

Aminoácidos

Ing. Agr. Humberto Mendoza
Ing. Agr. Dragomir Ljubetic
Ing. Agr. José Antonio Soza

1- Aminoácidos de hidrólisis

www.uvademesa.cl

Están constituidos por aminoácidos, péptidos, polipéptidos, polisacáridos y otros componentes procedentes de la hidrólisis de proteínas, de origen animal o vegetal, por acción enzimática, térmica o de ácidos fuertes, tales como sulfúricos y clorhídricos.

Bajo condiciones de hidrólisis muy drásticas, parte de los aminoácidos llegan a perderse como amoníaco, o a sufrir un proceso de racemización (cambio de configuración **levógira**, única utilizable por la planta, a configuración **dextrógira**). Bajo condiciones de hidrólisis controlada, se evita los problemas citados aunque hace aumentar en el producto final la proporción de polipéptidos de elevado peso molecular que no pueden ser absorbidos directamente por el vegetal.

2- Aminoácidos de síntesis

Se caracterizan porque su composición tanto en sus componentes como en cada uno de ellos, esta definida. Dada la facilidad y rapidez con que son asimilados, resulta muy prudente no sobrepasar la dosis recomendada en cada caso. Una dosificación excesiva puede producir una detención del crecimiento del cultivo que durará 5 – 10 días y del que seguidamente se recuperará.

3- Papel de los aminoácidos en la planta

Los requerimientos de aminoácidos por parte del vegetal, se extienden durante todo su ciclo. Estos, desempeñan una importante función nutritiva en la germinación (el embrión consume aminoácidos procedentes de proteínas almacenadas en el endospermo), así como en la síntesis de proteínas (enzimas, proteínas asociadas a las membranas celulares, etc.) en la formación de fitohormonas como algunas auxinas, etileno, citoquininas, poliaminas, porfirinas, etc. Así como en la regulación del balance hídrico en las plantas cuando éstas están bajo situaciones de estrés, y como moléculas quelatantes de cationes necesarios para el desarrollo del vegetal, entre otras funciones.

El nitrógeno (como nitrato) es asimilado por la planta mediante un proceso de reducción y metabolizado en sustancias como aminoácidos, porfirinas, adenosina, etc.

El nitrógeno generalmente se incorpora al vegetal en forma mineral, aunque también se absorbe como aminoácido.

El nitrógeno amoniacal que se obtiene, es rápidamente fijado por el vegetal debido a su fuerte carácter tóxico. Una de las sustancias encargadas de su fijación es el ácido alfa-cetoglutarico (forma parte del ciclo de Krebs). Este al reaccionar con el ion amonio forma **ácido glutámico** y a partir de este se genera una serie de nuevos aminoácidos como la **serina, lisina, prolina, valina, alanina, aspartico**, etc. Dependiendo del ácido orgánico que reacciona con el **ácido glutámico**.

La incorporación de **ácido glutámico**, además de favorecer la síntesis de nuevos aminoácidos, incrementa indirectamente la capacidad de la planta para fijar nitrógeno amoniacal, potenciándose de esta manera los mecanismos desintoxicadores de la planta frente a dicha forma tóxica de nitrógeno.

4- Incremento de los mecanismos naturales de defensa frente a situaciones adversas.

En general, las situaciones de estrés originan en el vegetal una serie de reacciones comunes para casi todas las especies como son:

- Cese de fotosíntesis.
- Aumento de la respiración.
- Regulación estomática.
- Inducción al proceso de senescencia foliar.
- Disminución de la síntesis proteica.
- Variación del potencial hídrico interno en caso todos los órganos del vegetal.
- Incremento del ácido abscísico que favorecen la abscisión de flores, hojas, frutos, etc.

Estas situaciones adversas pueden ser estrés hídrico, térmico, salino, problemas fitopatológicos, déficit lumínico, polución atmosférica y otros.

