



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE BABAHOYO
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS



ESCUELA DE AGRICULTURA, SILVICULTURA, PESCA Y
VETERINARIA

CARRERA DE AGROPECUARIA

TRABAJO DE TITULACIÓN

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

INGENIERO AGROPECUARIO

TEMA:

Prolina e hidroxiprolina: Influencia en la resistencia de los cultivos a
insectos plagas.

AUTOR:

Alvaro Alberto Rojas Mariscal

TUTORA:

Ing. Quim. Adriana Mejía González, MSc.

Babahoyo – Los Ríos – Ecuador

2024

RESUMEN

La influencia de la prolina e hidroxiprolina en la resistencia de los cultivos a organismos plagas en las plantas. Se destaca la importancia de estos aminoácidos en la respuesta inmunológica de las plantas para desarrollar estrategias sostenibles que reduzcan la dependencia de pesticidas químicos y promuevan la salud a largo plazo de los ecosistemas agrícolas. La mitigación de impactos ambientales adversos asociados con pesticidas químicos es crucial para preservar la biodiversidad y la calidad del suelo. Se menciona que la resistencia de las plantas a patógenos se basa en defensas físicas y bioquímicas, donde los metabolitos secundarios y las fitohormonas desempeñan roles relevantes. Se destaca la importancia de la síntesis de aminoácidos para la formación de proteínas en las plantas. Los resultados muestran que la prolina e hidroxiprolina pueden fortalecer las defensas de las plantas contra patógenos, y se resalta la relevancia de las proteínas ricas en hidroxiprolina en la estructura celular. En la discusión se menciona la importancia de comprender las interacciones hormonales en la defensa de las plantas. Finalmente, se concluye que el estudio de estos aminoácidos puede contribuir a prácticas agrícolas más sostenibles y a la seguridad alimentaria. Se recomienda seguir investigando para mejorar la resistencia de los cultivos a plagas y patógenos.

Palabras claves: Defensas, Patógenos, Mitigación, Proteínas, Hormonas.

SUMMARY

The influence of proline and hydroxyproline on the resistance of crops to pest organisms in plants. The importance of these amino acids in the immune response of plants is highlighted to develop sustainable strategies that reduce dependence on chemical pesticides and promote the long-term health of agricultural ecosystems. Mitigating adverse environmental impacts associated with chemical pesticides is crucial to preserving biodiversity and soil quality. It is mentioned that the resistance of plants to pathogens is based on physical and biochemical defenses, where secondary metabolites and phytohormones play relevant roles. The importance of amino acid synthesis for the formation of proteins in plants is highlighted. The results show that proline and hydroxyproline can strengthen plant defenses against pathogens, and the relevance of hydroxyproline-rich proteins in cellular structure is highlighted. The importance of understanding hormonal interactions in plant defense is mentioned in the discussion. Finally, it is concluded that the study of these amino acids can contribute to more sustainable agricultural practices and food security. Further research is recommended to improve the resistance of crops to pests and pathogens.

Keywords: Defenses, Pathogens, Mitigation, Proteins, Hormones.

INDICE DE CONTENIDO

RESUMEN.....	II
SUMMARY	III
1. CONTEXTUALIZACIÓN.....	1
1.1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.3. JUSTIFICACIÓN.....	2
1.4. OBJETIVOS	3
1.4.1. Objetivo general.....	3
1.4.2. Objetivos específicos	3
1.5. LINEAS DE INVESTIGACIÓN	3
2. DESARROLLO	4
2.1. Marco Conceptual.....	4
2.1.1. Introducción a los Aminoácidos	4
2.1.2. Prolina	6
2.1.3. Hidroxiprolina.....	9
2.1.4. Acción de Prolina e Hidroxiprolina en la función inmunológica de las plantas 10	
2.1.5. Influencia y relación entre Prolina e Hidroxiprolina	10
2.1.6. Defensas Vegetales y Resistencia a Plagas.....	11
2.1.7. Vías de señalización y producción de metabolitos secundarios	12
2.2. MARCO METODOLOGICO	13
2.3. RESULTADOS.....	13
2.4 DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	14
3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	15
3.1. CONCLUSIÓN	15
3.2. RECOMENDACIONES.....	15
4. REFERENCIAS Y ANEXOS	16
4.1. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	16
4.2. ANEXOS.....	22

1. CONTEXTUALIZACIÓN

1.1. INTRODUCCIÓN

Los aminoácidos son de gran importancia en el crecimiento de las plantas, donde la prolina juega un papel vital en la regulación de sus funciones internas, especialmente cuando esta está en un periodo prolongado de estrés. Cuando nos encontramos con condiciones adversas como sequía, frío, viento o granizo, la prolina puede desempeñar efectos positivos para reducir las consecuencias. Además, la hidroxiprolina, otro aminoácido importante, está estrechamente relacionada con procesos cruciales como la floración, la fertilización y el desarrollo de los frutos (Mula 2020).

Los aminoácidos desempeñan un papel importante como agentes energéticos para las plantas, ya que son fácilmente asimilados, lo que les proporciona diferentes beneficios y estimula su crecimiento positivamente. En condiciones de temperatura alta, los aminoácidos tienen funciones específicas en las plantas. La prolina ayuda a retener una mayor cantidad de agua en el citoplasma de las células vegetales, lo que contribuye a mantener la hidratación celular (Intagri 2018).

La prolina es un aminoácido generado durante la síntesis de proteínas en las plantas. En situaciones estresantes, las plantas aumentan su producción de prolina, detectable mediante el análisis foliar, señalando así la iniciación de respuestas al estrés. Esta molécula no solo actúa como señal, sino que también desempeña un papel directo al mantener la turgencia celular, evitando la pérdida de electrolitos y manteniendo un equilibrio osmótico adecuado. Además, la prolina contrarresta la formación de oxígeno reactivo (ROS), moléculas perjudiciales que aumentan durante el estrés (Zibilske 2019).

