

Aminoácidos no proteicos en algunas especies de la subfamilia Mimosoideae con énfasis en el género *Acacia* *sensu lato*

MARCOS SOTO HERNÁNDEZ^{1,4}, MARÍA DE LOURDES RICO-ARCE² Y
GEOFFREY KITE³

Botanical Sciences
94 (3): 585-592, 2016

DOI: 10.17129/botsci.443

Resumen

Los aminoácidos no protéicos de algunas especies en las tribus Acacieae, Ingeae y Mimosae se investigaron por cromatografía de líquidos-espectrometría de masas a partir de extractos crudos de semillas y hojas. El análisis reveló compuestos característicos en los subgéneros *Acacia*, *Aculeiferum* y en el género *Acaciella*. Las semillas y hojas del subgénero *Acacia* se caracterizaron por la acumulación de ácido *t*-4-hidroxi pipecólico, ácido pipecólico, albizina (ácido- α -amino- β -ureido propiónico) y tres compuestos de naturaleza desconocida, mientras que en el caso de especies del subgénero *Aculeiferum* sus semillas y hojas acumularon ácido 2-amino-3-acetil propiónico, ácido 2-amino-4-acetil- amino butírico, ácido pipecólico y albizina. Ninguna de las especies analizadas del grupo de *Acacia coulteri* presentó ácido [β -(uracil-1-il)- α -amino propiónico](willardina). En las especies del género *Acaciella* los compuestos característicos fueron ácido 2-amino-3-acetil propiónico, ácido pipecólico y albizina. El estudio se completó comparando con algunas especies de la tribu Ingeae en la que el ácido 2-amino-3-acetil propiónico y el ácido 2-amino-4-acetil amino butírico fueron los aminoácidos más comunes. También se incluyeron y compararon algunas especies de la tribu Mimosae, en la que los principales compuestos fueron el ácido *t*-4-hidroxi-pipecólico y el ácido pipecólico. Se discute la distribución de los compuestos detectados con estudios de otros tipos de caracteres y filogenias moleculares recientes y la propuesta de un esquema para el origen bioquímico que muestra una posible divergencia de especies.

Palabras clave: *Acacia*, aminoácidos no proteicos, cromatografía líquida- espectrometría de masas.

Nonprotein aminoacids in some species of the subfamily Mimosoideae with emphasis in the genus *Acacia* *sensu lato*

Abstract

Non protein amino acids of some species of the legume genera in the tribes Acacieae, Ingeae, and Mimosae were surveyed by Liquid chromatography-mass spectrometry using crude extracts of seeds and leaves. This has revealed compounds characteristic of subgenera *Acacia* and *Aculeiferum* and the genus *Acaciella*. Seeds and leaves of *Acacia* subgenus were characterized by the accumulation of *t*-4-hydroxy-pipecolic acid, pipecolic acid, albizzine, and three unknown compounds, whereas compounds characteristic of seeds and leaves of subgenus *Aculeiferum* included 2-amino-3-acetyl-propionic acid, 2-amino-4-acetyl amino butyric acid, *t*-4-hydroxy pipecolic acid, pipecolic acid and albizzine. None of the studied species of the *Acacia coulteri* group presented willardine. Characteristic compounds in the genus *Acaciella* were 2-amino-3-acetyl propionic acid, pipecolic acid and albizzine. The study was completed comparing with some species of the tribe Ingeae in which 2-amino-3-acetyl propionic acid and 2-amino-4-acetyl amino butyric acid were the more common compounds. Some species of the tribe Mimosae were included and compared and their main compounds were *t*-4-hydroxy-pipecolic acid and pipecolic acid. The results are discussed with studies of other types of characters and recent molecular phylogenies and a scheme for the biochemical origin of a marker amino acid is proposed, and a possible divergence of species is shown.

Key words: *Acacia*, liquid chromatography-mass spectrometry non protein aminoacids.