En estas circunstancias, se produce una acumulación de aminoácidos, sobre todo en los órganos de crecimiento del vegetal (yemas, brotes, hojas, etc.), mecanismo que opera en la mayoría de las especies vegetales sometidas a situaciones

adversas. Incluso, algunos aminoácidos han sido tomados como índices de tolerancia, resistencia y/o capacidad de recuperación de plantas frente a situaciones adversas.

La acumulación de **prolina, ácido glutámico, alanina, leucina, isoleucina, asparagina, arginina, serina, ácido aspártico, valina, glicina, treonina, fenil alanina** y otros aminoácidos, es un fenómeno de resistencia natural, que la propia planta dispone. Se llevan a cabo autorregulaciones internas en la distribución de aminoácidos cuando las plantas se ven en situaciones adversas, ya que mientras el vegetal está en regímenes óptimos, se conoce que los aminoácidos sintetizados en la raíz se distribuyen básicamente a los órganos en crecimiento, mientras que lo hacen a toda la masa foliar cuando el vegetal se haya bajo estrés.

El aporte exógeno de L-alfa aminoácidos libres, ya sea vía foliar o vía radicular, ayuda a la planta a evitar el estrés gracias a:

- **Contribuir en los mecanismos de resistencia por regulaciones Osmóticas.**
- **Proteger y fomentar la actividad enzimática.**
- **Retrasar la Senescencia de la planta.**
- **Aumentar la concentración de aminoácidos gracias a la adición de precursores.**

5- Contribución en los mecanismos de resistencia por regulaciones osmóticas

Es un hecho conocido, que las plantas frente a un estrés de tipo térmico, hídrico, salino y/o osmótico, presentan variaciones en su presión osmótica interna como mecanismo de resistencia ante posibles contaminaciones o fenómenos de deshidratación. **Algunos aminoácidos, como la prolina intervienen en dichos procesos reguladores de forma significativa.**

Los primeros movimientos que se detectan en una planta, cuando se le somete a un estrés salino, es, la acumulación de **prolina** (la mayor parte procedente del **ácido glutámico**), que actuará como soluto en los ajustes osmóticos que se lleven a cabo dentro de la planta.

En condiciones de anoxia, se consiguen acumulaciones extraordinarias de aminoácidos, contribuyendo estos en un 80% (más que el papel del potasio) en el potencial osmótico de la planta.

La acumulación de sales en las vacuolas de la célula de la planta estresada, crea un bajo potencial osmótico entre ésta y el citoplasma de las células afectadas, que

se compensa con la acumulación de **prolina** en el citoplasma. **La cantidad de prolina aumenta tres veces más en el medio extracuolar que en la vacuola, en determinadas especies vegetales.**

6- Protección y fomento de la actividad enzimática

Los procesos enzimáticos de las plantas, son uno de los más afectados en situaciones de estrés, ya que se da una rápida inactivación por la desnaturalización de las proteínas que forman las enzimas.

Las enzimas **Dinucleotido de nicotinamida adenina + Glutamal deshidrogenasa**, clave en la incorporación de nitrógeno orgánico en las plantas y en favorecer la síntesis proteica, la glucogénesis y el crecimiento celular, ven aumentada su actividad de manera considerable en la raíz gracias a la incorporación de aminoácidos del medio edáfico.

La **prolina** en situaciones de estrés hídrico causado por elevadas temperaturas, protege a la enzima **ornitina-aminotransferasa** de su inactivación y desnaturalización. Dicha enzima interviene en la biosíntesis de **ornitina**.

7- Retraso del proceso de senescencia de la planta

Todos los estrés envejecen más rápidamente las hojas de las plantas afectadas, con la consiguiente pérdida del potencial fotosintético.

Se conocen, no obstante, mecanismos originados por aminoácidos que frenen la degradación foliar consecuencia de la senescencia producida por el estrés.