La hidroxiprolina en las plantas regula el equilibrio hídrico para mantener un adecuado nivel de agua. Además, fortalecen su resistencia frente a situaciones estresantes como bajas temperaturas, escasez de agua o altos niveles de sales. Fortalecer sus paredes celulares, obtienen una mayor persistencia para sus tejidos. También ayudan a optimizar la fertilidad del polen, facilitando un proceso

reproductivo más eficiente. Un aspecto importante de esta adaptación es la habilidad de las plantas para potenciar las paredes celulares, lo que da lugar a una mayor resistencia de los tejidos (Ribera, 2020).

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La influencia de la prolina e hidroxiprolina en la resistencia de los cultivos a plagas en las plantas constituye un problema central en la agricultura moderna. A medida que la presión de plagas y enfermedades aumenta, es crucial entender cómo estos aminoácidos específicos pueden modular la respuesta inmunológica de las plantas. Además, la variabilidad en la respuesta de diferentes especies vegetales ante la presencia de prolina e hidroxiprolina plantea interrogantes sobre la generalización de estos compuestos como estrategias de resistencia en diversos contextos agrícolas.

La necesidad de integrar los hallazgos científicos en soluciones prácticas para agricultores de diversas regiones, con conocimientos y promoción de prácticas agrícolas sustentables basadas en prolina e hidroxiprolina requieren un puente efectivo para lograr una conexión con la realidad del campo. Esta brecha entre el conocimiento científico y su aplicación práctica subraya la importancia de abordar no solo los aspectos biológicos de la problemática, sino también los aspectos logísticos y socioeconómicos que influyen en la implementación exitosa de estas estrategias de resistencia en la agricultura.

1.3. JUSTIFICACIÓN

La prolina y la hidroxiprolina son aminoácidos esenciales que juegan un papel importante en la resistencia de las plantas a las plagas. Estas sustancias son proteínas y componentes esenciales para los mecanismos de defensas de las plantas, potenciando las células y mejorando su capacidad para enfrentarse a estrés biótico y abiótico.

La presencia y síntesis de prolina e hidroxiprolina están vinculadas con la reacción de las plantas a plagas y enfermedades, actuando como moléculas de señalización al comenzar con los mecanismos de protección. Ayuda a construir paredes fuertes y flexibles que dificultan la penetración para los patógenos, lo que

reduce el daño a los alimentos. La fusión de estos aminoácidos incrementa la resistencia en el ataque de insectos, plagas y enfermedades, disminuyendo así el riesgo de plagas de las plantas bajo estrés biótico.

También, cumplen como señales para la síntesis de proteínas protectoras y el desarrollo de metabolitos secundarios con propiedades insecticidas e inhibidoras. Además, cantidades adecuadas y suficientes de prolina e hidroxiprolina en las semillas puede fomentar la fabricación de sustancias químicas para la prevención de las plagas, de esta forma estamos mejorando el sistema de defensa de la planta a amenazas externas.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general

Analizar la influencia de la prolina e hidroxiprolina en la resistencia de los cultivos a insectos plagas.

1.4.2. Objetivos específicos

- Determinar como la prolina e hidroxiprolina, actúa en la función inmunológica de las plantas.
- Detallar la relación que existe entre los aminoácidos (prolina e hidroxiprolina) y su capacidad para resistir al ataque de organismos plagas.

1.5. LINEAS DE INVESTIGACIÓN

- **Dominio:** Recursos agropecuarios, ambiente, biodiversidad y biotecnología.
- **Línea:** Desarrollo agropecuario, agroindustrial sostenible y sustentable.
- **Sublíneas:** Agricultura sostenible y sustentable.

2. DESARROLLO

2.1. Marco Conceptual

2.1.1. Introducción a los Aminoácidos

Los aminoácidos son pequeñas moléculas orgánicas que contienen grupos carboxilo (COOH) y amino (NH₂). El grupo carboxilo es débilmente ácido y el grupo amino es débilmente alcalino. Todas las proteínas están formadas por 20 aminoácidos, y aunque se conocen muchos más, sólo los alfa aminoácidos forman parte de las proteínas (Ramírez *et al.* 2022)

El papel de los aminoácidos en el suelo es similar al del humus, pero existen una serie de diferencias significativas. Son una fuente de materia orgánica con alto contenido de nitrógeno. Tienen características tanto ácidas como básicas porque contienen grupos carboxilo y amino en su composición, por lo que pueden actuar tanto como ácidos catiónicos y aniónicos como bases. Entre ellas, las sustancias formadas con hierro (Fe), cobre (Cu) y manganeso (Mn) son muy estables. En el suelo, los aminoácidos secretados por los tejidos de las raíces se acomplejan con los iones existentes en el suelo, promoviendo su asimilación (Montañés 2018).

En el caso de las plantas, se dividen en dos categorías. Los aminoácidos esenciales son aminoácidos que las plantas no pueden sintetizar por sí solas. Los obtienen tomando nutrientes del suelo, en simbiosis con microorganismos o consumiendo proteínas de organismos vivos o muertos. Las sustancias no esenciales son sustancias que las plantas pueden sintetizar independientemente de compuestos simples (Optigarden 2023).

Los aminoácidos son derivados de proteínas animal o vegetal, que se desintegran en estructuras más pequeñas con el respaldo de catalizadores. Este catalizador siendo una enzima, que hidroliza aminoácidos, además de ser proteínas, también tienen una función específica, o un ácido, que hidroliza aminoácidos, que no controla completamente el proceso de obtención o destrucción de proteínas como lo hacen otros catalizadores (El Productor 2023).

