce la inducción floral y la formación de la pella. La inducción floral ocurre en temperaturas de 5 °C y 10 °C, cuando las plantas tienen de 4 a 6 hojas y una altura de 15 cm, mientras que, la formación de la pella ocurre aproximadamente a los 85 días después del trasplante. (Giacconi,1988).

2.4.2 Clima

El brócoli es una especie de día neutro, esto significa que la cantidad de horas luz no determina su diferenciación floral, siendo la temperatura el mayor factor para la floración, afectando así su calidad y rendimiento. Durante la germinación de la semilla se requieren temperaturas de 25-28 °C, siendo la mínima de 4 °C, para la inducción de la pella se necesitan temperaturas de entre 5-10 °C durante cinco semanas, y durante la formación y crecimiento, las temperaturas mínimas deben ser de 5-7 °C, siendo de 20-25 °C la temperatura óptima. Con temperaturas altas se producirá un crecimiento irregular, aumentando el tamaño general del tallo y hojas, pero reduciendo el tamaño de la pella,

provocando que sean menos compactas, descoloridas y que las yemas florales se abran prematuramente. En su fase vegetativa y productiva, necesita una alta humedad ambiental, pero el exceso de humedad aumenta la proliferación de enfermedades fúngicas. Por otra parte, si el ambiente es muy seco causan problemas en la compactación de las pellas (Alijaro, 2000).

2.4.3 Suelo

Los mayores rendimientos se obtienen en suelos francos con un contenido de materia orgánica mayor al 3%, con buena capacidad de retención de humedad, que drenen correctamente, y tengan una profundidad de por lo menos 60 cm; los suelos arenosos no son recomendables debido a su poca capacidad para retener agua, provocando cambios bruscos de humedad. Se recomiendan suelos con un pH neutro con valores de 6,5-7,5. En suelos con un pH mayor a 7,5 se presentan deficiencias de zinc, manganeso y hierro mientras que en suelos con pH menor a 6,5 incrementa la incidencia de enfermedades en la raíz como la que produce el hongo *Plamodiospora brassicae*, además se producen deficiencias de molibdeno, magnesio y fosforo. En cuanto a salinidad tolera valores de 2,7 deciSiemens por metro dS/m (el deciSiemens es una unidad utilizada para medir la conductividad eléctrica) siendo el valor máximo de 5,5 dS/m. (González, 1992).

2.4.4 Plantación

Al ser una especie susceptible a hongos y nemátodos del suelo se recomienda rotar con otros cultivos como trigo, maíz, cebada y no se debe rotar con otras crucíferas (repollo, coliflor, nabos, etc.). Para la preparación del suelo, se recomienda una desinfección química, seguido de dos labores con rastra un mes antes del trasplante, y de acuerdo con los resultados del análisis del suelo se agregará cal para corregir el pH. (Kehr y Díaz, 2012).

En cuanto al sistema de cultivo, la germinación se hace en bandejas germinadoras, la siembra de las semillas se realiza 45 días antes del trasplante a campo. La cantidad de semilla en semillero es de 250 g/ha^{-1} , aproximadamente de $3\text{-}4 \text{ g/m}^2$, por lo que para una hectárea se necesitan una superficie de $45\text{-}70 \text{ m}^2$. Las distancias de plantación en el campo dependerán de la variedad empleada, pero la recomendación es de $35\text{-}50 \text{ cm}$ entre plantas y $60\text{-}70$ entre hileras, dando una densidad de $40\ 000\text{-}44\ 000$ plantas por hectárea. El sistema de plantación suele ser en tres bolillos, hileras pareadas o en hileras simples, además, se recomienda la instalación de un sistema de riego tecnificado ya sea por aspersión, por goteo o en cintas cada dos hileras (González, 2012).

2.4.5 Control de malezas

Las plantas son más susceptibles a las malas hierbas durante sus primeros estados de desarrollo, por lo tanto, se recomienda utilizar trifluralina en la pre siembra, mientras que, para el control de gramíneas se recomienda utilizar productos que tengan como componente activo el pendimetalin. La aplicación de herbicida se deberá realizar en las primeras cuatro a cinco semanas una vez que se ha establecido el cultivo en campo, de esta manera, se evita la competencia por nutrientes ocasionadas por las malezas, además, debido a su rápido crecimiento pueden generar sombra lo que ocasiona que las plantas se debiliten. Como labores complementarias se pueden realizar dos deshieras manuales a los 15 y 20 días después del trasplante (Bravo y Aldunate, 2012).

2.4.6 Nutrición y fertilización

La dosis referencial de fertilización en el cultivo de brócoli es de $100\text{-}200 \text{ kg N/ha}^{-1}$, $100\text{-}150 \text{ kg P}_2\text{O}_5/\text{ha}^{-1}$, $100\text{-}200 \text{ kg K}_2\text{O/ha}^{-1}$, 3 kg de Boro/ha y $29 \text{ kg de Magnesio/ha}$, sin embargo, esta puede variar según la cantidad de nutrientes en el suelo, por lo que esta, se deberá ajustar a los resultados de un análisis químico del suelo. La fertilización debe ser aplicada por partes para asegurar un correcto crecimiento de las

plantas y así evitar picos irregulares de crecimiento, para ello se recomienda aplicar el 50% de nitrógeno en el momento de la siembra y el otro 50% a los 30 días después del trasplante, mientras que el fósforo, el potasio y los micronutrientes se aplicarán solo en la pre siembra (Kehr y Díaz, 2012). En suelos que tengan un pH menor a 5.5, se recomienda hacer una enmienda con cal, aplicada en la última labor del suelo un mes antes del trasplante, en dosis de 1 y 2 t/ha^{-1} , la cantidad dependerá de los niveles de calcio presentes en este (Kehr & Bórquez, 2010).

2.4.7 Enfermedades

Otras enfermedades que afectan a este cultivo además de la alternaria son: *Phoma Lingam*, *Botrytis cynerea* y *Peronospora parasítica*. El primero se lo conoce como “pie negro” y tiene una mayor incidencia de infección en suelos con mucha humedad y climas fríos, este hongo provoca podrición de los tallos, sobre todo, en plantas jóvenes; también causa clorosis en hojas y finalmente la muerte de las plantas. La segunda enfermedad que afecta el brócoli es la “botritis”, este patógenos es uno de los más comunes en hortalizas, en brócoli afecta a plántulas jóvenes, tallos y pellas; prolifera cuando la humedad ambiental es alta, produciendo una capa fructífera conspicua de color gris. Y la tercera enfermedad se la conoce como “mildiu veloso”, la cual se presenta en el envés de hojas jóvenes produciendo manchas negras e irregulares, las hojas viejas son más susceptibles causando clorosis y muerte de tejido celular en estas (Narro et al, 2005).

2.4.8 Cosecha

La cosecha se realiza cuando las pellas alcanzan su mayor desarrollo, pero se debe evitar que las yemas florales se abran, ya que esto, disminuye la calidad del producto, un brócoli cosechado de calidad debe tener un color verde oscuro, ser firme y sus flores deben estar cerradas. El corte de la pella se realiza entre 10-15 cm del tallo y el empaçado puede realizarse en campo o en la postcosecha; se recomienda realizar un proceso de

preenfriamiento de las pellas antes de ser empacadas, ya que, de esta forma, se reducen las pérdidas por transpiración. En el empaque se aplica hielo en las cajas de cartón encerado donde se empacan entre 14 y 18 pellas, cada caja pesa unos 12 kg. El enfriamiento rápido en el producto aumenta su vida en percha, manteniendo su calidad, por ende, este debe ser almacenado a 0° C con una humedad relativa del 90-95%, en esta condición, su tiempo en percha será de 10- 14 días. Se debe evitar almacenar el brócoli con otros productos que emitan etileno como el banano o el aguacate, ya que este gas provoca decoloración de la pella (Jaramillo y Díaz, 2006).