¹ Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México, México

² Identification and Naming, Royal Botanic Gardens Kew, Richmond, Reino Unido

³ Comparative Plant and Fungal Biology, Royal Botanic Gardens Kew, Richmond, Reino Unido

⁴ Autor para correspondencia: msoto@colpos.mx

Las plantas, animales y microorganismos usan los 20 aminoácidos comunes en la síntesis de proteínas. Existen otros aminoácidos de distribución restringida que son necesarios en procesos metabólicos básicos como la ornitina que es precursor en la síntesis de urea y la sarcopina que es intermediario en la síntesis de lisina. A diferencia de ornitina y sarcopina, la mayoría de los aminoácidos no protéicos aparentemente no tienen funciones reconocidas en procesos metabólicos primarios sin embargo, algunas evidencias indican que los aminoácidos no protéicos son de gran importancia para asegurar la supervivencia de las especies (Fowden *et al.*, 1967). A la fecha se conocen más de 240 aminoácidos no protéicos (ANP) aislados y caracterizados de plantas (Bell, 1980). El interés en su estudio se centra en un grupo de aminoácidos de estructura particular (tienen menos de diez átomos de carbono), además tienen interés en agricultura y medicina así como en ecología debido a los efectos fisiológicos que producen en otros organismos. Su distribución limitada puede proporcionar a la taxonomía valiosa información sobre las relaciones evolutivas que existen entre las diferentes especies de plantas. En *Lonchocarpus*, la canavanina es un metabolito característico de las especies africanas y la enduracídina de las especies americanas. En niveles taxonómicos supragénericos, la presencia de canavanina en miembros de la tribu *Mirbeliaeae* (Benth.) Polhill ha determinado que se ubica más cercana a *Tephrosiaeae* (Benth.) Hutch. que a *Podalyrieae* Benth. A nivel de familia, existen relaciones basadas en similitudes morfológicas en las Sapindaceae Juss., Hippocrastanaceae A. Rich. (= Hippocastanoideae Dumort) y Aceraceae Juss. donde se confirmó que las tres antiguamente familias comparten la síntesis de aminoácidos no protéicos derivados de ciclopropano con residuos de C6 y C7 (Bell y Fellows, 1966; Rosenthal, 1982).

Aproximadamente en 100 especies del género *Acacia* Mill. *sensu lato* se han identificado el ácido 2-amino-4-acetil amino butírico, albizina, willardina ó el ácido 4-hidroxi pipecólico (Senevirante y Fowden, 1968; Evans *et al.*, 1994). En una revisión de la fitoquímica del género, Seigler (2003) reporta que el subgénero *Acacia* se caracteriza por la presencia de ácido N-acetildjencólico, descrito por primera vez en *A. farnesiana* (L.) willd. En relación al subgénero *Aculeiferum*, la mayor parte de sus miembros contiene ácido α -amino- β -oxalil-aminopropionico y ácido α, β -diamino propiónico, además de los mismos compuestos que los encontrados en el subgénero *Phyllodineae* (Evans *et al.*, 1977). Compuestos como el ácido 2-amino-4-acetil amino butírico, albizina o el ácido 4-hidroxi pipecólico son también característicos de las especies de este subgénero.

Investigaciones recientes muestran que el género *Acacia* *s.l.* es polifilético (Luckow *et al.*, 2003, Gómez-Acevedo *et al.*, 2010). Seigler *et al.* (2006) propusieron que el grupo *A. coulteri* puede ser considerado como género con 12 especies asignándole el nombre de *Mariosousa*. *Acacia coulteri* no presenta ácido N-acetildjencólico, dos de las especies de este grupo *A. willardiana* y *A. millefolia* presentan otros aminoácidos willardina y S-[β -carboxiisopropil]-L-cisteina. Este último también se encuentra presente en las especies que pertenecen al subgénero *Phyllodineae* (Evans *et al.*, 1977).

Las investigaciones realizadas hasta ahora originan preguntas que se abordan en este trabajo: ¿Son todas las especies de *Acaciella* formadoras de ácido acetildiamino butírico (AADB)?, ¿es éste el único género que lo presenta? ¿Es todo el grupo *Acacia coulteri* (= *Mariosousa*) sintetizador de willardina y/o S-[β -carboxiisopropil]-L-cisteina? ¿Existe algún metabolito en especial que caracterice a este último grupo? El objetivo de este trabajo fue aplicar la técnica de cromatografía de líquidos acoplado a espectrometría de masas a un bloque de 24 especies en tres tribus de la subfamilia *Mimosoideae* analizando las relaciones de acuerdo al contenido de ANP para tratar de contestar las preguntas planteadas.

