

Fitoquímica y valor ecológico del olor a ajo en los vegetales

José Antonio López Sáez*, Josué Pérez Soto**

* *Biólogo. Científico Titular del Grupo de Investigación Arqueobiología. Instituto de Historia. Centro de Ciencias Humanas y Sociales. CSIC. c/ Albasanz 26-28, 28037 Madrid. Tf: (91) 6022477, E-mail: joseantonio.lopez@cchs.csic.es*

** *Biólogo. Investigador Adjunto del Instituto Nacional de Investigaciones Económicas y Sociales (INIES). Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, UNAN-Managua, Managua, Nicaragua, E-mail: josueperez1@yahoo.com*

RESUMEN:

El presente trabajo incluye una revisión sobre la biología, etnobotánica y la composición fitoquímica de aquellos vegetales que tienen olor a ajo, haciendo hincapié en los metabolitos secundarios que les dan el olor tan característico y lo que ello supone como estrategia adaptativa.

Palabras claves: Olor a ajo, Etnobotánica, Fitoquímica.

ABSTRACT:

This work includes a review of the biology, ethnobotany and phytochemistry of those plants that have a garlic odor, with emphasis on secondary metabolites that give the smell of garlic so characteristic of these plants and what that means as adaptive strategy.

Key words: Garlic odor, Ethnobotany, Phytochemistry.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, diversas investigaciones de índole fitoquímica y etnofarmacológica están poniendo su atención sobre una serie de especies vegetales cuyos olores característicos o sabores desagradables las dotan de unas propiedades etnomedicinales concretas. Éste es el caso, por ejemplo, de aquéllas que han sido utilizadas tradicionalmente contra las picaduras de serpientes (1), o de otras que en la actualidad están cobrando enorme importancia en el tratamiento de enfermedades tales como el cáncer o el sida (2). En este sentido, la importancia de estas plantas radica en su composición fitoquímica y las implicaciones farmacológicas o medicinales de sus metabolitos secundarios implicados; pero también, desde un punto de vista de su ecología adaptativa, resulta de interés

acometer el porqué algunas especies adoptan olores o sabores tan característicos que únicamente puede ser explicados en base a mecanismos de defensa frente a ciertos predadores o, en su defecto, de atracción de polinizantes o dispersantes de sus semillas.

Mucho se ha escrito sobre la capacidad adaptativa de los vegetales en los mecanismos de atracción de sus vectores polinizantes, adaptando olores y aromas agradables que facilitan el proceso. Morfologías florales especializadas, producción de néctar, sensibilidad química adecuada el insecto polinizador, etc, son algunas de las estrategias empleadas por las plantas. Sin embargo, básicamente con el mismo fin, otras, como ocurre en algunas plantas carnívoras y parásitas, lo hacen gracias a aromas fétidos que normalmente consiguen atraer dípteros carroñeros. El olor, de naturaleza química, tiene en ambos casos una

funcionalidad basada en la atracción del polinizador, especialmente cuando éste se genera en los flores. Los vegetales también son capaces de producir olores agradables o no en sus frutos con el objetivo de dispersar sus semillas.

No obstante, el olor en las plantas alberga otras funcionalidades poco estudiadas, salvo casos excepcionales, que normalmente se relacionan no con su capacidad atractiva sino repelente, con el objetivo de ahuyentar o rechazar a herbívoros o patógenos. El olor, además, supone en algunos casos un parámetro taxonómico más, aunque generalmente pasa desapercibido; aun cuando es precisamente esta cualidad la que ha permitido que muchas plantas hayan sido objeto de cultivo y se haya desarrollado una ingente investigación en el campo de la jardinería y herboristería en torno a ellas, caso particular de las plantas aromáticas. Sin embargo, el grupo de las que podríamos denominar "plantas repelentes", con potencial insecticida en la mayor parte de los casos, apenas ha tenido la atención mediática de las anteriores, a pesar de que muchas de ellas son de sobra conocidas: ajo (*Allium sativum*), ajeno (*Artemisia absinthium*), tomate (*Lycopersicon esculentum*) o clavel indio (*Tagetes* sp.) entre las más significativas. En particular, éste es básicamente el objetivo de este trabajo, analizar los conocimientos fitoquímicos y etnobotánicos documentados sobre aquellas especies vegetales que tienen olor a ajo, incidiendo tanto en la naturaleza fitoquímica de los metabolitos secundarios responsables como en las implicaciones etnobotánicas de éstos y su mecanismo de acción en las plantas.