Según Fagro (2020), algunos de los efectos positivos de los aminoácidos en las plantas son los siguientes:

- **Síntesis de proteína:** Los 20 aminoácidos esenciales están unidos entre sí mediante enlaces peptídicos para formar proteínas. Al proporcionar aminoácidos vegetales a través de las raíces o las hojas, se puede ahorrar energía y utilizarla para otros procesos.
- **Efectos positivos en la fotosíntesis:** La prolina y el ácido glutámico interfiere con la producción de clorofila, que es esencial para capturar la energía luminosa durante la fotosíntesis.
- **Ayudan a mitigar el estrés:** Los patrones de estrés se producen cuando las plantas se ven sometidas a cambios bruscos de temperatura (heladas o calor), granizo, inundaciones, sequías, etc. Ante esto, los aminoácidos trabajan de forma sinérgica para ahorrar energía a la planta, permitiéndole recuperarse rápidamente.
- Tolerancia a condiciones salinas del suelo y agua.
- **Efecto bioestimulante:** Activan la síntesis de algunas hormonas vegetales, la prolina aumenta el ácido giberélico.
- Efecto directo en la germinación del polen y formación del tubo polínico.
- Efecto quelatante.
- Desintoxicación de plantas, entre otras.

Según Villar (2024), estas son las formas efectivas de aplicar aminoácidos a las plantas:

- **Aplicación foliar:** Esta es una de las formas más rápida y efectiva de proporcionar aminoácidos de origen vegetal. Simplemente se debe rociar la solución de aminoácidos directamente sobre las hojas de las plantas. Estos se absorben a través de las estomas de las hojas y se incorporan rápidamente al metabolismo de la planta.
- **Vía foliar:** Rápida absorción de aminoácidos a través de las estomas (5% a 20% ingresa hace 24 horas). Desde las estomas entran al apoplasto y luego al resto de la planta, llegando fácilmente a puntas, ramas, hojas, etc. Esta vía de aplicación es una buena alternativa ya que se puede aplicar junto con

aminoácidos, insecticidas, fungicidas, inductores de resistencia y nutrientes (macro y micro) (Neptunus 2021).

- **Abonado del suelo:** Proporciona una fuente de aminoácidos de liberación lenta que la planta puede utilizar durante un período de tiempo más largo (Villar 2024).

La resistencia de las plantas a diversos patógenos se basa en la acción combinada de barreras físicas (directas) y bioquímicas (indirectas); su combinación les proporciona una amplia protección contra organismos patógenos. Se pueden dividir dos tipos principales de defensas generadas por el sistema inmunológico de la planta en: defensas constitutivas, que siempre están activas, y defensas inducidas, que se activan solo cuando la planta siente un ataque (Laredo y cols., 2017) citado por (Morales y Sánchez 2022).

El mismo autor mencionó que los metabolitos secundarios fitohormonas son compuestos que juegan roles relevantes en los procesos de defensa. Se trata de moléculas químicas de diferente composición que se encargan de adaptar las plantas a las condiciones ambientales adversas que se presenten; además, regulan funciones muy importantes, desde el crecimiento y desarrollo hasta las respuestas a estreses bióticos y abióticos a través de la señalización. El proceso de defensa está controlado primero por las interacciones sinérgicas y antagónicas de tres hormonas vegetales: ácido jasmónico (JA), ácido salicílico (AS) y etileno (ET).

Todas las especies de plantas requieren la síntesis de aminoácidos necesarios para formar proteínas a partir de glucosa y nitrógeno mineral. Para esta síntesis la fábrica consume mucha energía (Montañés 2018).

2.1.2. Prolina

La prolina (Pro o P) es un aminoácido formador de proteínas, formado a partir de la cadena de cinco carbonos del ácido glutámico; por lo tanto, no es un aminoácido esencial. Es el único aminoácido proteico cuya alfa-amina es una amina secundaria en lugar de una amina primaria (Sánchez 2020).

El autor menciona que su cadena lateral es cíclica y consta de 3 unidades de metileno, las mismas aún están unidas al carbono alfa y al grupo amino (llamado amino).

Pro es un aminoácido proteico no polar cíclico que desempeña un papel importante en las respuestas al estrés. Presumiblemente, esta capacidad está relacionada con las propiedades intrínsecas de la molécula y los efectos de su metabolismo. Una característica importante del metabolismo de Pro en las plantas es su compartimentación intracelular, ya que la síntesis ocurre principalmente en el citoplasma y los cloroplastos, mientras que el catabolismo ocurre solo en las mitocondrias (Rizzi 2017).

Se sintetiza en las plantas superiores a través de dos vías, la vía dependiente de ornitina (Orn) y la vía del glutamato (Glu) o dependiente de glutamato. En la vía Orn, consiste en el cambio de nombre de la ornitina y es catalizada por la ornitina- α -aminiltransferasa (OAT) para producir dos posibles intermedios 1-pirrolina-5-carboxilato (P5C) y 1-pirrolina-2-carboxilato (P2C), siendo la prolina al que se reduce. La segunda vía biosintética de prolina que más predomina en la biosíntesis de prolina, bajo condiciones de estrés. En esta vía, la prolina se sintetiza a partir del ácido L-glutámico a través de los dos intermediarios glutamato- γ -semialdehído (GSA) y 1-pirrolina. Dos enzimas catalizan esta vía para el 5-carboxilato (P5C), el primer paso es la P5C sin tasa (P5CS) y el último paso es la P5C reductasa (P5CR) (Bernabé *et al.* 2021).

La abundancia de prolina sirve como signo de la capacidad del organismo para resistir el estrés. La investigación ha demostrado su papel en la mejora de la capacidad de las levaduras y las plantas para soportar temperaturas bajo cero. Además, la prolina se encuentra en varias especies de plantas y actúa como osmoprotector, acumulándose en respuesta a condiciones estresantes (Solución Steiner 2021).

La acumulación de prolina puede considerarse una variable apropiada para evaluar la tolerancia a la sequía y servir como un indicador metabólico temprano de los cambios en la disponibilidad de agua. Una mayor actividad de las enzimas antioxidantes, especialmente CAT, confiere tolerancia. También es evidente que la

variación genotípica en el contenido de metabolitos y los cambios metabólicos en la condición de las hojas son respuestas a condiciones adversas (Quiriban 2020).

Su presencia en altas concentraciones es un indicador de tolerancia al estrés; en este sentido, se ha demostrado que aumenta la tolerancia a la congelación en levaduras y plantas. En las plantas, los niveles de prolina intracelular pueden acumularse en respuesta al estrés ambiental hasta concentraciones que exceden significativamente sus concentraciones fisiológicas naturales, lo que demuestra su papel fundamental en los procesos de adaptación de tolerancia-resistencia (Vega 2022).