2.4.9 Valor nutricional

El brócoli crudo está compuesto por un 89% agua, 7% carbohidratos, 3 % proteína y es una buena fuente de vitamina C y vitamina K. Además, contiene compuestos como el sulforofano, glucorafina, selenio, isotiocianatos, entre otros. Dichos compuestos poseen una serie de beneficios para la salud, entre los cuales destacan el tener propiedades anticancerígenas, antidiabéticas y antioxidantes (Anshu et al, 2023).

Su actividad anticancerígena se debe a los isotiocianatos, los cuales se encuentran presente en muchas crucíferas, estos compuestos producen moléculas inestables de oxígeno que causan la muerte celular en células cancerígenas (Zhan et al. 2006). En un estudio realizado por Nettleton (2006), se demostró que consumir 10g de brócoli al día durante cuatro semanas disminuye significativamente los niveles de insulina, esto se debe a los flavonoides presentes en este vegetal, los flavonoides actúan como antiinflamatorios y antioxidantes que protegen al cuerpo contra la diabetes. Riso et al (2010) afirma que, una ingesta de brócoli está asociada a un mayor contenido de antioxidantes en el cuerpo, debido a los glucosinolatos presentes en este. Este compuesto tiene propiedades que limitan el crecimiento de tumores en la fase de post iniciación, por ende, se sugiere que

tiene un rol importante en la prevención del cáncer ya que activa enzimas durante la fase uno y dos de la carcinogénesis.

2.5 Alternaria

La alternaria es una de las principales enfermedades que afectan a este cultivo y es causada por los hongos *Alternaria alternata*, *Alternaria brassicae* y *Alternaria japonica*, estas especies causan lo que se conoce como la enfermedad del tizón o mancha negra. La infección con alternaria en el cultivo puede causar pérdidas en el rendimiento hasta en un 46%. (Soengas et al. 2007). La especie que infecta los cultivos de brócoli en el Ecuador es *Alternaria alternata* y para su control se emplean los funguicidas que contienen ingredientes activos como el fludioxonil (para el tratamiento de semillas) y el metalaxil-M como funguicida sistémico (Syngenta, 2023)

2.5.1 Clasificación y descripción

Alternaria alternata pertenece al filo ascomycota y a la familia Pleosporaceae, se desconoce su fase teleomorfa, sin embargo, en su fase anamorfa presenta conidios de forma ovoide de color marrón claro con un tamaño de 25–63 x 9–18 micrómetros(um), además de poseer varios septos verticales y ocho transversales. En cuanto al conidióforo, este es de color marrón oliva con forma recta o curva, en el extremo del conidióforo principal hay 4-8 cadenas de conidios, mientras que en los secundarios solo hay un conidio. En condiciones óptimas de laboratorio, la alternaria en un medio en agar de patata (PGA) y en una cámara de incubación a 25 C crece de manera rápida y madura a los 5 días, produciendo un tamaño de colonia de 3 a 9 cm, la colonia es plana, vellosa y cubierta por hifas de color gris, las cuales con el tiempo se vuelven de color negro verdoso a marrón con un borde claro (Larone, 2011).

2.5.2 Daños en cultivos

Es un hongo que generalmente infecta a su huésped por medio de las heridas en tallos, hojas, o floretes, sin embargo, también puede romper la cutícula protectora de la planta cuando las condiciones ambientales son favorables como una alta humedad. La infección en las plantas comienza desde las hojas basales hasta las pellas, los primeros síntomas se presentan con el amarillamiento de las hojas comenzando desde las puntas y desarrollándose a lo largo del margen hasta el peciolo; después el patógeno provoca manchas de mayor diámetro. Las manchas son redondas o irregulares, ligeramente deprimidas y con un borde café bien marcado, mientras que en el centro son negras por la necrosis producida en la hoja. En casos de infestaciones severas, puede provocar la defoliación total en la planta y ocasionar pérdidas importantes en la cosecha. Cuando afecta a las pellas estas se vuelven de color marrón amarillo, disminuyendo su calidad y haciéndolas poco apetecibles para los consumidores (Sepúlveda, 2005).

2.6 Hidroponía

La hidroponía es una técnica para cultivar plantas sin suelo, para esto se emplean soluciones nutritivas, las cuales tienen los macro y micro nutrientes que las plantas necesitan para su desarrollo y crecimiento. La hidroponía surgió en el siglo XIX y fue William Frederick, quien sugirió que esta técnica podría ser empleada para la producción agrícola, y realizó estudios en tomate en un medio hidropónico, los cuales alcanzaron mayores rendimientos a los que se obtenían en un sistema convencional en suelo. La investigación sobre el sistema hidropónico continuo y Dennis Hoagland y Daniel Arnon comprobaron las ventajas del cultivo hidropónico en comparación con el sistema convencional, las ventajas son: las raíces de las plantas tienen acceso constante al oxígeno, se evitan problemas de sub irrigación y sobre irrigación, se usa de manera eficiente la cantidad de nutrientes y agua ya que estos se reciclan (Megan, 2014).

En la actualidad existen diferentes sistemas hidropónicos como el de raíz flotante, aeropónico, por goteo, NFT, entre otros, siendo el sistema NFT uno de los más utilizados, este sistema fue desarrollado en los años 60 por el inglés Alen Cooper, este sistema emplea tubos generalmente de PVC, por los cuales circula la solución nutritiva impulsada por una bomba de agua desde un tanque de almacenaje; además es un sistema recirculante ya que el agua es reciclada constantemente desde los tubos hasta el tanque. Adicional a esto, se utiliza un temporizador el cual se lo programa para que la bomba funcione por ciclos, de esta manera se asegura que las plantas se mantengan hidratadas y a la vez provee de una correcta oxigenación de las raíces (Vasallo, 2022).

2.7 Soluciones nutritivas

Una solución nutritiva es un medio acuoso en el cual se encuentran disueltos los minerales esenciales que las plantas necesitan para su desarrollo y crecimiento, una solución nutritiva completa debe tener nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre, hierro, molibdeno, manganeso, boro, zinc, cobre y níquel. Estos elementos deben estar en forma de iones para que la planta pueda asimilarlos. La cantidad de micro y macro nutrientes dependerá de la especie de planta y de la etapa fenológica en la cual se encuentra (Beltrano, 2015). Sin embargo, existen medios comerciales como el medio “Murashige & Skoog” y el “Hoagland”. El primero fue desarrollado en el año 1962 por los investigadores Toshio Murashige y Folke Skoog, es un medio que generalmente se utiliza en el cultivo invitro de tejidos vegetales, este medio está compuesto por macros: (NH_4NO_3) 1650 mg/l, $(\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O})$ 440 mg/l, $(\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O})$ 370 mg/l, (KH_2PO_4) 170 mg/l y (KNO_3) 1900 mg/l y micros: Ácido bórico (H_3BO_3) 6. 2 mg/l, Cloruro de cobalto(II) ($\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) 0.025 mg/l, Sulfato de hierro ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) 27.8 mg/l, Sulfato de manganeso ($\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) 22.3 mg/l, Yoduro de potasio (KI) 0.83 mg/l, Molibdato de sodio ($\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) 0.25 mg/l, Sulfato de

cinc ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) 8.6 mg/l, Ácido etilendiaminotetraacético (FeNaEDTA) 36.70 mg/l y Sulfato de cobre (II) pentahidratado ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) 0.025 mg/l (Murashige y Skoog, 1962).

Por otro lado, el medio “Hoagland” fue creado en el año 1933 por Dennis Hoagland, este medio es uno de los más empleados en la hidroponía. Esta solución está compuesta por los siguientes elementos: N 210 ppm, P 31 ppm, S 64 ppm, Cl 0.14 ppm / 0.65 ppm, B 0.11 ppm / 0.5 ppm, Na 0 ppm / 0.023 ppm / 1.2 ppm, Mg 48.6 ppm, K 235 ppm, Ca 200 ppm / 160 ppm, Mn 0.11 ppm / 0.5 ppm, Zn 0.023 ppm / 0.05 ppm, Cu 0.014 ppm / 0.02 ppm, Mo 0.018 ppm / 0.048 ppm / 0.011 ppm, Fe 1 ppm / 5 ppm / 2.9 ppm. Además, ese medio se emplea como solución base cuando se quiere contrastar el exceso o deficiencia de cierto nutriente en específico. (Hoaglan y Arnon, 1938).