ECOLOGÍA ADAPTATIVA DEL OLOR A AJO

El olor es una propiedad intrínseca de la materia y se define como "la sensación resultante de la recepción de un estímulo por el sistema sensorial olfativo". El término *olor* se refiere a una mezcla compleja de gases, vapores, y polvo, donde la composición de la mezcla influye directamente en el olor percibido por un mismo receptor (3).

En general, todas aquellas especies que muestran olor de "tipo ajo" (tabla I) lo concentran en sus raíces y hojas, aunque la concentración varía de unas especies a otras de la misma manera que la ubicación de los metabolitos secundarios responsables de tales hechos. En el ajo (*Allium sativum*), y en otras especies

del mismo género, el olor se produce fundamentalmente en su raíz bulbosa (cabeza de ajo) que consta de más de una decena de bulbillos (dientes de ajo), aunque también aparece en los tallos; mientras que en la hosmea (*Mansoa standleyi*) y otras especies del género lo hace básicamente en los foliolos pero toda la planta lo posee. En *Petiveria alliacea* las mayores concentraciones de olor aparecen en la raíz y hojas; mientras que en *Alliaria petiolata* en cambio este olor a ajo es sumamente palpable en todo el vegetal, como también ocurre en *Armeria alliacea* o *Leucocoryne alliacea*. Finalmente, tanto en *Thlaspi alliaceum* como en *Cordia alliodora* son las hojas las que albergan este olor tan característico, mientras que *Cedrela odorata* lo muestra en las flores y la leguminosa *Leucaena esculenta* en sus semillas (4-10). Un hecho común a todas estas especies es que su nombre científico, de una manera u otra, señala precisamente esta singularidad odorífera respecto al ajo: *Alliaria*, *alliaceum*, *alliacea* y *alliodora* (tabla I).

Tabla I. Listado de especies principales con olor a ajo reconocido.

Familial/ Especie	Biotipo	Presencia de olor a ajo
Brassicaceae		
<i>Alliaria petiolata</i> (M.Bieb.) Cavara & Grande	Hierba	Toda la planta
<i>Thlaspi alliaceum</i> L.	Hierba	Hojas
Bigoniaceae		
<i>Mansoa alliacea</i> (Lam.) A.H. Gentry	Arbusto	Toda la planta
<i>Mansoa hymenae</i> (DC) A.H. Gentry	Arbusto	Toda la planta
<i>Mansoa standleyi</i> (Steyerm.) A.H. Gentry	Arbusto	Toda la planta
Boraginaceae		
<i>Cordia alliodora</i> (Ruiz & Pav.) Oken	Árbol	Hojas
Fabaceae		
<i>Leucaena esculenta</i> (Moc. et Sess.) Benth.	Árbol	Semillas
Meliaceae		
<i>Cedrela odorata</i> L.	Árbol	Flores
Liliaceae		
<i>Allium sativum</i> L.	Hierba	Bulbo/tallo
<i>Allium scorodoprasum</i> L.	Hierba	Bulbo/tallo
<i>Allium ursinum</i> L.	Hierba	Bulbo/tallo
<i>Allium victorialis</i> L.	Hierba	Bulbo/tallo
<i>Nothoscordum gracile</i> (Ait.) Stearn	Hierba	Bulbo
<i>Nothoscordum striatellum</i> (Lind.) Kunth	Hierba	Bulbo/tallo
<i>Tulbaghia violacea</i> Harv.	Hierba	Bulbo/tallo
<i>Leucocoryne alliacea</i> Miers. & Lindl.	Hierba	Toda la planta
Phytolaccaceae		
<i>Petiveria alliacea</i> L.	Hierba	Raíz/hojas
Plumbaginaceae		
<i>Armeria alliacea</i> (Cav.) Hoffmanns. & Link.	Hierba	Toda la planta