La **arginina** y la **metionina** son precursores de poliaminas como la espermidina y la espermina que participan en la regulación de numerosos procesos fisiológicos, gracias a su acción rejuvenecedora y/o retardante de la senescencia de las plantas.

La **glicina** contribuye manteniendo un óptimo potencial fotosintético en las hojas, ya que contribuye de forma activa en la formación de los pigmentos clorofilicos encargados de la captación de energía luminosa por la planta.

8- Acción bioestimulante y/o fitohormonal

La **prolina** y la **metionina**, pueden presentar acciones bioestimulantes o potenciar las acciones de algunas fitohormonas. La **prolina** potencia la acción del ácido giberélico en el desarrollo de frutos partenocárpicos y la **metionina** es el principal precursor de etileno en los vegetales.

9- Acción quelatante:

Existen numerosas moléculas en la naturaleza que presentan acción quelatante, como algunos ácidos orgánicos sulfonatos, purinas, aminoácidos, etc. Así como existen quelatos sintéticos como el EDTA, DTPA, EDDHA, etc.

Los aminoácidos tienen en su estructura la capacidad de formar complejos de coordinación covalentes con metales a través de la escisión de electrones. El principal aminoácido con propiedades quelatantes es la **glicina** aunque también se conocen otros aminoácidos con capacidad de formar complejos con iones metálicos.

Experimentalmente, se ha comprobado que la adición de aminoácidos incrementa la permeabilidad de la membrana celular a los cationes metálicos. La entrada de la célula de un mineral asociado a un aminoácido es mayor que la que se derivaría de una simple difusión, ya que los quelatos de aminoácidos con microelementos siguen una vía de entrada específica y característica a través de poros existentes en las membranas celulares cuyas aberturas están reguladas por moléculas proteicas, de forma cilíndrica, embebida en el estrato lipídico y captando el quelato por permeabilidad.

Existen mecanismos de desintoxicación mediante complejos formados por algunos aminoácidos. El **ácido glutámico** y **aspartico**, en forma de polipéptidos de carácter ácido (poli-L-glutamato y poli-L-aspartato), forman mecanismos de desintoxicación del aluminio en algunas especies vegetales durante la germinación del grano de polen, ya que este inhibe el crecimiento del tubo polínico.

También se han encontrado mecanismos quelatantes de desintoxicación en raíces de variedades de sorgo resistentes al aluminio.

Los aminoácidos juegan un papel trascendental en el equilibrio hídrico de la planta, especialmente en condiciones climáticas adversas o ante accidentes fisiológicos, en este caso, en plantas seriamente afectadas y con mermas notorias en su parte aérea, siempre será más recomendable el tratamiento por vía radicular.

Por último, las aplicaciones de aminoácidos mejoran la absorción de micronutrientes y favorecen su morbilidad por el sistema vascular de vegetales.

10- Acciones específicas de los aminoácidos

- ALANINA** : Potencia la síntesis de clorofila, traduciéndose en un mayor potencial de actividad fotosintética.
- GLICINA** : Primer eslabón en la ruta biosintética de la clorofila.
Principal aminoácido de acción quelatante.
Metabolito fundamental en la formación de tejido foliar.
- LISINA** : Potencia la síntesis de clorofila.
Precursor de poliaminas, las cuales intervienen en procesos fisiológicos fundamentales desde la germinación y senescencia floral, hasta la maduración del fruto.
- ARGININA** : Contribuyente a la síntesis de clorofila.
Precursor del poliaminas.
Estimula el crecimiento de las raíces.
- METIONINA** : Precursor de nuevos aminoácidos.
Estimula procesos metabólicos en hojas jóvenes.
Favorece la asimilación de nitratos por la planta.
- PROLINA E
HIDROXIPROLINA** : Juegan un papel esencial en el equilibrio hídrico de la planta.
Mantienen actividad fotosintética en situaciones adversas.
Fortalecen las paredes celulares aumentando la resistencia a las heladas.
Incrementan la germinación del polen, sobre todo a bajas temperaturas.