2.8 Resistencia Inducida

En el siglo XX se realizaron las primeras investigaciones sobre las respuestas inductoras a las enfermedades en plantas, en donde se examinaba la posibilidad de que las plantas pueden protegerse de la infección de microorganismos patógenos por medio de la activación de sus mecanismos de defensas, sin embargo, fue hasta el año 1959 que el investigador Kúc. J. describió el mecanismo de la resistencia inducida contra la sarna del manzano, y a partir de este estudio, muchos más han demostrado la capacidad natural de las plantas para defenderse de diferentes patógenos, codificando diferentes genes que neutralizan o disminuyen el daño ocasionado por los microorganismos; a esto se lo llama resistencia sistémica (Gómez, 2008). Se puede inducir resistencia en las plantas aplicando sustancias inductoras como ácidos grasos, glicoproteínas, péptidos, polisacáridos, etc. Sin embargo, los mecanismos de defensa consumen una gran cantidad de energía, por ende, la fertilización desempeña un rol fundamental en la resistencia a patógenos.

El efecto de resistencia dependerá de la concentración de los macro elementos y los micro elementos, se ha demostrado que una alta fertilización con fosforo en cereales puede reducir la pudrición de raíz causada por microorganismos hasta en un 50% (Rodríguez, 2016). Altas dosis de calcio disminuyen las infecciones causadas por hongos ya que este elemento inhibe la poligalacturonasa, esta es una enzima que es producida por los hongos para poder disolver la pared celular de los vegetales y así alimentarse de sus compuestos solubles. En otro estudio se concluyó que el cloruro de potasio en concentraciones adecuadas suprime la enfermedad radicular en trigo causada por *Gaeumannomyces graminis*, sin embargo, si la concentración de KCl es muy alta, esta crea un desbalance de calcio al ser un antagonista de este elemento, produciendo deficiencias de dicho elemento (Sabino et al, 2007).

III. OBJETIVO GENERAL

Evaluar seis diferentes soluciones nutritivas hidropónicas en el crecimiento de brócoli (*Brassica oleracea L. var avenger*) y su efecto en la resistencia a *Alternaria alternata*

3.1 Objetivos específicos

- Determinar el efecto de 6 nutrientes en el crecimiento de las plantas de broccoli.
- Establecer el impacto de las 6 diferentes soluciones hidropónicas en la resistencia a *Alternaria alternata*.

3.2 Hipótesis

La adición de uno o de varios elementos en alta concentración tienen efecto para la resistencia a *alternaria* en brócoli.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Material biológico

Las plantas de brócoli de la variedad Avenger se obtuvieron de la empresa ‘Pilvicsa’, la cual se destaca por tener un sistema radicular vigoroso, pellas grandes, pesadas y compactas, de brotes florales finos de color verde azulado, esta variedad tiene un ciclo promedio total de 105 días.

La recolección de *Alternaria alternata* provino de diferentes plantaciones de brócoli de la provincia de Cotopaxi y se la cultivo en el laboratorio de biotecnología agrícola de la Universidad San Francisco de Quito (León-Herrera 2022) y (Ramirez-Villacis et al 2023).

4.2 Solución nutritiva utilizada

Se utilizó una solución Hoagland NewPonia de la empresa Microtech, la cual está compuesta por: Nitrógeno (N): 6.14 %, Potasio (KO): 8.47%, Calcio (CaO): 4.73%, Hierro (Fe): 0.11%, Magnesio (MgO): 2.55%, Molibdeno (Mo): 0.01%, Boro (B): 0.01%, Cobre (Cu): 0.007%, Manganeso: 0.5 ppm, Azufre: 64 ppm, Fósforo: 31 ppm, Zinc: 0.05 ppm.

4.3 Método de manejo de los bioensayos

Para el diseño experimental se utilizó un Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA), el DBCA se utiliza cuando existe homogeneidad en el material genético y para disminuir el error experimental debido a la heterogeneidad del suelo (Lara, 2000). Para los dos bioensayos se empleó el mismo diseño experimental con tres bloques y seis tratamientos los cuales fueron: Control (solo Hoagland), Hoagland + nitrato de amonio, Hoagland + muriato de potasio, Hoagland + cloruro de magnesio, Hoagland + ácido fosfórico y Hoagland + cloruro de calcio.

Las variables a evaluar fueron: Peso y altura de planta, largo y ancho de la hoja, contenido de clorofila y severidad en base a una escala. Para el peso de la planta se utilizó una balanza analítica y la unidad de medida fue en gramos (g), para la altura de la planta y el

largo y ancho de la hoja se midió en centímetros (cm) y se empleó un flexómetro. Para el contenido de clorofila se midió en grados SPAD y se tomaron 3 mediciones en la primera hoja completamente expandida de cada planta, para esto se utilizó el equipo SPAD-502 Plus 2900P-C. El SPAD-502 plus evalúa cuantitativamente el contenido de clorofila basado en el color de la hoja (Cunha et al, 2015).

Los bioensayos se realizaron bajo invernadero con un fotoperiodo de 12 horas con luz artificial. Se prepararon seis soluciones Hoagland con una CE de 1dS/m en 10 litros de agua, en cada solución se agregaron diferentes nutrientes hasta llegar a una CE de 4 dS/m. Los elementos agregados fueron nitrato de amonio, muriato de potasio, cloruro de magnesio, ácido fosfórico, cloruro de calcio. Se ejecutaron dos bioensayos, en el primero se mantuvieron las plantas en una solución Hoagland con un CE de 1dS/m durante dos semanas, luego se agregaron varios elementos macros y micros a hasta llegar a una CE de 2 dS/m hasta la cuarta semana, y por último, se incrementó la CE con sus respectivos elementos hasta alcanzar a una CE de 4 dS/m y se las mantuvieron durante cuatro semanas más. En el segundo bioensayo se suministraron las plantas con una solución Hoagland con un CE de 1dS/m durante una semana, luego se agregó varios elementos hasta llegar a una CE de 4 dS/m, durante dos semanas, por último, se infectaron tres hojas de cada planta con el patógeno *Alternaria*, a las cuales se las marco con una x en la parte infecta y se las mantuvo con una temperatura de 27 °C y 80 % de humedad durante 12 días, luego de los

12 días se recolectaron las hojas marcadas y se las contó y separó según su grado de severidad; los grados de severidad de hicieron bajo los siguientes parámetros:

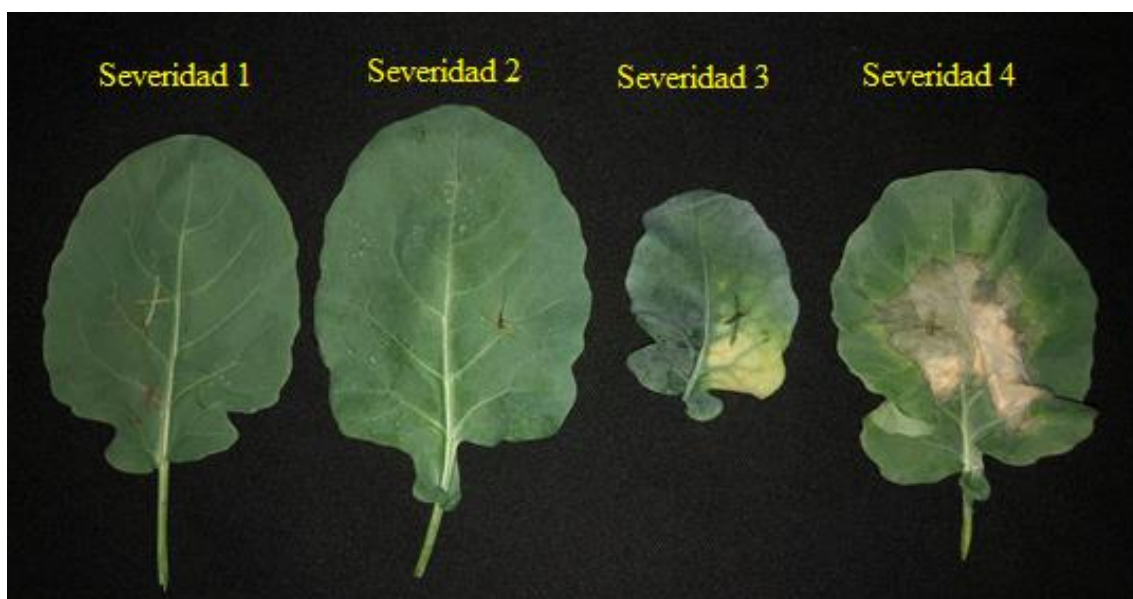


Figura 1. Escala elaborada para medir la infección en las plantas

Severidad uno: hojas en las cuales no se observaron síntomas de infección en el área marcada con una X.

La severidad dos: hojas que muestran síntomas de infección en el área marcada con una X.

La severidad tres: hojas que muestran síntomas de infección en el área marcada con una X, además, de una clorosis alrededor de esta.

La severidad cuatro: hojas que muestran síntomas de infección en el área marcada con una X, además, muerte de tejido celular alrededor de esta.

Adicionalmente se empleó ácido cítrico e hidróxido de potasio para controlar el pH del agua, el cual se corrigió cada dos días en los dos bioensayos, el pH de la solución la cual se mantuvo alrededor de 6.

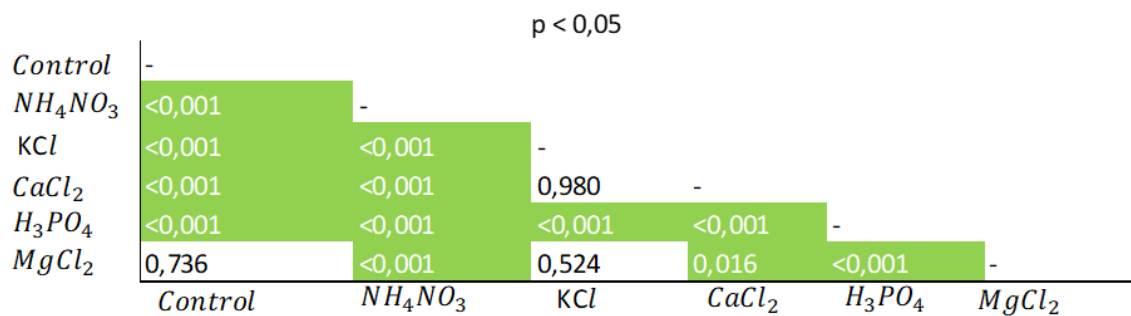


Figura 2. Prueba de Chi Cuadrado representando los p-value

4.4 Métodos estadístico

Para el análisis estadístico se realizó un análisis de varianza (ANOVA) y una prueba de comparaciones múltiples o Prueba de Duncan, que “es conveniente aplicarla cuando los tamaños de las muestras son iguales y los tratamientos presentan una relación ordinal” (Navarro, 2006). Para evaluar la severidad se hizo la prueba de Chi cuadrado, la cual se utiliza para determinar si existe una diferencia significativa entre los resultados esperados y los observados cuadrados (Snedecor y Cochran 1980). Se utilizó Microsoft Excel versión 1906.

V. RESULTADOS

5.1 Altura de planta

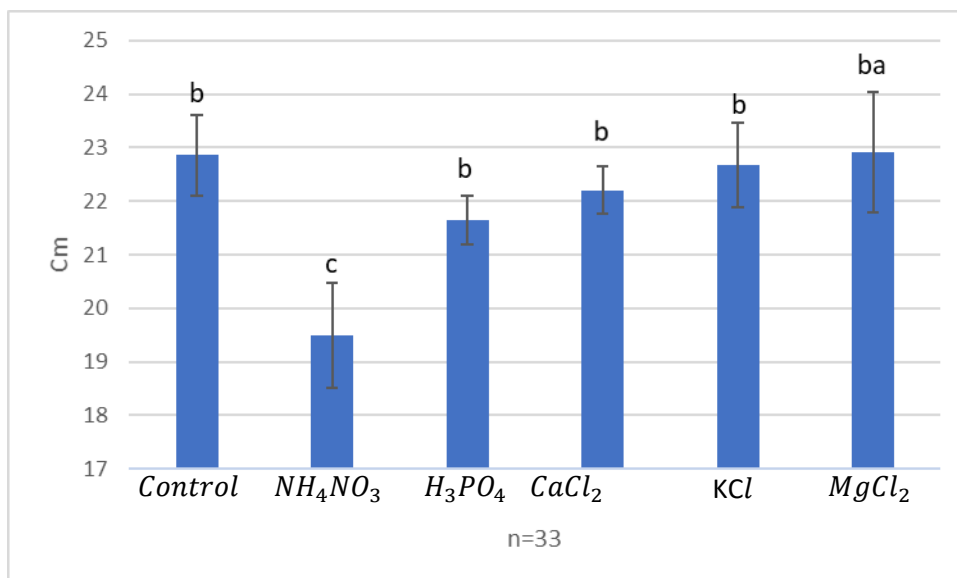


Figura 3. Altura de planta.

La variable altura fue estadísticamente significativa para los tratamientos, con un coeficiente de variación del 0,04 % y un error estándar de 0,55 (Anexo A). La mayor altura de planta lo obtuvo el tratamiento $MgCl_2$ con una altura media de 22,91 cm, alcanzado el mayor rango de Duncan con la letra ba, en el segundo rango con la letra b se encuentran los tratamientos Control con 22,85 cm, KCL con 22,68 cm, $CaCl_2$ con 22,21 y H_3PO_4 con 21,65 cm (Figura 1) en el último rango y con la menor altura se encuentra el tratamiento NH_4NO_3 con la letra c.

5.2 Largo de hoja

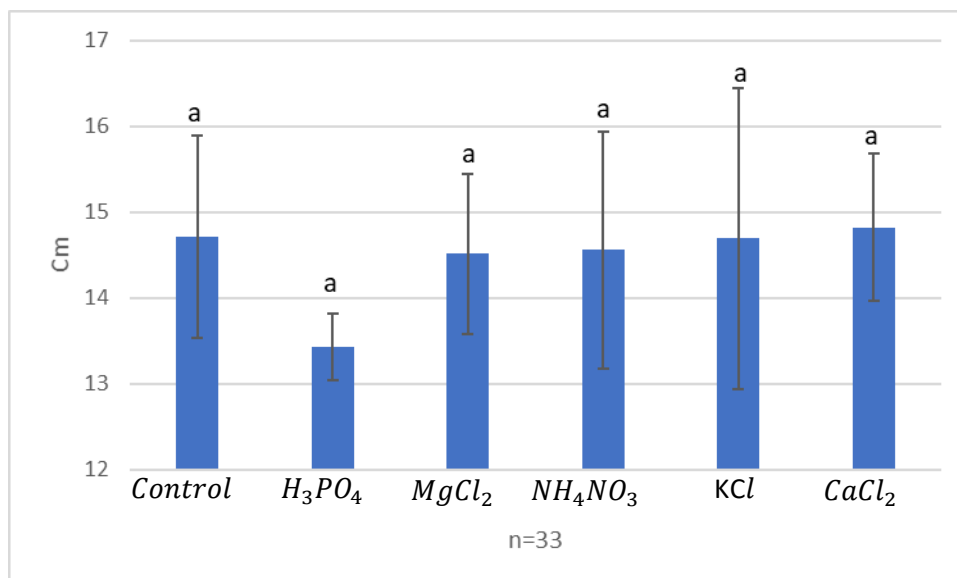


Figura 4. Largo de hoja

En la figura 2, se muestra los resultados de los tratamientos en la variable largo de hoja. El tratamiento que alcanzó un mayor largo de hoja fue el CaCl₂ con 14,82 cm, seguido del Control con 14,71 cm, KCL con 14,69 cm, NH₄NO₃ con 14,56 cm, MgCl₂ 14,51 y H₃PO₄ con 13,43, sin embargo, esta variable no fue estadísticamente significativa en ninguno de los tratamientos según el ANOVA (Anexo B).