El olor a ajo, como muchos otros olores fuertes, aparece en la naturaleza, particularmente en los vegetales, como un mecanismo de defensa generalmente para combatir a los predadores potenciales, creando una noción de 'toxicidad' mediante una composición fitoquímica concreta que los ahuyenta a la vez que supone un escaso gasto energético para la planta. En cambio, fuera de estos dominios, el olor a ajo ha hecho que muchos de estos vegetales tengan interés culinario y hayan sido por ello utilizados por los seres humanos en aspectos no sólo relacionados con la nutrición (condimentos) sino también con la medicina, ya que algunos de los compuestos implicados en tales propiedades, consumidos en cantidades pequeñas, resultan beneficiosos para la dieta (11, 12). De hecho, se ha demostrado que la composición química de los metabolitos implicados en el sabor a ajo puede variar, en algunas especies, según la época del año, en directa relación con sus fitófagos predadores, o en su defecto se señala cierta variabilidad geográfica en la concentración de tales compuestos (13).

Retomando la cuestión de la defensa ecológica, hay que señalar que son las propias plantas las que moldean su plasticidad adaptativa en las relaciones planta-insecto, en el sentido tanto de defenderse de potenciales predadores como de utilizar vectores dispersantes de sus pólenes o semillas (14). Para ello, los vegetales adaptan, evolutivamente hablando, su morfología o su composición química a los hábitos de la polinización y la dispersión seminal así como de su defensa, estableciendo, en algunos casos, relaciones mutualistas y coadaptativas (12). Los metabolitos secundarios de las plantas no sólo sirven como elementos de disuasión a potenciales insectos fitófagos, sino que en determinadas ocasiones juegan un papel fundamental en su reutilización nutritiva por parte de los vectorers dispersantes o en la atracción química de éstos (13, 15). Un ejemplo notable de lo anterior es que se ha demostrado que las especies con olores fuertes impactan directamente sobre la dieta de los fitófagos evitando el consumo de estas plantas, por un mecanismo lógico de selección natural (16).

Muchas especies de insectos seleccionan para su ovoposición aquellas especies vegetales en las que tienen asegurado un mayor éxito de eclosión y supervivencia de las larvas. En este sentido, resulta lógico que la selección de la planta hospedante esté apoyada en resultar inocua o no tóxica, de la misma manera que la estrategia vegetal, encaminada a evitar la deposición de los huevos, es, precisamente, la contraria, es

decir ingeniar mecanismos, normalmente de tipo químico, que eviten su uso por insectos potencialmente patógenos (17). Metabolitos secundarios tales como los compuestos polifenólicos, sobre todo los flavonoides, suelen estar implicados en esta defensa química de las plantas frente a los insectos fitófagos, además de muchos otros (18).

FAMILIAS Y ESPECIES BOTÁNICAS. METABOLITOS SECUNDARIOS IMPLICADOS EN EL OLOR A AJO. CONSIDERACIONES ETNOMEDICINALES

La mayoría de metabolitos secundarios implicados en el olor a ajo de las plantas son del tipo de los alcaloides, fenoles y taninos glicosidos cianogénicos, saponinas, terpenoides, aminoácidos tóxicos y oxalatos de calcio (12).

Brassicaceae

En la familia Brassicaceae, uno de los compuestos químicos más representativos a tal efecto son los denominados glucosinolatos que tienen olores muy fuertes (19), contando con dos especies que presentan el olor a ajo característico (*Alliaria petiolata* y *Thlaspi alliaceum*) (tabla I).

Los compuestos presentes en *Alliaria petiolata* son glucosinolatos, alliarinósidos y flavonoides, siendo los dos primeros los responsables del mencionado olor a ajo (20). De éstos, la estructura química básica corresponde a compuestos sulfurados del grupo de los alliarinósidos, aunque alguna flavona glicosilada (derivada de ixovitexina) también parece tener relación con compuestos semejantes a los presentes en el ajo (*Allium sativum*) que producen el mismo olor. De hecho, se ha documentado que en la isla nicaragüense de Ometepe, esta especie, *Alliaria petiolata*, se usa como pesticida o plaguicida (21), lo cual se justifica por tener actividad inhibitoria de la reproducción de ciertos lepidópteros del género *Dannaus* (5, 6, 22-24).