Como aminoácido esencial en la fisiología vegetal, no actúa directamente como resistente a las plagas. Cuando se cultivan en condiciones óptimas, las investigaciones han encontrado que en condiciones de estrés aumentan el contenido de prolina, actuando como agente osmótico y protegiendo a las plantas de la deshidratación (Sánchez 2020). Sin embargo, se plantea la hipótesis de que su participación en las respuestas de las plantas al estrés abiótico y biótico puede contribuir indirectamente a la resistencia de las plantas a plagas y patógenos.

Cuando se regó lechuga fresca al 50 % de la capacidad de campo, se observará mayor concentración de prolina en las hojas frescas de lechuga, es decir, el contenido de prolina en el tejido de las hojas del vegetal era mayor en estrés abiótico. Las plantas de lechuga tratadas con fertilizantes foliares con aminoácidos demostraron ser más eficientes en el aprovechamiento del agua, mejorando la aplicación de aminoácidos y manteniendo la misma fotosíntesis activa en diferentes tratamientos, incluso con menor conducta estomática. Cabe señalar que el contenido de prolina tiende a aumentar en situaciones de escasez de agua, desempeñando un papel en la regulación osmótica (Gómez 2022).

La acumulación de prolina representa una de las reacciones metabólicas comunes en la mayoría de las plantas superiores en condiciones de deficiencia de agua (principalmente sequía y salinidad). Además, la prolina se encuentra en varias especies de plantas y actúa como osmoprotector, acumulándose en respuesta a condiciones estresante (Sánchez *et al.* 2016).

2.1.3. Hidroxiprolina

La hidroxiprolina es un aminoácido no esencial, más concretamente compuesto por la hidroxilación de la prolina, que originalmente también era un aminoácido no esencial. Para que se produzca esta hidroxilación, se requiere la presencia no sólo de prolina sino también de glicina. Se encuentra principalmente en tejidos animales, pero también forma parte de determinadas glicoproteínas de las paredes vegetales (Pérez 2022).

Su estructura química se puede cuantificar mediante diversos métodos, como la cromatografía en columna. Sin embargo, el método más utilizado es un ensayo colorimétrico basado en la reacción de hidroxiprolina oxidada con p-dimetilaminobenzaldehído (reactivo de Ehrlich) (Rodríguez *et al.* 2017).

La biosíntesis de hidroxiprolina en las plantas comienza con la prolina, que se sintetiza a partir del glutamato en el ciclo de Krebs. La prolina se hidroxila en presencia de oxígeno y prolil hidroxilasa (P4H) utilizando ácido ascórbico como cofactor. P4H se ubica en el retículo endoplásmico y su actividad está regulada por múltiples factores como la luz, la presión y la disponibilidad de nutrientes (Carbonero 2019).

El mismo autor menciona que la hidroxiprolina es un componente clave de las proteínas de la pared celular, como las elonginas y las glicoproteínas ricas en arabinosa de hidroxiprolina (HRGP), que son esenciales para la estructura y resistencia de la pared celular. Aunque también se encuentran pequeñas cantidades en proteínas solubles en el citoplasma y vacuolas. Aunque se sabe menos sobre su metabolismo que sobre su biosíntesis, se sabe que puede ser degradado por la hidroxiprolina oxidasa (HPO) en las mitocondrias, liberando prolina y 2-oxoglutarato, y su actividad se ve afectada por múltiples factores de regulación, incluido el estrés y la disponibilidad de energía.

Los mecanismos de respuesta local en las plantas incluyen diversas estrategias para prevenir la entrada y propagación de patógenos. Estos mecanismos implican el refuerzo de la pared celular mediante procesos como la lignificación, el depósito de suberina, la formación de callosa y la presencia de glicoproteínas ricas en hidroxiprolina (GRHP). Además, la formación de papilas y la

oclusión vascular actúan como barreras físicas contra la invasión de patógenos. Además de estas defensas estructurales, las plantas también producen fitoalexinas, que son compuestos antimicrobianos naturales que se acumulan en el lugar de la infección. Estas fitoalexinas se sintetizan en mayores cantidades después de la entrada de patógenos y desempeñan un papel crucial en la inhibición del crecimiento y la propagación de patógenos (Hammerschmidt, 1999) citado por (Sautua y Carmona 2023).

Las glicoproteínas tienen una distribución específica en los tejidos vegetales en función de su composición de aminoácidos. Aquellos con niveles elevados de hidroxiprolina predominan en el floema, cambium y esclerénquima, lo que sugiere un papel estructural y de sostén (Megías *et al.* 2023).

La hidroxiprolina es un aminoácido asociado a los procesos de floración, fertilización y desarrollo inicial del fruto y se recomienda suministrarlo a través de las hojas (Mula 2021).

2.1.4. Acción de Prolina e Hidroxiprolina en la función inmunológica de las plantas

El mejoramiento de las paredes celulares, apoyado gracias a los aminoácidos como la prolina y la hidroxiprolina, hace que la planta sea más resistente a las heladas porque sus células pueden tolerar mejor la presión provocada por los cristales de hielo que se forman en el citoplasma producido. Además, al proporcionar aminoácidos pueden ayudar a las plantas a continuar sintetizando proteínas más fácilmente cuando la actividad fotosintética se ve retardada a causa de las bajas temperaturas (Franco 2012).

2.1.5. Influencia y relación entre Prolina e Hidroxiprolina

Aminoácidos como la prolina y la hidroxiprolina ayudan a fortalecer las paredes celulares, lo que hace que las plantas sean más resistentes a las heladas porque sus células son más capaces de soportar el estrés provocado por los cristales de hielo que surge en el citoplasma; además, en la fotosíntesis, al proveer aminoácidos, siendo más simple para las plantas mantener sintetizando proteínas cuando la actividad se ve interrumpida por las bajas temperaturas (Salazar 2014).