5.3 Ancho de hoja

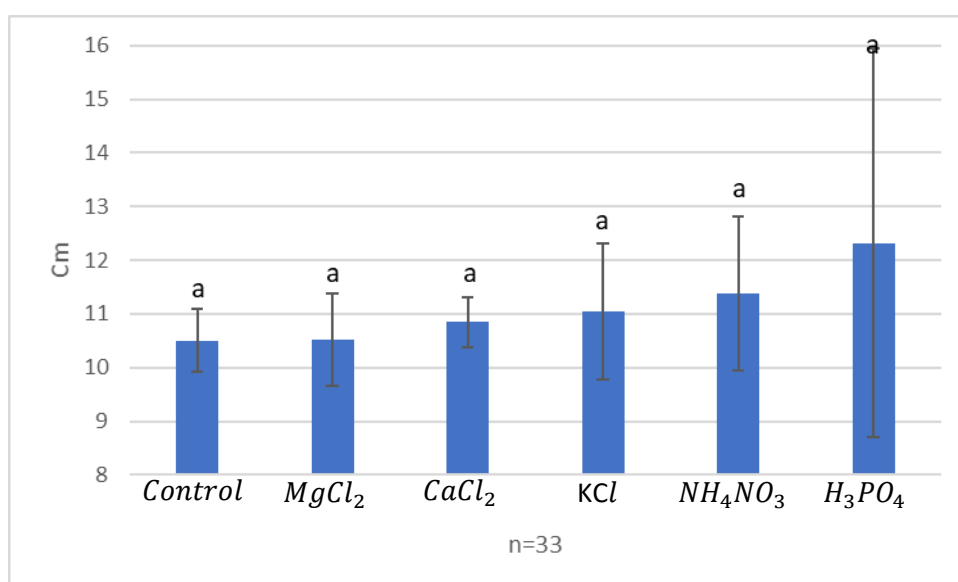


Figura 5. Ancho de hoja

El tratamiento H_3PO_4 tuvo el mayor ancho de hoja con un promedio de 12,32 cm, mientras que el menor valor lo obtuvo el Control con 10,50 cm, sin embargo, no hubo significancia estadística para esta variable (Figura 3, Anexo C). A esto le siguieron los tratamientos H_3PO_4 con 12,32 cm, NH_4NO_3 con 11,38 cm, KCL con 11,05, $CaCl_2$ con 10,85 cm, $MgCl_2$ con 10,52 cm, y Control con 10,50 cm.

5.4 Peso de planta

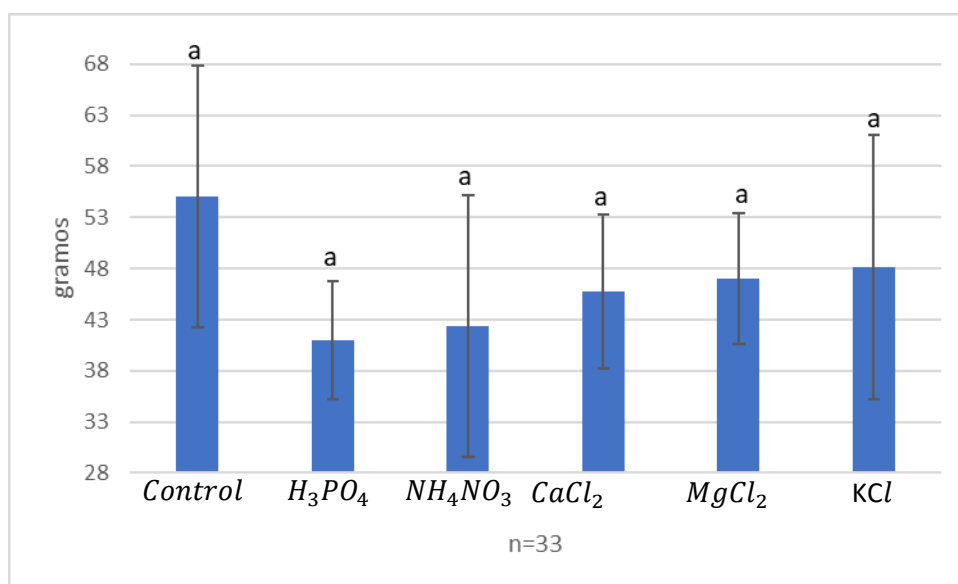


Figura 6. Peso de planta

No hubo diferencia estadística entre tratamientos para el peso de la planta (Figura 4; Anexo D). Los resultados obtenidos para esta variable fueron: Control con 55,03 g, KCL con 48,12g , $MgCl_2$ con 47,01 g, $CaCl_2$ con 45,72, NH_4NO_3 con 42,39g y H_3PO_4 con 40,97 g.

5.5 Contenido de clorofila

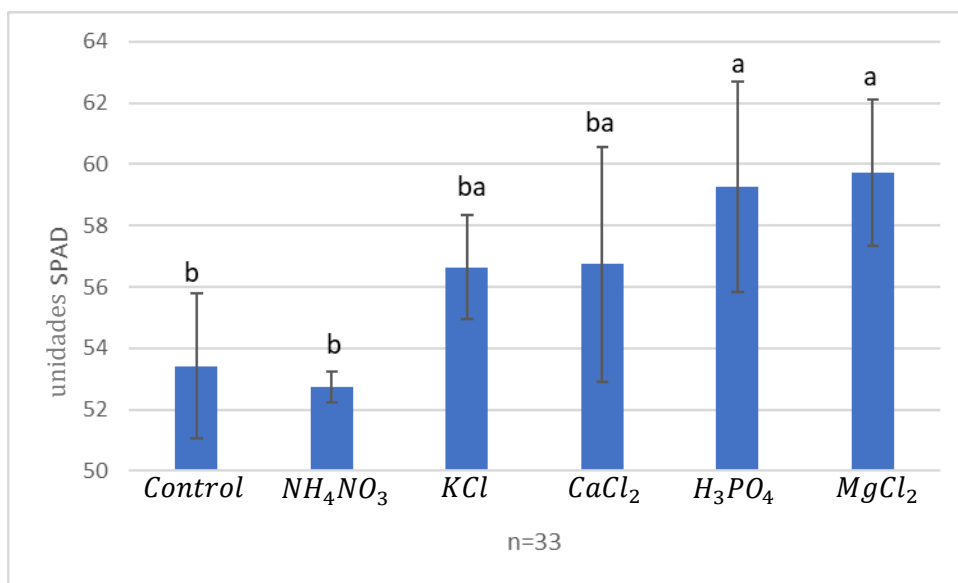


Figura 7. Contenido de clorofila

Los tratamientos con mayor cantidad de clorofila en el SPAD fueron el $MgCl_2$ con 59,74 y el H_3PO_4 con 59,74, alcanzando el rango a, después con el rango ba se encuentran los tratamientos $CaCl_2$ y KCl con 56,74 y 56, 65. Por último, en el tercer rango con la letra b se encuentras el tratamiento NH_4NO_3 con 52,73 y el Control con 53,42 unidades SPAD.