De *Thlaspi alliaceum* no se cuenta actualmente con estudios fitoquímicos detallados, pero otras especies del género (*T. arvense* y *T. perfoliatum*) muestran elevadas concentraciones de ciertos glucosinolatos que generan olor a ajo, por lo que posiblemente en esta especie estos mismos sean los responsables (25, 26).

Bignoniaceae

En esta familia el fenómeno del olor a ajo se presenta en varias especies del género *Mansoa* (tabla I), particularmente en *M. alliacea*, *M. hymenae* y *M. standleyi*. Éste es debido a las naftoquinonas derivadas del lapachol (4-hydroxy-9-methoxy-lapachona y 9-methoxy-lapachona), así como a otros metabolitos tales como alildisulfóxido, allina, alicina o sulfuro de dialil entre los más significativos, que desde un punto de vista etnomedicinal reúnen propiedades antipiréticas y reguladoras del sistema respiratorio, habiéndose usado tradicionalmente de manera rutinaria; aunque algunas naftoquinonas pueden resultar citotóxicas explicando con ello sus propiedades insecticidas (27-30).

Mansoa standleyi es un bejuco con fuerte olor a ajo, muy interesante etnomedicinalmente hablando, cuyos nombres vernáculos más conocidos son hosmeca, hierba ajo, ajo sachá, ajo del monte, bejuco de ajo y boens (29, 31). La citamos aquí, en detalle, por la escasa documentación existente en referencia a esta especie. En la hosmeca se han documentado algunas relaciones mutualistas con insectos de los géneros *Trigona* y *Bombus*, hormigas que actúan como dispersoras de su polen al alimentarse de su néctar (32, 33). Es una especie que se distribuye básicamente en América Tropical, en zonas con un rango de precipitación de 1.800 a 3.500 mm/año y temperaturas entre los 20-26°C, en suelos arenosos o arcillosos con abundante materia orgánica. Su área de distribución se extiende desde México a Perú incluyendo toda Centroamérica, fundamentalmente en bosques primarios o poco antropizados (34). En Nicaragua, en la medicina tradicional de la isla de Ometepe, se usa para curar las cefaleas haciendo vaporaciones de la decocción de este vegetal, la cual es respirada durante varios días después de disminuir la fiebre. También se tiene el conocimiento de que posee propiedades repulsivas de insectos (insecticida), para lo cual se usa una maceración de sus hojas y raíces en frío durante un día, tras lo cual ésta se pulveriza directamente sobre las plantas impidiendo que sean invadidas por molestos insectos patógenos y otros desfoliadores en cultivos. En algunas comunidades rurales nicaragüenses se comenta que las vacas que consumen las hojas o el bejuco completo de esta planta producen una leche con el consabido olor a ajo tan característico de este vegetal.

En el conjunto de América Central y del Sur, la hosmeca es un vegetal con notables y abundantes usos etnobotánicos documentados, especialmente

entre aquellas comunidades indígenas precursoras de los actuales pobladores del continente. Los amerindios de la Amazonía peruana usan las hojas, raíces y corteza del bejuco, macerados en agua fresca, contra problemas sistémicos como gripe, fiebre y reumatismo, siendo más efectivo su uso cuando se mezcla con *Petiveria alliacea* (35, 36). Los waorani usan la hosmeca para tratar enfermedades tales como la calentura y la artritis, utilizando las hojas en una decocción que es bebida y aplicada sobre la parte afectada; el consumo elevado de ésta puede tener consecuencias eméticas (37). Las raíces de esta planta son usadas para tratar la malaria y la leishmaniasis en Perú, donde los indígenas denominan a este arbusto vernáculamente como "ajo sachá" (38). Los indígenas kichwa de Ecuador abundan en el uso de condimentos silvestres, entre los cuales los más reconocidos son *Mansoa standleyi* y *M. alliacea* por su olor a ajo (39). *Mansoa alliacea* está siendo cultivada actualmente en el Amazonas con el objetivo de crear medicinas de origen natural, como una estrategia sostenible de preservación de los bosques (29). Finalmente, los indígenas teribes amerindios de Panamá se sirven de la hosmeca para calmar problemas de demencia agresiva, para lo cual usan baños calmantes a partir de la decocción de material vegetativo de esta planta (40).