11- Estudio de la Influencia de los Aminoácidos durante la Polinización y Fecundación

1. Aminoácidos en la nutrición del grano de polen.

A pesar de que las necesidades del grano de polen no son cualitativamente muy elevadas, su reducido tamaño no le permite almacenar en su interior las suficientes reservas nutritivas, que le aseguren el autoabastecimiento durante su desarrollo.

Las sustancias nutritivas almacenadas en el medio interno del polen, principalmente almidón y lípidos, son utilizadas hasta el momento en que el grano de polen se asienta en el estigma, disponiendo en ese instante de fuentes nutritivas exógenas como los propios componentes de los exudados estigmáticos o bien los componentes de los tejidos del estilo por el que el tubo polínico atraviesa.

La absorción de elementos exógenos por parte de los granos de polen es iniciada durante el asentamiento de estos en el estigma y la posterior hidratación de los orgánulos. La fracción de aminoácidos presentes en el medio, es una de las principales incorporaciones exógenas que se dan durante la hidratación del polen.

Algunos de estos aminoácidos son utilizados por el grano de polen durante su desarrollo, como fuentes nutritivas en la progresiva elongación del tubo polínico (se relaciona al **ácido glutámico**, y al **ácido aspartico**, entre otros aminoácidos, con una dependencia de los tubos polínicos a una fuente exógena de nitrógeno) como compuestos estructurales o simplemente energéticos, como se concretará posteriormente.

2. Aminoácidos en la germinación del grano de polen en el posterior desarrollo del tubo polínico.

Los estigmas de las flores de la mayoría de las especies vegetales cultivadas, generalmente, en el período en que se encuentran aptas para la recepción de granos de polen, segregan un exudado mucilaginoso con el fin de facilitar la germinación del polen, y el posterior desarrollo del tubo polínico.

Los exudados estigmáticos son secreciones que contienen principalmente aminoácidos y azúcares, detectándose también, aunque en menor cuantía, la presencia de fenoles, alcaloides y diferentes sustancias orgánicas. Han sido estudiados los exudados estigmáticos de sandía y soja entre otras especies vegetales, comprobándose la presencia de **ácido glutámico, prolina, hidroxiprolina, glicina, ácido aspartico y otros aminoácidos**. La dinámica de los exudados estigmáticos sugiere que la excreción se produce con el fin de retener y reconocer el grano de polen transportador por los agentes polinizadores y depositado en el estigma. Se ha postulado un incremento de la secreción estigmática en respuesta a la polinización con el fin de asegurar un medio suficientemente fértil, para que al hidratarse el grano de polen se dé mayor incorporación de nutrientes (aminoácidos y otros), y permita la germinación de un máximo número de granos de polen, siendo ello imprescindible para el buen desarrollo de frutos con gran número de semillas.

La secreción del exudado estigmático se inicia previamente a la antesis (en sandía empieza a segregarse 6 días antes de la antesis y en judías de 4 a 5 días aproximadamente), maximizándose durante la antesis y una vez realizada la fecundación cesa totalmente la secreción de dicho exudado.

El grano de polen en sus primeras etapas de asentamiento en el estigma de las flores a fecundar, se nutre de las sustancias de reserva que presenta en su medio interno, principalmente almidón, después de someterlas a procesos de hidrólisis (los granos de polen inviables generalmente no efectúan la hidrólisis de almidón).

Una vez iniciada la hidratación, empiezan a incorporarse sustancias del medio externo (exudado estigmático) como son los aminoácidos, que se usan en la constante demanda que el grano de polen hace de ellos a lo largo del crecimiento del tubo polínico.

En granos de polen de varias especies vegetales, se relacionó la vitalidad de estos con su contenido en aminoácidos, concretamente en **ácido glutámico y prolina**. El contenido de **prolina** del polen de maíz representó del 1,5 al 2,5 % del peso sobre materia seca, y en polen de arroz del 1 al 1,5 %.