Materiales y métodos

Se usaron muestras de herbario (K y MEXU) de hojas o semillas de tres especies del subgénero *Acacia* del nuevo mundo, diez especies del subgénero *Aculeiferum* (que incluyó a cuatro especies del grupo *Acacia coulteri*), tres especies del género *Acaciella*, seis especies de la tribu *Ingeae* y dos especies de la tribu *Mimoseae* (Tabla 1). La preparación de los extractos se basó en el método descrito por Kite e Ireland (2002). De cada muestra se trituró en un mortero con arena una cantidad mínima de 20-30 mg con 1.5 ml de metanol acuoso al 70 % (v/v), se dejó con el disolvente a temperatura ambiente durante la noche (laboratorio de fitoquímica, condiciones de

Tabla 1. Especies incluidas en el análisis de amino ácidos no proteicos.

Especie analizada	Tribu/subgénero/grupo	Material usado
<i>Prosopis ferox</i> Griseb.	Mimoseae	hojas
<i>Prosopis apatlaco</i> Phl.	Mimoseae	hojas
<i>Albizia leucocalyx</i> (Britton & Rose) L. Rico	Ingeae	semillas
<i>Cojoba graciliflora</i> (S.F. Blake) Britton & Rose	Ingeae	semillas
<i>Havardia acatlensis</i> (Benth.) Britton & Rose	Ingeae	hojas
<i>Havardia platyloba</i> (Bertero ex DC.) Britton & Rose	Ingeae	semilla
<i>Zygia englesingii</i> (Standl. ex Record) Record	Ingeae	semilla
<i>Zygia latifolia</i> (L.) Faw. & Rendle	Ingeae	semilla
<i>Acaciella angustissima</i> (Mill.) Britton & Rose	Acacieae/Acaciella	semilla
<i>Acaciella chameleensis</i> (L.Rico) L. Rico	Acacieae/Acaciella	hojas
<i>Acaciella villosa</i> (Sw.) Britton & Rose	Acacieae/Acaciella	hojas
<i>Acacia anegadensis</i> Britton	Acacieae/subgénero <i>Acacia</i>	hojas
<i>Acacia anisophylla</i> S. Watson	Acacieae/subgénero <i>Aculeiferum</i>	hojas
<i>Acacia articulata</i> Ducke	Acacieae/subgénero <i>Aculeiferum</i>	semilla
<i>Acacia berlandieri</i> Benth.	Acacieae/subgénero <i>Aculeiferum</i>	semilla
<i>Acacia cornigera</i> (L.) Willd.	Acacieae/subgénero <i>Acacia</i>	semilla
<i>Acacia coulteri</i> Benth.	Acacieae/grupo <i>A. coulteri</i>	semilla
<i>Acacia crassifolia</i> A. Gray	Acacieae/subgénero <i>Aculeiferum</i>	semilla
<i>Acacia dolichostachya</i> S.F. Blake	Acacieae/grupo <i>A. coulteri</i>	hojas
<i>Acacia feddeana</i> Harms	Acacieae/subgénero <i>Aculeiferum</i>	semilla
<i>Acacia mammifera</i> Schltdl.	Acacieae/grupo <i>A. coulteri</i>	hojas
<i>Acacia amentaceae</i> DC.	Acacieae/subgénero <i>Acacia</i>	semilla
<i>Acacia riparia</i> Kunth	Acacieae/subgénero <i>Aculeiferum</i>	semilla
<i>Acacia sericea</i> M. Martens & Galeotti	Acacieae/grupo <i>A. coulteri</i>	semilla