Algunos estudios más detallados, centrados en el aprovechamiento etnomedicinal de esta planta para el comercio por los pueblos de Perú, han mostrado la existencia en la hosmeca de metabolitos secundarios tales como alildisulfóxido, alcaloides, allina, alicina, disulfuro propilalilo, estigmasterol, flavonas, pigmentos flavónicos, saponinas, sulfuro de dialil, sulfuro de dimetilo, sulfuro de divinilo, etc.; compuestos éstos muchos de los cuales están relacionados precisamente con el olor a ajo de este vegetal (29). *Mansoa hymenae* y *M. standleyi* contienen iridoideas glicosilados, ciclopropanatos y feniletanoides, genéricos a Bignoniaceae (30).

Boraginaceae

En la familia Boraginaceae el fenómeno del olor a ajo le compete a *Cordia alliodora* (tabla I), un árbol que se conoce mucho por sus propiedades maderables al tener pocas plagas que atacan su madera, posiblemente por los compuestos químicos que le otorgan ese olor tan característico que evita que lo ataquen polillas y demás insectos, de ahí que desde un punto de vista forestal tenga un gran valor en la industria maderera, aunque etnomedicinalmente sea poco reconocido. Se

ha documentado que el extracto crudo de la corteza de *Cordia alliodora* presenta propiedades antimicrobianas, y de hecho en la medicina tradicional de diversos países del centro y sur de América lo usan para tratar resfriados, reumatismo, gripe y como antipirético (40-44). La composición química implica la presencia de alliadorina, un derivado de la generylhidroquinona, abundante en toda la planta y responsable del olor a ajo (45-47).

Meliaceae

En Meliaceae, la especie más emblemática con olor a ajo es *Cedrella odorata* (tabla I) o cedro real, siendo éste muy significativo en la inflorescencia. De hecho, se trata de una especie que cuenta con pocos predadores, pues tanto el olor como su sabor resultan repulsivos a potenciales fitófagos. Su corteza y hojas son enormemente amargas, lo que evita, por la toxicidad de los terpenoides con los que cuentan, que sean consumidas (21, 48, 49). La aromática madera, conocida como *spanish-cedar* en las esferas comerciales en inglés, posee una alta demanda en los trópicos americanos debido a que es naturalmente resistente a las termitas y a la pudrición, siendo muy adecuada para construcciones exteriores, barcos, y en la elaboración de muebles finos, etc.

Las propiedades insecticidas del cedro real se deben a ciertos metabolitos secundarios bioactivos, frecuentes tanto en la familia Meliaceae como en el orden Rutales, los terpenoides, que han demostrado actividad insecticida frente a un amplio espectro de insectos, impidiendo que la planta sea devorada por ellos. Uno de los terpenoides más potentes frente a los insectos es la gedunina, aislada de su corteza. Ésta pertenece a una subclase de terpenoides, los denominados limonoides (tetranortriterpenos). De la corteza del cedro real se han aislado muchos limonoides: gedunina y algunos derivados, mexicanólidos (swietenólido, xylocensina, cedrodorina, carapina), nomilina y obanucol y los derivados de ambos, febrifugina y azadiradiona (50-54). Estudios sobre la relación entre la estructura de dichos limonoides y su actividad insecticida demuestran que los más activos son aquellos C-seco-limonoides intactos tipo apo-eufol, con un grupo 14,15-epóxido y un 3-oxo-1-eno en el anillo A (55-57).

Algunos limonoides del cedro real, como la citada gedunina y sus derivados, han demostrado actividad antiplasmódica, por lo que actúan como potentes antimaláricos (53, 54). De hecho, en África, la decocción de su corteza se utiliza frente a la malaria y la fiebre

(55). De la corteza del cedro real se han aislado algunos sesquiterpenos (calameneno), otros triterpenos no limonoides (odoratina, odoratona, odoratol), esteroides (sitosterol, estigmasterol, campesterol), cicloartanos, ácidos oleanónico, esteárico, oleico y linolénico, así como el flavonoide catequina (56, 57).