5.6 Severidad

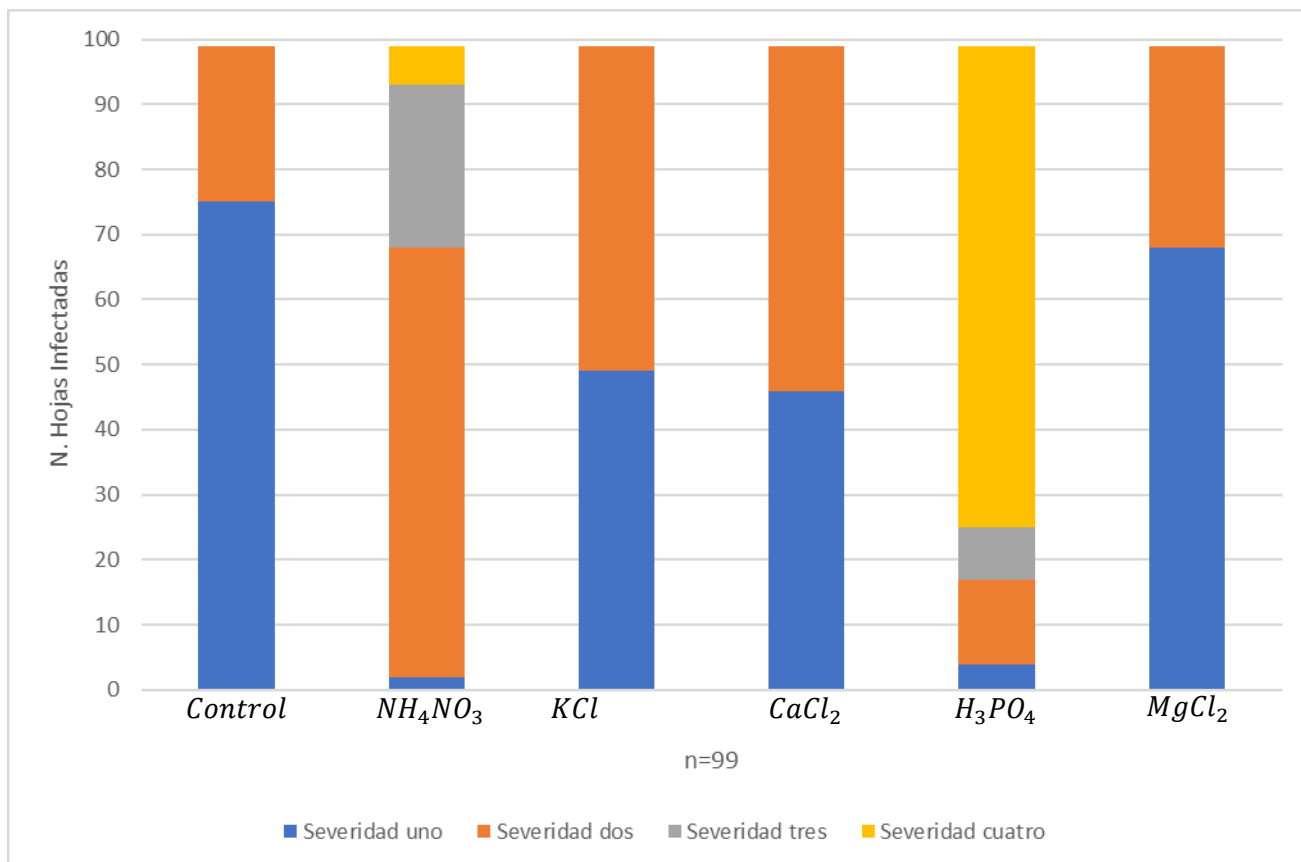


Figura 8. Severidad de hojas infectadas con *A. alternata*. N=99 hojas infectadas por tratamiento.

El tratamiento control fue estadísticamente significativo a todos los tratamientos a excepción del tratamiento $MgCl_2$. Además, hubo significancia estadística entre los tratamientos, menos en el tratamiento KCl con el $MgCl_2$ y el $CaCl_2$

El tratamiento $MgCl_2$ fue estadísticamente similar al Control con 68 hojas infectados con severidad uno y 31 hojas infectadas con severidad dos, mientras que para el segundo la cantidad de hojas infectadas con severidad uno fue de 75 y para severidad dos fue de 24, ninguno de los dos tratamientos tuvieron hojas con severidad tres ni severidad cuatro.

Para los tratamientos KCl y $CaCl_2$ no hubo diferencia significativa entre sí, además, tuvieron un mayor número de hojas infectadas con severidad dos en comparación al

Control, al $MgCl_2$ y P_3OH_4 . Tampoco mostraron hojas infectadas con severidad tres ni cuatro; el número de hojas infectadas con severidad uno para el primero fue de 49 y 46, mientras que el número de hojas infectadas con severidad dos fue de 50 y 53.

El tratamiento NH_4NO_3 hubo el mayor número de hojas con severidad dos en comparación a todos los tratamientos con un total de 66, mientras que las hojas infectadas con severidad uno de 2. También presentó 25 hojas infectadas con severidad tres y 6 hojas con severidad cuatro.

Por último, el tratamiento H_3PO_4 tuvo la mayor cantidad de hojas infectadas con severidad cuatro, con un total de 74, para severidad tres el número fue de 8 hojas, para severidad dos de 13 hojas y para severidad uno 4 hojas.

VI. DISCUSIÓN

6.1 Altura de planta

Todos los tratamientos obtuvieron el rango b, siendo el tratamiento KCl con mayor altura entre ellos, a excepción del NH_4NO_3 , el cual tuvo el rango c alcanzando la menor altura de planta. En un estudio realizado por Molina et al 2003, en *Festuca dolichophylla* se evaluó el impacto de la fertilización fosforada y se encontró que la aplicación de esta tiene un efecto significativo en la altura (. Por otro lado, el nitrógeno es un elemento importante para el crecimiento y desarrollo de las plantas, pero, un exceso en la fertilización puede ser perjudicial para estas, tal y como lo indica Jesús et al, 2022, en donde se evaluó la calidad de la fresa afectada por la relación nitrato/amonio, en este experimento se

concluyó que el NH_4NO_3 en exceso afecta el desarrollo de las plantas haciendo que estas tengan una menor altura.

6.2 Contenido de clorofila

El mayor contenido de clorofila se obtuvo con el tratamiento MgCl_2 , lo cual coincide con un estudio realizado por Reyes et al, 2017 en donde se evaluó la influencia de aplicaciones foliares de magnesio en distintas concentraciones en el contenido de clorofila en *Lilium*, los resultados obtenidos fueron, que el tratamiento con magnesio produjeron plantas con tres unidades SPAD más, en relación con el control. En otro estudio hecho por Hermans y Verbruggen, 2005 encontraron que una escases de este nutriente en el cultivo de vid reduce la tasa fotosintética y viceversa, esto concuerda con el resultado obtenido, ya que el tratamiento con magnesio se obtuvieron los niveles más altos de clorofila. Además, Epstein y Bloom, 2005 afirman que el MgCl_2 es un macronutriente necesario para la producción de clorofila y también regula la absorción de otros nutrientes actuando como transportador, por ende, una mayor cantidad de este nutriente en las plantas hace que el contenido de clorofila sea mayor, tal y como se observa al comparar los resultados obtenidos en el experimento con los otros dos.

6.3 Severidad de infección

El tratamiento que mayor grado de severidad fue el H_3PO en el cual, se observó senescencia del área alrededor de la hoja, lo cual coincide con un estudio realizado por Noboa et al, 2018 en el cuál evaluaron el efecto de las deficiencias y excesos de fósforo en la fisiología y el crecimiento de plantas de aguacate, encontraron que este elemento en exceso disminuye el contenido de clorofila en la planta, además de ocasionar deficiencias de manganeso, provocando daños a los centros del fotosistema dos y generando daño en

la estructura de la membrana tilacoidal . Por otro lado, el tratamiento con más hojas con severidad uno después del control fue el $MgCl_2$, si comparamos con un estudio hecho por Cedeño et al, 2021 en donde evaluaron la severidad de Sigatoka negra en plátano bajo fertilización con magnesio, dio como resultado, que el tratamiento con magnesio tuvo una menor severidad de infección de este patógeno.