laboratorio). Después de la eliminación del residuo por centrifugación, se añadieron 50 mg de una resina de intercambio iónico Dowex 50(H⁺) de 100-200 mallas y se mezcló suavemente. El disolvente se evaporó a sequedad y la resina impregnada con los aminoácidos no protéicos se lavó repetidamente con agua y luego al añadir 0.5 ml de amoníaco 2M se eluyeron los amino ácidos no protéicos. El filtrado se liofilizó y la muestra se re suspendió en agua destilada para tener una concentración 1 mg/100 µl. Las muestras se filtraron antes de inyectar al cromatógrafo de líquidos. Para la Cromatografía de líquidos-Espectrometría de masas de los ANP, se utilizó un cromatógrafo de líquidos (Waters 600E) acoplado a un espectrómetro de masas con trampa iónica (Thermo-Finnigan LCQ) vía una fuente de ionización química (APCI por sus siglas en inglés) y se siguió el método reportado por Kite e Ireland, (2002). La separación de los ANP se hizo sin derivatización en una columna C18 Phenomenex HILIC de 5 µm de 250 mm × 4.6 mm (d.i.). La fase móvil consistió en una mezcla de acetonitrilo/formiato de amonio 10 mM, pH 3.2 para producir un gradiente lineal de acetonitrilo de: t = 0 min 95:5, t = 20 min 70:30, t = 27 min 95:5 y t = 35 min 95:5. La columna se dejó equilibrar por 10 min en la condición inicial (formiato de amonio 10 mM) antes de que se inyectaran las muestras. Se inyectaron volúmenes de 10 µl a una velocidad de flujo de 1 ml/min. La fuente iónica se operó en modo positivo con las siguientes condiciones: 450 °C en el tubo vaporizador; 80 y 20 psi en el filamento y nitrógeno auxiliar respectivamente; 5 µA en la corriente de aguja; 150 °C en el capilar. En el espectrómetro de masas se monitorearon iones en el rango de 70 a 500 m/c alternando con datos de MS/MS scans de los tres o cuatro iones más intensos usando una abertura de aislamiento de iones de 3 ums y una energía de colisión del 35 %.

Resultados

Análisis de los ANP por cromatografía de líquidos. Los cromatogramas mostraron para cada una de las muestras analizadas un perfil de los compuestos que el equipo es capaz de detectar

Tabla 2. Perfil de los aminoácidos no proteicos en las muestras de 24 especies en tres tribus de la subfamilia *Mimosideae*

Abreviatura	Compuesto	TR	PM	Especies
AADP	Ácido 2-amino-3-acetil - propiónico	7.08	146	<i>Z. latifolia</i> , <i>Z. englesingii</i> , <i>C. graciliflora</i> , <i>A. leucocalyx</i> , <i>Acacia rigidula</i> , <i>Acacia coulteri</i>
CA	Comp. A	5:76	145	<i>Acacia anisophylla</i> , <i>Acacia cornigera</i>
CB	Comp. B	7:08	145	<i>Acacia anegadensis</i> , <i>Acacia anisophylla</i>
CC	Comp. C	8:37	145	<i>Acacia anisophylla</i> , <i>Acacia rigidula</i>
PRO	Prolina	9.07	116	<i>Acacia anisophylla</i> , <i>Havardia acatlensis</i>
AP	Ácido pipecólico	9.21	130	<i>Acacia feddeana</i> , <i>Acacia mammifera</i> , <i>Acacia anegadensis</i> , <i>Acacia anisophylla</i> , <i>Acaciella villosa</i> , <i>P. ferox</i> , <i>P. apatlaco</i> , <i>Acaciella chameleensis</i> , <i>Acacia cornigera</i> , <i>Acacia rigidula</i>
AHP	Ácido hidroxipecolico	10.52	145	<i>Acacia cornigera</i> , <i>Acacia riparia</i> , <i>Acacia articulata</i> , <i>Acacia crassifolia</i> , <i>Acacia feddeana</i> , <i>Acacia berlandieri</i> , <i>Acacia dolichostachya</i> , <i>Acacia mammifera</i> , <i>Acacia anegadensis</i> , <i>P. ferox</i> , <i>P. apatlaco</i> , <i>H. acatlensis</i> , <i>Acacia rigidula</i>
AADB	Ácido 2-amino 4-acetil butírico	11.15	161	<i>Z. latifolia</i> , <i>Z. englesingii</i> , <i>Acacia sericea</i> , <i>Acacia articulata</i> , <i>Acacia dolichostachya</i> , <i>Acaciella villosa</i> , <i>Acaciella chameleensis</i>
AO	Acetyl ornitina	11.62	175	<i>Havardia acatlensis</i>
A	Albizina	12.40	148	<i>Albizia leucocalyx</i> , <i>Cojoba graciliflora</i> , <i>Havardia platyloba</i> , <i>Acaciella angustissima</i> , <i>Acaciella chameleensis</i> , <i>Acacia anegadensis</i> , <i>Acacia anisophylla</i> , <i>Acacia cornigera</i> , <i>Acacia coulteri</i> , <i>Acacia dolichostachya</i> , <i>Acacia feddeana</i> , <i>Acacia mammifera</i> , <i>Acacia sericea</i>