Liliaceae

Dentro de la familia Liliaceae se encuentra, quizá, la especie más emblemática de todas con fuerte olor a ajo, el igualmente conocido vernáculamente como ajo (*Allium sativum*) junto a otras muchas especies del mismo género o de *Leucocoryne*, *Tulbaghia* y algún otro (tabla I). Dichos géneros presentan olores semejantes en la mayoría de sus especies, ya que éstas tienen un metabolismo de proteínas muy semejante (58-60). Algunos autores incluyen al género *Allium* y congéneres en la familia Alliaceae.

Desde el punto de vista fitoquímico, en el ajo, y en las demás especies de la familia con el mismo olor, abundan compuestos azufrados del tipo organosulfurados (alil-sulfuros, propionaldehídos, propintiol, vinil disulfuro) como saponinas esteroideas, caso de dialil sulfido o disulfuro de alilo, dialil monosulfido, dimetil sulfito, dialil disulfido, dialil trisulfido, allixina, alliina (o aliina), allicina, dialil tetrasulfido y dialil pentasulfido (4, 9, 10). También cuentan con flavonoides y otros compuestos azufrados derivados de la cisteína. Dialil disulfido, allicina (dialil thiosulfonato), o allixina, parecen ser efectivos como anticancerígenos, ya que han demostrado su capacidad para disminuir el riesgo de padecer cáncer de esófago y combatir otros tumores (10, 61, 62). El incorporar ajo a la dieta es un método efectivo para combatir el cáncer oral, y estadísticamente se ha demostrado que el mayor consumo de ajo incide en una menor frecuencia de carcinomas gástricos (63). *Leucocoryne alliacea* presenta compuestos sulfurados que se relacionan con los de *Allium*, algunos con notables propiedades antibacteriales (7, 64); y lo mismo pasa en *Tulbaghia violacea* (ajo de sociedad) y posiblemente en alguna otra de las cerca de 30 especies africanas de dicho género (7). El ajo de oso (*Allium ursinum*) contiene más compuestos azufrados que el propio ajo, como sulfuro de vinilo, dimetil tiosulfonato, sulfóxido de metilcisteína y derivados, tiosulfonato de metilalil y metantioil.

Las propiedades salutíferas del ajo se deben sobre todo a la aliina y al disulfuro de alilo, los principales precursores del aroma del ajo que son metabolitos volátiles, inactivos e inodoros, pero que cuanto se tritura

o se corta el ajo se transforma la aliina en alicina (o alicina), que es el que realmente produce el olor a ajo tan característico. La alicina es desactivada a disulfuro de alilo, de ahí que el ajo molido cambia su aroma si no se usa al momento.

Las anticancerígenas del ajo se relacionan con los compuestos azufrados citados. Quizá el más interesante sea la alicina, una sustancia inestable que se transforma en distintos sulfuros, óxidos de azufre y otros compuestos como la allixina (o alixina), un derivado fenólico de la alicina (63). Uno de los derivados, a partir de tres moléculas de alicina, es el ajoeno, presente en el aceite esencial del ajo, que ha demostrado fuerte capacidad inhibitoria de la leucemia en humanos, reduciendo la síntesis de células tumorosas. Alicina y la allitridina (dialil trisulfonato) han mostrado ser potentes antivíricos contra algunos citomegalovirus causantes de hepatitis, albergando una alta capacidad hepatoprotectora. A pesar de sus bondades medicinales, el consumo de ajo puede resultar tóxico, aunque es completamente inocuo como mutagénico cromosómico. Su toxicidad parece residir en la actividad de la enzima aliinasa, a la cual algunos pacientes muestran hipersensibilidad y respuesta alérgica.