CONCLUSIONES

La aplicación en exceso de $MgCl_2$ produjo plantas más altas y con un mayor contenido de clorofila en las plantas de brócoli variedad avenger.

El tratamiento con $MgCl_2$ obtuvo el menor grado de infección en las hojas después del control, por ende, la aplicación de este nutriente en altas concentraciones tiene un efecto positivo en la resistencia a alternaria.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acurio, R., Ñacato, C. Valencia, M. (2018). Cepas autóctonas de *Bacillus subtilis* como agente de biocontrol in vitro de *Alternaria* spp. en *Brassica oleracea* var. *Italica*. Available from: <http://dx.doi.org/10.21931/RB/2018.03.02.8>
- AEFA (2022). La nutrición mineral y la tolerancia de las plantas a las enfermedades. . Aefa-agronutrientes.org. Recuperado el 20 de septiembre de 2023, de <https://aefa-agronutrientes.org/la-nutricion-mineral-y-la-tolerancia-de-las-plantas-a-las-enfermedades>
- Aljaro, A. (2000). Repollo, Coliflor, Brócoli, Repollito de Bruselas. Revista Tierra Adentro N° 34. pp: 12-14.
- Anshu K, Surabhi S, Vipul P. (2023). Phytochemical and therapeutic potential of broccoli (*Brassica oleracea*): A review. *The Pharma Innovation*
- Ausubel F, (2005). "Are innate immune signaling pathways in plants and animals conserved?". *Nature Immunology*. 6 (10): 973–9. doi:10.1038/ni1253. PMID 16177805. S2CID 7451505.
- Beltrano, J.; Gimenez, D.O. 2015. Cultivo en Hidroponía. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad Nacional de la Plata. Buenos Aires. Argentina. 180 p.
- Branca, Ferdinando (2008), Prohens, Jaime; Nuez, Fernando (eds.), "Cauliflower and Broccoli", *Vegetables I: Asteraceae, Brassicaceae, Chenopodiaceae, and Cucurbitaceae, Handbook of Plant Breeding*, New York, NY: Springer, vol. 1, pp. 151–186, doi:10.1007/978-0-387-30443-4_5, ISBN 978-0-387-30443-4
- Branham, Sandra E.; Stansell, Zachary J.; Couillard, David M.; Farnham, Mark W. (1 March 2017). "Quantitative trait loci mapping of heat tolerance in broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) using genotyping-by-sequencing". *Theoretical and Applied Genetics*. 130 (3): 529–538. doi:10.1007/s00122-016-2832-x. ISSN 1432-2242. PMID 27900399. S2CID 2361874.
- Bravo, A., Aldunate, P. 2012. Monografías hortícolas. Universidad Católica de Chile y Corporación de fomento de la producción. 99p.
- Cakmak, I. 2015. Sinergismos y Antagonismos entre Nutrientes Minerales Durante la Absorción y Transporte en las Plantas. Curso Internacional sobre Nutrición de Cultivos. Intagri.
- Choudhary DK, Prakash A, Johri BN (December 2007). "Induced systemic resistance (ISR) in plants: mechanism of action". *Indian Journal of Microbiology*. 47 (4): 289–97. doi:10.1007/s12088-007-0054-2. PMC 3450033. PMID 23100680.
- Cunha, Antonio Ribeiro da, Katz, Ieoschua, Sousa, Antônio de Pádua, & Martinez Uribe, Raúl Andres. (2015). Índice SPAD en el crecimiento y desarrollo de plantas de *lisianthus* en función de diferentes dosis de nitrógeno en ambiente

protegido. *Idesia (Arica)*, 33(2), 97-105. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292015000200012>

- Díaz, N. (2012). Resistencia sistémica adquirida mediada por el ácido salicílico. : *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial: BSAA*, ISSN-e 1909-9959, ISSN 1692-3561, Vol. 10, N°. 2 (Julio a Diciembre), 2012, págs. 257-267
- Epstein, E. y J. A, Bloom. (2005). *Mineral nutrition of plants: Principles and perspectives*. 2nd edition. Sinauer Ass. Press. USA.
- FAOSTAT. (2023). Broccoli (and cauliflower) production in 2021, Crops/Regions/World list/Production Quantity/Year (pick lists)". UN Food and Agriculture Organization, Corporate Statistical Database (FAOSTAT). 2023. Retrieved 12 October 2023.
- Giacconi, V., Escaff, M. (1988). *Cultivo de hortalizas*. Editorial Universitaria (8va ed.). Santiago Chile. 335p.
- Gómez, D. 2008 Laboratorio Regional de Patología Vegetal, EEA INTA Sáenz Peña, Ruta 95 km 1108, Pres. Roque Sáenz Peña, Prov. de Chaco, Argentina.
- González, M.I. 2012. Nuevas fichas hortícolas. 3ª Edición actualizada. Boletín Inia N°246. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Inia Quilamapu. Chillán, Chile.
- González, O. 1992. Brócoli (*Brassica oleracea* var. *Italica*). En: Estay, P., Bruna, A., Aljaro, A., González, O., Covarrubias, C. *Hortalizas. Programa de Capacitación a agentes de extensión. Serie La Platina N°36*. Inia La Platina. Santiago, Chile.
- Herrera-Leon, Fernanda Sánchez, Alexandra Bermudez, Noelia Barriga-Medina, Dario Ramírez-Villacís, Karen Herrera, Carlos Ruales & Antonio Leon-Reyes (2022) *Alternaria alternata* causes bud blight of rose (*Rosa* sp.) in Cotopaxi, Ecuador, *Canadian Journal of Plant Pathology*, 44:5, 673-679, DOI: 10.1080/07060661.2022.2041726
- HERMANS, C. y VERBRUGGEN, N.(2005). Physiological characterization of Mg deficiency in *Arabidopsis thaliana*. *Journal of Experimental Botany*, 56(418): 2153-2161.
- Hoagland & Arnon (1938). *The water-culture method for growing plants without soil* (Circular (California Agricultural Experiment Station), 347. ed.). Berkeley, Calif. : University of California, College of Agriculture, Agricultural Experiment Station. OCLC 12406778
- INTAGRI. 2017. *Solución Nutritiva y su Monitoreo Mediante Análisis Químico Completo*. Serie Horticultura Protegida. Núm. 27. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 3 p.