TR = tiempo de retención; PM = peso molecular

basado principalmente en la alta sensibilidad del detector de masas. Los ANP reportados para *Acacia* y para las especies que se usaron como contraste (*Inga* spp. y *Prosopis* spp.) se observaron fácilmente a través del análisis de cromatografía de líquidos-espectrometría de masas del extracto de hoja y semillas (Tabla 2). En este análisis se detectó que no todas las especies de *Acaciella* acumulan ácido 2-acetildiamino butírico; por ejemplo *A. angustissima* no acumula este compuesto, mientras que *A. villosa* sólo presentó ácido 2-amino-4-acetil amino butírico y ácido *t*-4-OH pipecólico y en *A. chameleensis* el patrón de estos compuestos resultó muy diferente al resto de las especies del género *Acaciella*.

Respecto al grupo de *Acacia coulteri* se encontró que no todas las especies estudiadas de este grupo contienen willardina ni S-[β-carboxiisopropil]-L-cisteina, no se registró ningún compuesto con el peso molecular de estos aminoácidos, 199 y 207 respectivamente. Además la albizina se encontró en las cuatro especies analizadas (Tabla 2).

Discusión

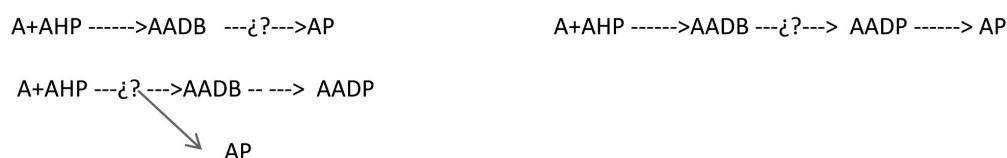
Contribución a la sistemática. Gómez-Acevedo *et al.* (2010) analizaron molecularmente siete especies de *Acaciella*, encontrando que *A. chameleensis* es la única que se anida en un clado diferente a las otras seis especies analizadas y se ubica en un linaje cercano a las especies del género *Inga*. Es decir, sugieren que *A. chameleensis* no está filogenéticamente relacionada a las otras especies de *Acaciella*. En este estudio, *A. chameleensis* presentó AP, AADB y A, los cuales no la caracterizaron para apoyar la clasificación molecular, pero sí a la morfológica. Contestando la pregunta inicial, ¿Son todas las especies de *Acaciella* formadoras de ácido acetildiamino butírico (AADB), es éste el único género que lo presenta? resulta que NO todas las especies de *Acaciella* lo presentaron, este no se detectó en *A. angustissima*.

Kite (1997) no detectó ácido 2-amino-4-acetil amino butírico (AADB) en *A. angustissima*, cabe aclarar que los instrumentos de análisis no eran tan específicos como los de este trabajo. En cuanto a los ácidos pipecolicos, estos se encuentran presentes en varios géneros de la tribu Ingeae y en *Monopetalanthus* (Kite, 1997), género actualmente llamado *Bikinia* (ambas especies en la subfamilia Caesalpinoideae, de acuerdo a Wieringa 1999), de tal manera que no caracterizara ni a la tribu Ingeae ni a los géneros de ésta.

La segunda pregunta que nos hicimos fue ¿Es todo el grupo *Acacia coulteri* (= *Mariosousa*) sintetizador de willardina y/o S-[β-carboxiisopropil]-L-cisteina? Los resultados que encontramos indican que no están presentes estos compuestos en este grupo de *Acacia*.

La tercera pregunta de nuestros objetivos fue ¿Existe algún metabolito en especial que caracterice a este último grupo? No se encontró, no obstante, tres de las especies (*A. coulteri*, *A. dolichostachya* y *A. sericea* presentaron principalmente AADP y AADB, lo cual puede sugerir que *A. sericea* y *A. dolichostachya* (adquiriendo AADB esta última) fueron precursores de *A. mammifera* (metabolizando AP) y de *A. coulteri* (metabolizando AADP). Es decir que el AADP y el AADB son los compuestos clave para la formación de AP y AHP presentes sólo en *A. mammifera*. Figura 1

Figura 1. AADP y el AADB son los compuestos clave para la formación de AP y AHP presentes sólo en *A. mammifera*



Gómez-Acevedo *et al.* (2010) hacen notar que especies del grupo *Acacia coulteri* son parafiléticas y esta divergencia puede en parte apoyar los resultados de estos autores, cabe aclarar que este grupo consiste en 12 especies y sólo se estudiaron cuatro. Sin embargo no existe un aminoácido en particular que se encuentre caracterizando a todas las especies del grupo *A. coulteri*