2.1.6. Defensas Vegetales y Resistencia a Plagas

La prolina y la hidroxiprolina que ayudan a regular el equilibrio hídrico de las plantas y mejoran su resistencia al estrés ambiental como la sequía y la salinidad. Actúan como osmoprotectores y participan en la producción de proteínas de defensa que favorecen a las plantas a contrarrestar los organismos plagas . Además, potencian las paredes celulares e incrementan la tolerancia a factores adversos mejorando la fertilidad del polen, siendo esencial para la reproducción de las plantas (Caamal *et al.* 2020).

Según el IRAC (Comité de Acción sobre Resistencia a los Insecticidas), la resistencia se define como un cambio genético en la susceptibilidad la población de insectos dan como resultado productos insecticidas que en ocasiones no logran proporcionar niveles adecuado de control cuando se utiliza de una manera inapropiada. Consejos para marcar plagas. Por lo tanto, si se utilizan repetidamente los mismos pesticidas, estos son capaces de sobrevivir y transmitir sus genes de resistencia a su descendencia, formando poblaciones resistentes (Vega 2022).

Las interacciones entre plantas y plagas son complejas, con similitudes en el desarrollo de resistencia y la capacidad de la plaga para superarla. Estas dinámicas implican cambios genéticos que afectan las interacciones moleculares entre las partes. Dependiendo de la complejidad de la interacción, la resistencia de las plantas puede romperse rápida o permanentemente. Los mecanismos de resistencia incluyen antibióticos, donde las plantas producen sustancias tóxicas o inhibitorias, efectos antimicrobianos cuando las plagas afectan su comportamiento, y tolerancia, donde las plantas pueden recuperarse del daño de plagas o enfermedades con pocos síntomas o efectos (Quincasa 2020).

Las respuestas de defensa física de las plantas incluyen barreras preformadas como paredes celulares, cutículas epidérmicas cerosas y corteza que brindan protección y resistencia estructural. Por otro lado, las respuestas de defensa química se manifiestan por una reserva de metabolitos secundarios que son tóxicos para los patógenos, incluidos los productos antibióticos naturales contra las infecciones microbianas. Las defensas inducidas, como la producción de sustancias químicas tóxicas, enzimas que degradan patógenos y el refuerzo de

barreras físicas, se activan cuando las plantas detectan patógenos, equilibrando los costos energéticos y nutricionales asociados con su producción y mantenimiento (Pérez *et al.* 2020).

Las plantas han desarrollado una amplia variedad de mecanismos de defensa, incluidas adaptaciones físicas como espinas o la síntesis de sustancias químicas que disuaden a los depredadores de comerlas, así como algunas sustancias químicas con efectos antimicrobianos (Camacho *et al.* 2020).

2.1.7. Vías de señalización y producción de metabolitos secundarios

Las vías de señalización y la producción de metabolitos secundarios en las plantas están controladas precisamente por estímulos ambientales y biológicos, como la aparición de patógenos o condiciones adversas. Estos metabolitos se concentran en diferentes órganos y etapas de crecimiento y cumplen relevantes funciones ecológicas, desde la atracción de polinizadores hasta cuidar contra la radiación ultravioleta y la fotooxidación. Además, sirven como defensas químicas contra herbívoros, virus, hongos y otras plantas, algunas de las cuales se producen de manera constitutiva, mientras que otras se inducen en presencia de patógenos específicos (García y León 2021).

Un estudio realizado por Dita *et al.* (2018) citado por Florencio (2022), demostró que la presencia de hidroxiprolina en las glicoproteínas de la pared celular del banano durante la infección por Foc induce reacciones clave como la metilesterificación de la pectina y cambios en la distribución de las glicoproteínas. Estas modificaciones concertadas afectan directamente la resistencia del banano a los patógenos. Las foc se clasifican como necro tróficas o hemibiotróficas y parecen ser necesarias para interacciones activas con células vegetales vivas, lo que destaca la importancia de la hidroxiprolina en las respuestas de las plantas a las infecciones y las interacciones entre plantas y patógenos.

Un aumento de los niveles de prolina en las plantas puede aumentar su capacidad para soportar situaciones estresantes relacionadas con la disponibilidad de agua o los cambios de temperatura. También ayuda a aumentar la resistencia de las plantas a ataques de patógenos o plagas (Gómez 2022).

2.2. MARCO METODOLOGICO

En la elaboración del presente documento se recopilará información actualizada incluyendo artículos científicos, sitios web y bibliotecas virtuales que aporten opiniones e ideas de autores que permitirán estudiar el proceso de la presente investigación. Se especificó la temática relevante sobre la Prolina e hidroxiprolina: Influencia en la resistencia de los cultivos a organismos plagas en las plantas. El presente trabajo se desarrolló como una investigación no experimental de carácter bibliográfico, mediante el uso de síntesis, análisis, y resumen de la información que se recopiló.

2.3. RESULTADOS

Estos aminoácidos tienen la capacidad de regular la expresión de genes que codifican proteínas de la pared celular (p. ej., hidroxiprolina y glicoproteínas que contienen prolina), el JA también puede activar genes que codifican proteínas anti fúngicas (p. ej., tioninas, proteínas osmóticas y proteína RIP60 que inactiva los ribosomas). Están involucrados en el fortalecimiento de las paredes celulares y forman una barrera física contra la infección por patógenos.

En una planta promedio, se estima que las proteínas ricas en hidroxiprolina (HRGP) constituyen el 10% de la pared celular de la planta (en peso seco), lo que resalta su importancia estructural en las plantas. La modificación postraduccional más común de HRGP es la hidroxilación de residuos de prolina (Pro) a 4-hidroxiprolina (Hyp) a través de la actividad enzimática de prolina 4-hidroxilasas (P4H). La conversión de residuos Pro en Hyp en péptidos por la vía secretora cambia la conformación de la proteína y proporciona grupos hidroxilo reactivos como sustratos para modificaciones adicionales como la O - glicosilación. Esto puede afectar diversas propiedades de la pared celular, incluida su resistencia, flexibilidad y capacidad para interactuar con el medio ambiente.