- Jaramillo, J.E. y C.A. Díaz. 2006. El Cultivo de las Crucíferas. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. CORPOICA. Centro de Investigación La Selva Rionegro, Antioquia, Colombia. p. 10
- Jesus, Gabriel Lucas de, Pauletti, Volnei, Zawadneak, Maria Aparecida Cassilha, & Cuquel, Francine Lorena. (2021). Calidad de la fresa afectada por la relación nitrato:amonio en la solución nutritiva. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 12(5), 753-763. Epub 14 de marzo de 2022.<https://doi.org/10.29312/remexca.v12i5.2764>
- Kehr, E., Bórquez. C. 2010. Brásicas: grupo de hortalizas con aptitud para producción en la zona sur. Tierra adentro. N° 91. pp: 21-24
- Kehr M., Elizabeth y Díaz R., Pilar. (2012) Producción de brócoli para la agroindustria. Temuco: Informativo INIA Carillanca. no. 61. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.14001/4489>
- Larone, Davise H. 2011. Medically Important Fungi: A Guide to Identification, Fifth Edition. doi:10.1128/9781555816605.
- López, M. Octavio, E. Verdugo, C. (2021). La aplicación exógena de metil jasmónico aumenta la defensa inducida por micorrización arbuscular contra Sclerotinia sclerotiorum en frijol. Departamento de Biotecnología Agrícola, CIIDIR-Sinaloa, Instituto Politécnico Nacional. Blvd. Juan de Dios Bátiz Paredes No. 250, Col. San Joaquín, C.P. 81101, Guasave, Sinaloa, México
- MAG. (2021). Boletín Situacional cultivo brocoli. Disponible en: <https://fliphtml5.com/ijia/hzpx/basic>
- Megan, Gambino (2014). «Turning Shipping Containers Into Urban Farms». Innovation (en inglés). Disponible en: smithsonian.com
- Murashige, T; Skoog, F (1962). «A Revised Medium for Rapid Growth and Bio Assays with Tobacco Tissue Cultures». Physiologia Plantarum 15 (3): 473-497. doi:10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x.
- Narro, J., J. A. Quijano y R. R. Rocha. 2005. Enfermedades del follaje y florete de brócoli en México. En: COTECO. Memorias del VI Seminario Técnico: Tecnología de producción de las crucíferas. COTECO. Celaya, Gto., México. 95 p
- Navarro, JR. 2006. Diseño experimental: aplicaciones en agricultura. Editorial UCR, San José. p.327.
- Nettleton JA, Harnack LJ, Scrafford CG, Mink PJ, Barraj L. 2006. Dietary flavonoids and flavonoid-rich foods are not associated with risk of type 2 diabetes in postmenopausal women. Journal of Nutrition.

- Noboa, M. Miranda, D. Melgare, L. (2018). Efecto de las deficiencias y excesos de fósforo, potasio y boro en la fisiología y el crecimiento de plantas de aguacate (*Persea americana*, cv. Hass). Doi: <http://doi.org/10.17584/rcch.2018v12i2.8092>
- Lara Porras, A.M. (2000). “Diseño Estadístico de Experimentos, Análisis de la Varianza y Temáticas Relacionadas: Tratamiento Informático mediante SPSS” Proyecto Sur de Ediciones
- LaMondia, J. 2013. Fungicide Efficacy Against *Calonectria pseudonaviculata*, Causal Agent of Boxwood Blight. The American Phytopathological Society. Disponible en: <https://apsjournals.apsnet.org/doi/abs/10.1094/PDIS-04-13-0373-RE>
- Ramirez-Villacis, D., Barriga-Medina, N., Llerena-Llerena, S., Pazmino-Guevara, C., & Leon-Reyes, A. (2023). First Report of *Alternaria alternata* Causing Leaf Spot on Broccoli in Ecuador. *Plant disease*, 10.1094/PDIS-03-23-0598-PDN. Advance online publication.
- Rincón, José J., Gallardo, Yessica, Leal, Mónica, & Rojas, Yubisay. (2003). Efecto de la relación calcio:fósforo en el suelo sobre el crecimiento y nodulación de plantas jóvenes de acacia mangium (*willd*)¹. *Bioagro*, 15(2), 97-105. Recuperado en 22 de diciembre de 2023, de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-33612003000200004&lng=es&tlng=es.
- Reyes-Alemán, María & Franco-Mora, Omar & Morales-Rosales, Edgar & Pérez López, Delfina. (2017). Influencia del magnesio y zinc en la altura de planta y verdor de hojas en *Lilium*. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*. 24. 10.33064/iycuaa2017701825.
- Riso P, Martini D, Møller P. 2010. DNA damage and repair activity after broccoli intake in young healthy smokers. *Mutagénesis*.
- Rodríguez, D. A. 2013. Producción de hortalizas en sistemas NFT. Universidad Agraria la Molina, Perú.
- Rodríguez, N.F. 2016. Curso de Fertilidad de Suelos. Universidad Autónoma Chapingo, Estado de México, México.
- Sabino, P.H.; Lavres, J.J.; Ferreira M.M. 2007. Azufre Como nutriente y Agente de Defensa Contra Plagas y Enfermedades. *Informaciones Agronómicas* No.65. IPNI. Brasil. 115p.
- Sánchez, M. Vayas, T. Mayorga, F. (2019). PANORAMA GENERAL Y PRODUCCIÓN. Universidad Técnica de Ambato. Edu.ec. Recuperado el 20 de septiembre de 2023, de <https://obest.uta.edu.ec/wp-content/uploads/2020/12/Brocoli-en-Ecuador-1.pdf>
- Sepúlveda, P. 2005. Enfermedades en hortalizas de hojas, raíz y bráxicas. Seminario “Fitosanidad en hortalizas para la zona sur”. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Inia Carillanca. Temuco, Chile.

- Soengas, P., Cartea, M.E., Velasco, P. y Ordás, A. (2007). Enfermedades de las Brassicas cultivadas en Galicia. Situación actual y perspectiva. Informe técnico. Misión Biológica de Galicia.
- Snedecor GW, Cochran WG. (1980). Statistical Methods , 7th ed. Iowa: Iowa State University Press, 191,0:47
- Smith, G. S.; Johnston, C. M.; Cornforth, I. S. (1983). "Comparison of nutrient solutions for growth of plants in sand culture". *The New Phytologist*. 94 (4): 537–548. doi:10.1111/j.1469-8137.1983.tb04863.x. ISSN 1469-8137.
- Syngenta. 2023. *Alternaria Brassicae*. Ciclo de vida. Fungicidas Maxim 480 y Apron XL. Disponible en: <https://www.syngenta.nl/es/seedcare/vegetables/diseases/alternaria/alternaria-brassicae>
- University of Massachusetts Amherst. (2022). Brassicas, *Alternaria* Leaf Spot. Center for Agriculture, Food, and the Environment. UMass Extension Vegetable Program
- Vassallo, Martin (12 de julio de 2022). «Hidroponía casera y vertical: Videotutorial del paso a paso |». Greentech | Educación Ambiental.
- Zhang Y, Munday R, Jobson H. 2006. Cruciferous vegetables, Derived ITC, Chemical structure of ITC. *Journal Agriculture Food Chemistry*.

ANEXO A: TABLA 1. ANOVA DEL PROMEDIO DE LA ALTURA

Tabla 1. ANOVA de la altura

FV	GL	SC	CM	F Calculada	F Tabular
bloques	2	2,21	1,10	1,20	4,10
Tratamientos	5	25,34	5,07	5,50	3,33
Error experimental	10	9,22	0,92		
Total	17	36,76			

ANEXO B: TABLA 2. ANOVA DEL LARGO DE HOJA

Tabla 2. ANOVA del largo de hoja

FV	GL	SC	CM	F Calculada	F Tabular
bloques	2	2,21	1,10	1,20	4,10
Tratamiento	5	25,34	5,07	5,50	3,33
Error experimental	10	9,22	0,92		
Total	17	36,76			

ANEXO C: TABLA 3. ANOVA DEL ANCHO DE HOJA

Tabla 3. ANOVA del ancho de hoja

ANOVA					
FV	GL	SC	CM	F Calculada	F Tabular
bloques	2	28,33	14,16	5,46	4,10
Tratamiento	5	7,01	1,40	0,54	3,33
Error experimental	10	25,95	2,59		
Total	17	61,29			

ANEXO C: TABLA 4. ANOVA DEL PESO DE PLANTA

Tabla 4. ANOVA del peso promedio de planta

ANOVA					
FV	GL	SC	CM	F Calculad	F Tabular
bloques	2	485,07	242,54	1,74	4,10
Tratamien	5	371,36	74,27	0,53	3,33
Error expe	10	1393,15	139,31		
Total	17	2249,58			

ANEXO C: TABLA 5. ANOVA DEL CONTENIDO DE CLOROFILA

Tabla 5. ANOVA del contenido de clorofila

ANOVA					
FV	GL	SC	CM	F Calculad	F Tabular
bloques	2	48,87	24,43	3,32	4,10
Tratamien	5	125,67	25,13	3,42	3,33
Error expe	10	73,50	7,35		
Total	17	248,04			