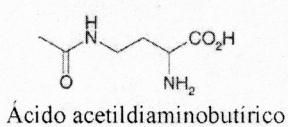
Es interesante notar que sólo *Acacia anegadensis*, *A. cornigera* y *A. rigidula*, pertenecientes al subgénero *Acacia* presentaron los compuestos con peso molecular de 145 y tiempos de retención de 5:76, 7:08 y 8:37 respectivamente. Los compuestos parecen ser diagnósticos para estas especies, posiblemente estos aminoácidos sean útiles como marcadores químicos específicos para las especies del subgénero *Acacia*; sin embargo, son compuestos no descritos y se necesita investigar su naturaleza exacta.

En *Acaciella chameleensis* y en *A. villosa* se observó la presencia del ácido acetil diamino butírico pero no así en *A. angustissima*, Gmelin (1961) reportó willardina para *Acaciella* [como *Acacia*]. lemmontii. Evans *et al.* (1985) estudiaron *A. angustissima*, *A. tequilana* y *A. rosei* y observan que especies de esta sección *Acaciella* [= *Filicinaeae*] tienen un patrón muy característico diferente a los otros grupos de *Acacia* s.l., y sugieren que este grupo perdió la habilidad de sintetizar ácido diamino propiónico y subsecuentemente ácido acetil diamino propiónico, sin embargo mantuvo la síntesis de albizina. El género *Acaciella* consiste de al menos 15 especies, únicamente seis de ellas han sido analizadas química y molecularmente.

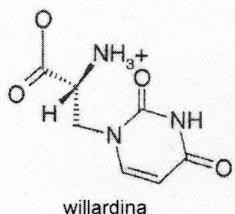
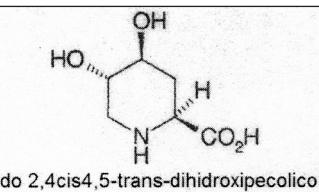
Respecto al grupo de *Acacia coulteri*, los ácidos acetil diamino propiónico y acetil diamino butírico caracterizaron sólo a tres de las especies estudiadas: *A. coulteri*, *A. dolichostachya* y *A. sericea* pero no así a *A. mammifera*. Sería interesante investigar si este compuesto está presente en las otras ocho especies que forman este grupo y si existe algún patrón de aminoácidos en la mayoría de las 12 especies. Las especies del grupo *A. coulteri* se restringen a las regiones tropicales y subtropicales del suroeste de Estados Unidos, México y América Central. Además, de sus cercanas afinidades geográficas, varios caracteres morfológicos y moleculares, separan a este grupo que algunos llaman género *Mariosousa* (Seigler *et al.*, 2006).

Posibles rutas metabólicas. Si los compuestos de este tipo (aminoácidos no proteicos) son marcadores bioquímicos de especies en diferentes subgéneros y secciones (por ejemplo en los subgéneros *Acacia*, *Aculeiferum* y *Acaciella*) es importante explicar su origen para las especies que en este trabajo se estudiaron por la presencia o ausencia de una ruta bioquímica específica. En este caso, se observa que casi todas las especies de *Acacia* s.l. presentaron albizina, que es un

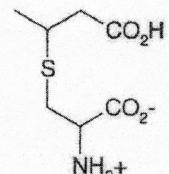
Figura 2. Estructura de algunos aminoácidos no proteicos encontrados en las hojas y/o semillas de *Acacia*