En plantas superiores, el papel fisiológico de la acumulación de prolina aún no sido completamente determinado. A parte de actuar como un “osmoregulador”, la acumulación de prolina tiene otras funciones celulares importantes. Cuando los organismos plagas atacan una planta, por ejemplo, la resistencia puede depender en parte de la fortaleza de sus tejidos. El colágeno, con su contenido de prolina e

hidroxiprolina, contribuye a la resistencia de la pared celular de la planta, haciéndola más difícil de penetrar para los organismos invasores.

2.4 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Según Franco (2012), el acúmulo de prolina puede inducir un ajuste osmótico permitiendo a la planta superar el déficit hídrico. También la acumulación de aminoácidos, sobre todo en los órganos de crecimiento vegetal (yemas, brotes, hojas) es un mecanismo presente en la mayoría de especies vegetales sometidas a estrés salino, mientras que Franco (2011) menciona que al usar ácido jasmónico (JA) ya que este posee sus capacidades reguladoras que contienen genes que se traducen en fungicidas y proteínas de la pared celular para la resistencia de las plantas contra patógenos.

Según Salazar (2014), el fortalecimiento de las paredes celulares, debido a aminoácidos como prolina e hidroxiprolina, confiere al vegetal mayor resistencia a las heladas, al soportar mejor sus células la presión ejercida por los cristales de hielo que se forman en el citoplasma, además, un aporte de aminoácidos puede posibilitar a la planta el seguir sintetizando proteínas cuando la actividad fotosintética queda ralentizada por las bajas temperaturas, en contraste con Gloazzo (2017), quien enfatiza que la inhibición de la hidroxilación de prolinas por presencia de DP o EDHB produjo el aumento del porcentaje de células epidérmicas que se diferencian como tricoblastos, y aparición anticipada de los pelos radicales únicamente en altas concentraciones para ambos inhibidores (150 μM para el DP, 300 μM para EDHB)

Ribera (2020) destacó que se ha traducido en un menor ataque de nematodos en las plantas de tomate tratadas. Ello parece que está relacionado con la mayor resistencia del tejido radicular y la mayor capacidad de regeneración de los tejidos dañados, señalando así Toledo *et al.* (2023) al usar estos aminoácidos existe una baja en las poblaciones de Trips tanto en estado de ninfa como en su estado adulto, por lo que el uso de fertilización orgánica, así como el uso adecuado de dosis de nitrógeno, se constituye en una estrategia para el manejo de estas especies.

3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1. CONCLUSIÓN

La prolina y la hidroxiprolina tienen efectos en la resistencia a plagas, patógenos y otras amenazas del entorno ya que las plantas poseen interacciones de defensas complejas y esenciales contra estas amenazas. De esta forma podemos comprender sobre los mecanismos que posee las plantas para protegerse y adaptarse a su entorno.

En cuanto al papel que ejercen estos aminoácidos no solo actúan como un sistema de protección, sino que también son componentes esenciales en la regulación de procesos bioquímicos y fisiológicos de la planta que fortalecen la inmunidad de las plantas sometida a ataques externos, debido estos procesos hacen que la planta actúe rápidamente aplicando su sistema de defensa.

La relación entre la prolina e hidroxiprolina son esenciales debido a que ayudan a la planta en el equilibrio hídrico cuando estos se encuentran propensos a sequías, especialmente cuando se ve sometida a condiciones climáticas desfavorables lo que conlleva a ser propensos a organismos plagas, al fortalecer las paredes celulares se obtiene una planta más resistente y productiva.

3.2. RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar aplicación de la prolina e hidroxiprolina por que ayuda en la mitigación del estrés hídrico en los cultivos, y da mejor tolerancia a la sequía en las plantas.

Es importante analizar el potencial uso de estos aminoácidos, dado que regulan genes de defensa en las plantas, fortaleciendo así sus mecanismos de protección contra los insectos plagas, lo que podría contribuir significativamente a la seguridad alimentaria y la agricultura sostenible.

Se sugiere considerar la aplicación exógena de aminoácidos como la prolina e hidroxiprolina en los cultivos, ya que fortalecen la pared celular de las plantas, dificultando la penetración de insectos plagas.

4. REFERENCIAS Y ANEXOS

4.1. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilera, A; Angulo, C; Monreal, E; Hernández, L. 2021. Aminoácidos no esenciales en la síntesis de nanopartículas de oro y sus potenciales aplicaciones. Revista Digital Universitaria 22(3). https://www.revista.unam.mx/2021v22n3/aminoacidos_no_esenciales_en_la_sintesis_de_nanoparticulas_de_oro_y_sus_potenciales_aplicaciones/
- Bernabé, L; Hidalgo, J; Otiniano, C; VERA, M; Huamán, J; Rojas, J; Medina, M. 2021. irregularis y NaCl Proline content in Zea mays L. var. canteño (Poaceae) treated with Rhizophagus irregularis and NaCl. Scielo 28(3):693-716. <http://www.scielo.org.pe/pdf/arnal/v28n3/2413-3299-arnal-28-03-693.pdf>
- Caamal, M; Abraham, L; Barraza, A. 2020. ¿Las plantas también se enferman? Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste 62:1-12. https://www.cibnor.gob.mx/revistas/pdfs/vol6num2/1_LAS_PLANTAS.pdf
- Camacho, M; Ramos, D; Ávila, N; Sánchez, E; López, S. 2020. The physico-chemical plant defenses and its effect on ruminant feeding. Terra Latinoamericana 38(2):443-453. <https://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v38n2/2395-8030-tl-38-02-443.pdf>
- Carbonero, P. 2019. Metabolismo de aminoácidos. Universidad Politécnica Madrid :177. <https://oa.upm.es/54762/1/METABOLISMO.pdf>
- Fagro. 2020. Aminoácidos en la Agricultura. 2/2. :1-10. <https://blogdefagro.com/2020/11/23/aminoacidos-en-la-agricultura-2-2/>.
- Florencio, J. 2022. Estrategias De Manejo Integrado De Fusarium oxysporum f. sp. cubense Raza “1 o 2”, EN México Jose. Colegio De Postgraduados Institución. DOI: <https://doi.org/http://193.122.196.39:8080/bitstream/handle/10521/5023/FI>