Por otra parte, la presencia de **prolina** y ácido glutámico en un medio utilizado para la germinación de polen, elevó la tasa de germinación y estimuló de manera considerable el crecimiento del tubo polínico. El tubo polínico en un medio con **prolina** llegó a tener doble longitud que el mismo polen en un medio sin **prolina**.

También aminoácidos como la **glicina** y la **hidroxiprolina** elevaron la longitud del tubo polínico, y el **ácido aspártico** la tasa germinativa.

El aumento del porcentaje de germinación del polen y del crecimiento del tubo polínico por la presencia de aminoácidos endógenos o exógenos, se puede explicar por la potenciación de mecanismos de resistencia de los granos de polen frente a factores climáticos adversos, mediante la mejora de la pared celular o callosa, por la utilización de aminoácidos como unidades estructurales de sustancias proteicas o como fuentes energéticas que se analizarán más adelante.

Los aminoácidos son utilizados entre otras cosas, como unidades estructurales en la formación de diferentes estructuras proteicas entre las que destacan las enzimas. Se conoce una intensa actividad enzimática en el grano de polen detectándose invertasas, lipasas, amilasas, proteasas y reductasas entre otras enzimas que contribuyen de forma importante en el desarrollo del polen.

Incluso el ápice del tubo polínico segrega enzimas que destruyen tejidos del gineceo de la flor a fecundar, por donde ha de crecer dicho tubo contribuyendo así a su crecimiento. Los productos derivados de dicha descomposición tisular, son utilizados en la formación de nuevas estructuras del tubo polínico.

Los aminoácidos además de ser utilizados como unidades estructurales de enzimas, también forman estructuras proteicas que poseen otras funciones igualmente importantes en el crecimiento del tubo polínico, como la de contribuir a la formación de las proteínas de las paredes del tubo polínico que se forma.

De hecho, la **hidroxiprolina** (aminoácido presente en exudados estigmáticos al igual que los que se citan más abajo), se encuentran siempre asociada a proteínas en las paredes celulares. También se ha detectado la acumulación de **prolina** y **asparagina** en paredes celulares de **Hyosayamus niger**, entre muchos otros casos.

En este último caso, se vio que durante las primeras etapas de germinación del grano de polen, la mayoría de los aminoácidos eran incorporados en proteínas solubles, y era coincidente con la emisión del tubo polínico, cuando los aminoácidos se integraban en las fracciones insolubles asociadas con las proteínas de las paredes celulares, incluso, aminoácidos con mayor riqueza nitrogenada, **arginina** y **lisina** se incorporaban durante el crecimiento del tubo polínico, tres veces más que otros como **triptofano**, que poseen menor riqueza en nitrógeno.

Estos procesos, podrían explicar la elevación de la tasa de germinación del polen y el mayor crecimiento del tubo polínico que se produjo al aportar exógenamente una serie de aminoácidos en el medio nutritivo de germinación.

Las etapas del desarrollo del grano de polen donde se da mayor incorporación del aminoácido en dicho orgánulo, coinciden con la hidratación del polen mediante sustancias presentes en el medio en que se encuentra (exudados estigmáticos), y con el desarrollo del tubo polínico cuando este ya ha adoptado un modelo tubular de extensión e inicia su elongación.

3. Aminoácidos y mecanismos de resistencia del polen frente a factores adversos.

El período de polinización en la mayoría de las especies vegetales es relativamente corto, aunque a pesar de ello existe una sensibilidad considerable del grano de polen que se acentúa durante la germinación que coincide con el inicio de la degradación de la pared callosa.

Los intervalos de polen son muy concretos. En general, casi todas las especies vegetales presentan una máxima variabilidad en un rango de 18 °C a 20 °C. Temperatura por encima o por debajo del intervalo óptimo, afectan de manera considerable la tasa de germinación del grano de polen, pudiéndola reducir drásticamente.