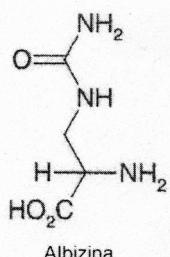
Ácido acetildiaminobutírico



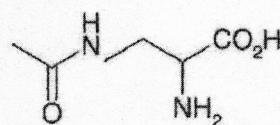
willardina



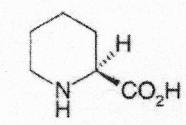
S-[β -carboxyisopropyl]-L-cysteina



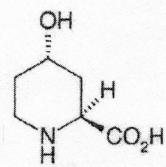
Albizina



Ácido α -amino- β -acetilaminopropionico



Ácido pipecolico



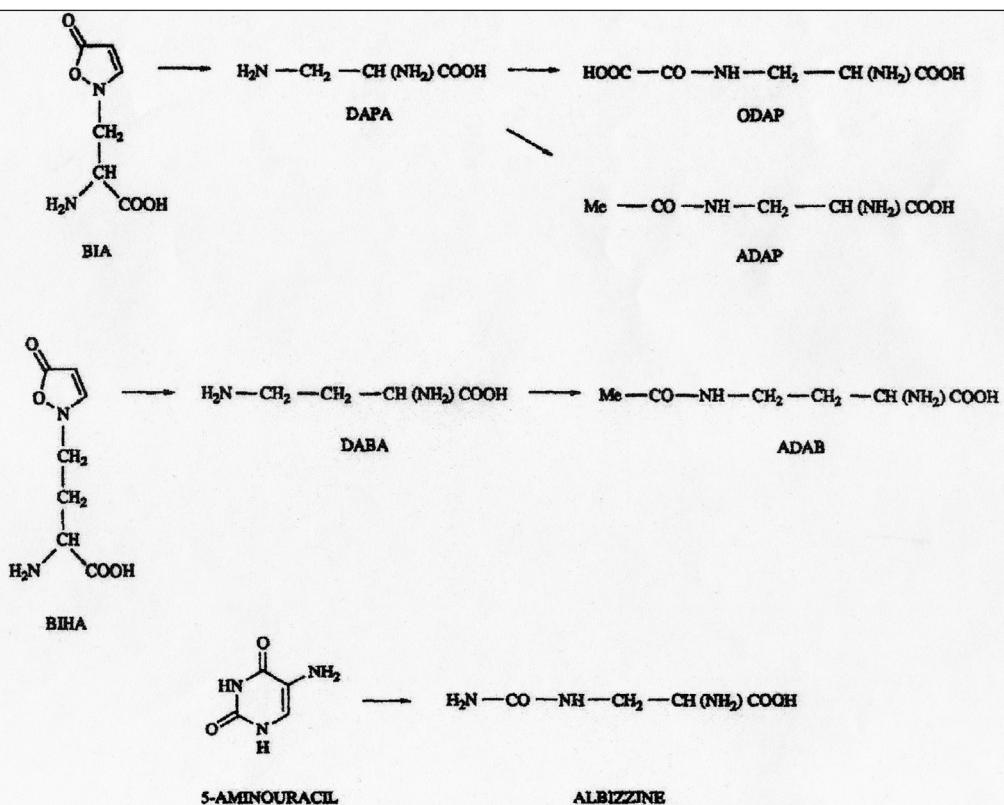
Ácido trans-4-hidroxipipélico

ureido derivado del ácido 2,3-diamino propiónico (Figura 2). Compuesto que hipotéticamente se pudo haber formado por la adición de un grupo ureido al ácido diaminopropiónico. Una ruta alterna (Figura 3) pudo haber sido el desdoblamiento de una pirimidina para formar 5-amino uracilo que al hidrolizarse forma la albizina, aunque hasta ahora el 5-amino uracilo no se ha identificado en *Acacia* (Fowden *et al.*, 1979).

En varias especies de *Lathyrus* se ha demostrado el origen bioquímico del ácido diamino propiónico, el cual proviene de la degradación de la β -(isoxazolin-5-ona-2-il)-alanina y del derivado oxalilo, es decir del ácido oxalil-diaminopropiónico, al analizarse la enzima que cataliza estos cambios, la oxalil-CoA-sintetasa (Kuo y Lambein, 1991).

En el caso del origen del ácido acetil diamino propiónico ocurre a través de una reacción similar a la anterior seguida de una reacción de acetilación del ácido diamino propiónico con la participación de una acetil-CoA-sintetasa. El origen bioquímico del ácido acetil diamino butírico hasta ahora es desconocido pero se ha sugerido que proviene de una ruta paralela a la que

Figura 3. Ruta bioquímica para la formación de algunos aminoácidos no proteicos en las semillas de *Acacia* (adaptado de Evans, *et. al.* 1993).



produce el ácido acetil diamino propiónico, con la degradación de la β -(isoxazolin-5-ona-2-il)-homoalanina al ácido diamino butírico y su subsecuente acetilación por una acetil-CoA-sintetasa (Evans *et al.*, 1993).