orencio_Anastasio_JG_DC_Ciencias_Investigacion_2022.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Franco, J. 2012. Aminoácidos. ETSIA :1-17.
http://colposdigital.colpos.mx:8080/jspui/bitstream/handle/10521/5023/Florencio_Anastasio_JG_DC_Ciencias_Investigacion_2022.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Franco, M. 2011. Evaluación de los mecanismos de resistencia a *Pyricularia grisea* en arroz (*Oryza sativa*) a través de perfiles masivos de expresión de ARNm y proteínas. Phys. Rev. E :24.
https://cdn.blueberriesconsulting.com/2015/07/pdf_000047.pdf.

García, S; León, J. 2021. Estrategia Para Mejorar La Producción De Metabolitos Secundarios En Plantas. Ciencia UANL 24(106):1-16.
<https://cienciauanl.uanl.mx/?p=10898>

Gloazzo, JA. 2017. Rol biológico de la o-glicoproteína AGP21 para el programa de desarrollo de la raíz en la planta modelo *Arabidopsis thaliana*. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. :121.
https://bibliotecadigital.exactas.uba.ar/download/tesis/tesis_n6287_GloazzoDorosz.pdf.

Gómez, S. 2022. Influencia de cuatro bioestimulantes foliares en el rendimiento del cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) variedad unica en condiciones del distrito de Calana-Tacna.: Historia.
<http://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/UNJBG/459%0Ahttp://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/UNJBG/1073%0Ahttp://www.unjbg.edu.pe/institucion/historia.php>.

Intagri (Instituto para la innovación tecnológica en la agricultura) 2018. Los aminoácidos y su funcionamiento en las plantas (En línea, blog). México. Consultado 03 Ene. 2024. Disponible en: <https://mycsainc.com/newsletter/blog/2023/01/31/los-aminoacidos-y-su-funcionamiento-en-las-plantas/>

- Megías, M; Molist, P; Pombal, M. 2023. Atlas de Histología Vegetal y Animal. Depto. de Biología Funcional y Ciencias de la Salud. <https://mmegias.webs.uvigo.es/5-celulas/7-microtubulos.php>.
- Montañés, P. 2018. El valor añadido de los aminoácidos ramificados en un bioestimulante para uso agrícola. Sipcam Inagra, S.A 227:64-66. <https://www.phytoma.com/images/empresasSIPCAM.pdf>
- Morales, T; Sánchez, H. 2022. Mecanismos Inmunológicos en las Plantas. Revista ciencia 73(4):73-79. https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/73_4/PDF/13_73_4_1348_MecanismosInmunologicos.pdf.
- Mula, J. 2020. Guía de uso de los aminoácidos de las plantas (En línea, blog). Ecuador. Consultado 03 Ene. 2024. <https://www.agromatica.es/aminoacidos-en-las-plantas/>
- Neptunus. 2021. Aminoácidos en la Agricultura. Neptunus Biotech :17-20. <https://neptunusbiotech.com/blog/tag/aminoacidos/>
- Optigarden. 2023. ¿Qué son y qué función tienen los Aminoácidos en las Plantas? <https://optigarden.es/blog/aminoacidos-para-plantas/>
- Pérez, C. 2022. Hidroxiprolina: aminoácido no esencial. :3-5. <https://naturesan.net/hidroxiprolina-aminoacido-no-esencial/>
- Pérez, M; Sautua, F; Carmona, M. 2020. Cómo las plantas reconocen a los patógenos y se defienden. Herbario Virtual Fitopatología. <https://www.azhan.co/biodata-syafiqah-aina-instafamous-dan-pemilik-kosmetik-nsa-beau/>
- El Productor. 2023. Guía de uso de los aminoácidos en las plantas. :1-9. <https://elproductor.com/2023/04/guia-de-uso-de-los-aminoacidos-en-las-plantas/>.

- Quincasa. 2020. Resistencia De Las Plantas a Plagas Y Enfermedades. :11-13.
[https://quimcasa.blog/2020/11/27/resistencia-de-las-plantas-a-plagas-y-enfermedades/#:~:text=La resistencia de las plantas a las plagas se basa,%3B Pedley y Martin 2003\).](https://quimcasa.blog/2020/11/27/resistencia-de-las-plantas-a-plagas-y-enfermedades/#:~:text=La resistencia de las plantas a las plagas se basa,%3B Pedley y Martin 2003).)
- Quiriban, A. 2020. Actividad enzimática antioxidante y contenido de prolina en la tolerancia al estrés hídrico en trigo (*Triticum aestivum* L.).
[https://repo.unlpam.edu.ar/bitstream/handle/unlpam/8001/atp-quiact020.pdf?sequence=1&isAllowed=y.](https://repo.unlpam.edu.ar/bitstream/handle/unlpam/8001/atp-quiact020.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Ramírez, M; Bautista, A; Báez, A; Aquino, T; Morales, I; García, E. 2022. La aplicación foliar del ácido glutámico mejora el rendimiento y algunos parámetros físicos y químicos de la calidad del fruto de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Interciencia* 47(1/2):31-38.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33970072005>
- Ribera, L. 2020. Excelente nutriente gran resultado Cuestión de calidad (En línea, sitio web). Madrid. Consultado 03 Ene. 2024. Disponible en:
<https://idoc.pub/documents/informe-tectnico-isabion-on23rx2mwjlo>
- Rizzi, Y. 2017. Aportes de prolina deshidrogenasa a la defensa contra patógenos en *Arabidopsis*. Centro de Investigaciones en Química Biológica de Córdoba :147. https://rdu.unc.edu.ar/bitstream/handle/11086/15487/136952017_Rizzi_Yanina.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Rodríguez, A; López, R; Ramírez, C; Andrade, J. 2017. Propuesta para extracción de colágeno soluble en ácido (CSA) de escamas de tilapia del Nilo. Editorial Coloquio de Investigación Multidisciplinaria 5(2):1059-1066.
[https://www.researchgate.net/publication/326066766_Propuesta_para_extraccion_de_colageno_soluble_en_acido_CSA_de_escamas_de_tilapia_d_el_Nilo/link/5b3659dfaca2720785f68311/download.](https://www.researchgate.net/publication/326066766_Propuesta_para_extraccion_de_colageno_soluble_en_acido_CSA_de_escamas_de_tilapia_d_el_Nilo/link/5b3659dfaca2720785f68311/download)
- Salazar, O. 2014. "Hidrólisis enzimática de proteínas de suero lácteo con proteasas de tracto de trucha arcoiris (*Oncorhynchus mykiss*) Para reducir la contaminación orgánica del agua mediante la posible aplicación como