A los aminoácidos se les atribuyen propiedades protectoras derivadas de su comportamiento en la planta, como es el caso de la **prolina**, que ha sido objeto de numerosas investigaciones. En varias especies vegetales se ha visto que la adición exógena de **L-prolina** en forma libre, confiere al polen una mayor resistencia tanto a elevadas como a bajas temperaturas, elevándose la tasa de germinación de los granos de polen respecto a polen son adición de **prolina**. Se le otorgan además de funciones estructurales, funciones específicas de protección de procesos de germinación y metabólicas.

Incluso en plantas de tomate durante períodos de estrés térmico, provocado por altas temperaturas y como desencadenamiento de mecanismos naturales de resistencia de la planta frente a dichos factores adversos. Se dio una migración de algunos aminoácidos, principalmente **prolina**, hacia las partes vegetativas, en perjuicio de los órganos florales (anteras y pistilos). Esto redujo en buena medida la capacidad de resistencia de los granos de polen de las plantas sometidas a estrés, ayudó a equilibrar el déficit de **prolina** provocado por el estrés, elevándose su concentración en el grano de polen y su resistencia frente a factores adversos de temperatura.

Derivado de las experiencias realizadas sobre la resistencia que confieren los aminoácidos al polen, se postulan diferentes mecanismos de actuación, como es la de conferir mayor resistencia a las paredes de las células del polen frente a concisiones adversas, debido a la disponibilidad de **hidroxiproline** para la formación de proteínas estructurales de la pared.

Otro mecanismo postulado en este proceso de resistencia consiste en la acción osmótica que poseen algunos aminoácidos entre las que destaca la **prolina**, catalogada por muchos investigadores como índice de resistencia de las plantas frente a bajas y elevadas temperaturas e incluso salinidad.

4. Aminoácidos en mecanismos de desintoxicación.

De la misma manera como existen sustancias favorecedoras de la germinación del grano de polen (citoquininas, giberelinas, boro, calcio, magnesio, etc.), existen numerosos inhibidores del desarrollo de la germinación del polen. Se han detectado efectos tóxicos del **Aluminio** en el crecimiento del tubo polínico de algunas especies vegetales, llegándose a cuantificar inhibiciones del crecimiento del tubo polínico de hasta el 70 %.

El vegetal para hacer frente a dichas fitotoxicidades, dispone de mecanismos de desintoxicación. Mediante polipéptidos de carácter ácido, poli-L-glutamato (polipéptidos formados a partir de la unión de numerosas moléculas de los aminoácidos **ácido aspartico y ácido glutámico**), se consigue restablecer parcial o totalmente el crecimiento del tubo polínico dependiendo de la proporción molar polipéptidos / Aluminio (el restablecimiento total se da en una proporción de 10:1).

Dichos mecanismos desintoxicadores-acomplejantes del aluminio además de detectarse a nivel de germinación de polen, también fueron detectados en los sistemas radiculares de plantas resistentes a elevadas concentraciones de Aluminio.

5. Aminoácidos en la esterilidad del polen.

Las causas posibles de la esterilidad de las anteras y/o granos de polen pueden ser numerosas, incluso se otorgó a la deficiencia de **prolina un posible papel fundamental en dicha infertilidad**. En anteras estériles, se detectó una entrada de **prolina** totalmente impedida en los órganos sexuales masculinos (androceo), mientras que en los órganos sexuales femeninos (gineceo) de las mismas flores, la incorporación de **prolina** fue normal.

También se detectan restituciones de fertilidad en híbridos estériles de trigo al incrementarse los contenidos de **prolina** del vegetal, gracias a aportes exógenos.

Derivado de estos hechos, se sugirió que la deficiencia de prolina libre de anteras estériles podría directamente afectar a la formación de las microsporas, colapsando su desarrollo, dado que este aminoácido es esencial para la formación de algunas estructuras proteicas (enzimas, proteínas de las membranas celulares.