Con base en los datos generados en esta investigación se puede señalar que en los subgéneros *Acacia*, *Aculeiferum*, *Acaciella* y el grupo *Acacia coultieri*, el ácido acetil diamino butírico y los compuestos con pesos moleculares de 145 son los más útiles para sugerir grupos de especies químicamente similares.

Literatura citada

- Bell E.A. y Fellows L.E. 1966. Occurrence of 5-hydroxy-tryptophan as a free plant amino acid. *Nature* **210**:529.
- Bell E.A. 1980. The non-protein amino acids of higher plants. *Endeavour* **4**:102-106.
- Evans C.S., Qureshi M.Y. y Bell E.A. 1977. Free amino acids in the seeds of *Acacia* species *Phytochemistry* **16**:565-570.
- Evans C.S., Shah A.J., Adlard M.W. y Rico-Arce M.L. 1993. Non-Protein amino acids in seeds of Neotropical Species of *Acacia*. *Phytochemistry* **32**:123-126
- Evans Ch., Shah A.J., Adlard M.W. y Rico-Arce M.L. 1994. Evolutionary trends within the genus *Acacia* based on the accumulation of non-protein amino acids in seeds. En: Sprent J.I. y McKey D.M. Eds. *Advances in Legume Systematics Part 5 — The nitrogen factor*, pp.83-87, The Royal Botanic Gardens, Kew.
- Fowden L., Lewis D. y Tristram H. 1967. Toxic amino acids: their action as antimetabolites. *Advances in Enzymology and Related Areas of Molecular Biology* **29**:89-163.
- Fowden L., Lea P.J. y Bell E.A. 1979. The nonprotein amino acids of plants. *Advances in Enzymology and Related Areas of Molecular Biology* **50**:117-175.
- Gómez-Acevedo S., Rico-Arce L., Delgado-Salinas A., Magallón S. y Eguiarte L.E. 2010. Neotropical mutualism between *Acacia* and *Pseudomyrmex*: Phylogeny and divergence times. *Phylogenetics and Evolution* **56**:393-408.
- Gmelin R. 1961. Mimosaceen-Aminosäuren. Teil VII. Isolierung von Willardiin (3-(1-Uracyl)-L-Alanin) aus den Samen von *Acacia millefolia*, *Acacia lemmoni*, und *Mimosa asperata*. *Acta Chemica Scandinavica* **15**:1188-1189.

Recibido:
24 de noviembre de 2014

Aceptado:
8 de mayo de 2015

- Kite G.C. 1997. Non-protein amino acids chemistry. En: Pennington T.D. Ed. *The genus Inga*, pp. 35-70, The Royal Botanic Gardens, Kew.
- Kite G.C. e Ireland H. 2002. Non-protein amino acids of *Bocoa* (Leguminosae; Papilionoideae) Phytochemistry **59**:163-168.
- Kuo Y.-H. y Lambein F. 1991. Biosynthesis of the neurotoxin β -N-oxalyl- α , β -diaminopropionic acid in callus tissue of *Lathyrus sativus*. *Phytochemistry* **30**:3241-3244.
- Luckow M., Miller J.T., Murphy D.J. y Livshultz T. 2003. A phylogenetic analysis of the Mimosoideae (Leguminosae) based on chloroplast DNA sequence data. En: Klitgaard B.B. y Bruneau A. Eds. *Advances in Legume Systematics, part 10, Higher Level Systematics*, pp. 197-220, The Royal Botanic Gardens, Kew.
- Rosenthal G.A. 1982. *Plant NonProtein Amino and Imino Acids*. Academic Press, Nueva York.
- Seneviratne A.S. y Fowden L. 1968. The amino acids of the genus *Acacia*. *Phytochemistry* **7**:1039-1045.
- Seigler D.S. 2003. Phytochemistry of *Acacia* *sensu lato*. *Biochemical Systematics and Ecology* **31**: 845-873.
- Seigler D.S., Ebinger J.E. y Miller J.T. 2006. *Mariosousa*, a new segregate genus from *Acacia* s.l. (Faba-ceae, Mimosoideae) from Central and North America. *Novon: A Journal for Botanical Nomenclatura* **16**:413-420.
- Wieringa J.J. 1999. *Monopetalanthus* exit. A systematic study of *Aphanocalyx*, *Bikinia*, *Icuria*, *Michelsonia*, and *Tetraberlinia* (Leguminosae Caesalpinoideae). Wageningen Agriculture University Papers **99**, Wageningen Agriculture University, Wageningen.