fertilizante

orgánico.

[http://repo.uta.edu.ec/bitstream/123456789/8453/1/BQ_54 .pdf](http://repo.uta.edu.ec/bitstream/123456789/8453/1/BQ_54.pdf).

Sánchez, E; Ruiz, J; Romero, L. 2016. Nitrogen compounds stress indicators in response to toxic doses of Nitrogen and deficient in green beans. Revista Electrónica Nova Scientia N° 16 8(1):228-244. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6214593.pdf>

Sánchez, M. 2020. Importancia de la prolina como regulador osmótico natural y el efecto de su aplicación exógena en la disminución de los efectos del estrés hídrico en la planta. Metroflor-agro :1-22. <https://www.metroflorcolombia.com/importancia-de-la-prolina-como-regulador-osmotico-natural-y-el-efecto-de-su-aplicacion-exogena-en-la-disminucion-de-los-efectos-del-estres-hidrico-en-la-planta/>

Sautua, F; Carmona, M. 2023. Sistema Inmune inducible. Herbario Virtual Fitopatología. <https://www.azhan.co/biodata-syafiqah-aina-instafamous-dan-pemilik-kosmetik-nsa-beau/>

Solución Steiner. 2021. Manuales Prácticos Para La Elaboración De Bioinsumos. gov.mx :31. <https://www.gob.mx/produccionparaelbienestar%0A#EstrategiadeAcompañamientoTécnico>.

Toledo, C; González, M.; Rodas, A. 2023. Efecto del nitrógeno y aminoácidos libres en las poblaciones de trips (Insecta: Thysanoptera) en ejote francés (*Phaseolus vulgaris* L.). La Calera 23(40):1998-7846 1998-8850 established,. <http://portal.amelica.org/ameli/journal/306/3063859002/3063859002.pdf>.

Vega, I. 2022. Extracto De *Sesuvium portulacastrum* Como Bioestimulante En Plántulas De Tomate (*Solanum lycopersicum* L.) Bajo Estrés Hídrico. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C :1-84. https://ciad.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1006/1101/1/Iliana_Vega_Báez.pdf.

Villar, M. 2024. Aminoácidos para las plantas: GUIA COMPLETA. Eurogrow :1-11.
<https://eurogrow.es/blog/aminoacidos-para-las-plantas-n886>

Zibilske, L. 2019. Estrés de plantas y prolina. Primicias Rurales
<https://www.ruralprimicias.com.ar/sitio/2019/07/06/estres-de-plantas-y-prolina/>

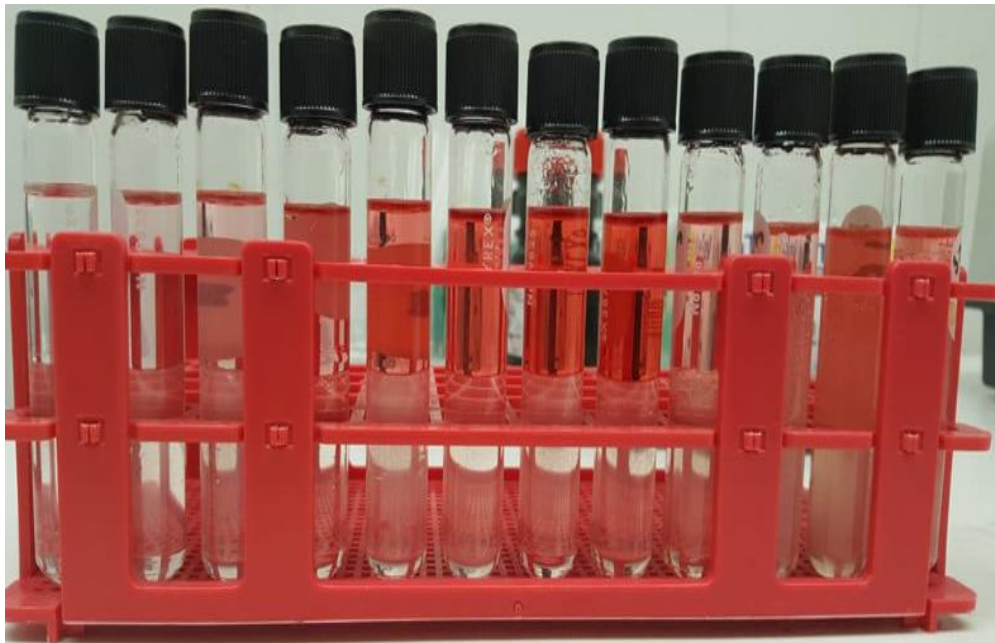
4.2. ANEXOS.

Plantas hojas de remolacha azucarera estresadas propensas a plagas y enfermedades.



Fuente: Zibilske, L (2019),

Muestras listas para análisis de instrumentos. Incluso sin precisión y análisis de instrumentos absolutos, se pueden ver claramente las diferencias comparativas en los niveles de prolina (estrés de las plantas).



Fuente: Zibilske, L (2019),

A modo de comparación, hojas de remolacha azucarera saludables



Fuente: Zibilske, L (2019),