24 *Phytolaccaceae*

En *Phytolaccaceae* se encuentra una especie que presenta un olor bastante semejante al ajo; se trata del popularmente conocido como zorrillo (*Petiveria alliacea*) (tabla I). Los estudios fitoquímicos en ésta han mostrado que sus raíces contienen diversos derivados del aminoácido cisteína, uno de los veinte que se usan para la elaboración de proteínas, que contiene azufre en su estructura; así como otros compuestos sulfurados como petivericina, tiosulfonato, petiverina, etc. (7, 8, 65). Trazas de estos compuestos también se han detectado en sus hojas. En particular, el fuerte olor a ajo de este vegetal parece deberse sobre todo a la sulfina, mientras que su actividad lacrimógena se centra en el tiobenzaldehído S-óxido (8).

Esta planta ha sido utilizada, etnomedicinalmente, por comunidades indígenas nicaragüenses, para tratar molestias respiratorias como gripes y tos (21). Precisamente, por su olor, es una planta relativamente bien conocida y usada para repeler serpientes venenosas (1). Estudios en laboratorio, sobre la actividad biológica del zorrillo, muestran gran capacidad inhibitoria de sus extractos alcohólicos, actuando como antifúngicos frente a diversas especies de *Cladosporium*, y antibacteriales frente a *Bacillus cereus*, *Mycobacterium smeg-*

matís, *Micrococcus luteus*, *Streptococcus agalactiae*, *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* o *Klebsiella pneumoniae* (8, 65). Diversos compuestos polisulfurados, fundamentalmente los thiosulfonatos, los trisulfidos y el ácido benzilsulfínico, son los más activos a tal respecto (8). Señalar, no obstante, que algunos de los compuestos sulfurados señalados, como el dibenzil trisulfido, presente en los tejidos del zorrillo, puede tener cierta actividad citostática y acción neurotóxica. De hecho, a pesar de ser una planta utilizada en la medicina tradicional americana, algunos autores inciden en que parte de sus metabolitos, como el referido, pueden resultar genotóxicos y producir alteración mitótica o mutagénica si se administran en altas dosis.

CONCLUSIONES

Los cambios evolutivos, la aparición del olor al ajo en los vegetales, seguramente su fue generando a partir de las relaciones interespecíficas consumadas entre animales y plantas, operando muy lentamente dentro de la escala temporal, en determinados contextos ecológicos, definiendo este rasgo como la ventaja adaptativa más adecuada a su fin (14, 49). Cuando el olor a ajo adquirió un nivel evolutivo, probablemente como el mecanismo de defensa más eficaz frente a insectos predadores, se puede hablar de coevolución mediada por una interacción ecológica de tipo antagonista (66, 67). Ésta, sin duda, implicaría toda una serie de cambios genéticos dirigidos a la elaboración de nuevos metabolitos secundarios hasta entonces ausentes en los vegetales.

Los sistemas predador-planta, como los que aquí estamos considerando, pueden suponer modelos genéticos como el citado, en el cual cuando el insecto se hace más resistente a los compuestos químicos de un vegetal, por modificaciones genéticas incrementa su acción desfoliadora o patógena. Ello conduce a un ciclo continuo de cambio evolutivo, en el cual las plantas sufren igualmente cambios genéticos para mejorar sus defensas químicas generando metabolitos secundarios más eficaces. Los vegetales implementan estrategias tales como la asimilación de sustancias venenosas, desagradables o fétidas, en sus órganos, incluyendo aquí alcaloides, flavonoides, terpenoides, etc., para así evitar la pérdida de material vegetativo y la muerte (14). Los insectos evolucionan en paralelo con el objetivo de ser inmunes a tales metabolitos secundarios tóxicos e incluso poderlos utilizar en su

defensa. Más allá, también se producen fenómenos alelopáticos, entre las plantas, de transmisión química de la información, de la existencia de un predador potencial, que las permiten adecuar sus defensas a tales hechos (11).

En este sentido, los olores son sustancias capaces de informar a una especie vegetal de su "disponibilidad", de su aceptabilidad a permitir la dispersión de pólenes o semillas e incluso a atraer a ciertos insectos que pueden ayudarla en su defensa frente a

otros predadores potenciales (14). El olor, sobre todo a ajo, es un mecanismo vegetal para mostrar su toxicidad, su peligro inherente. Como otros olores, el olor a ajo resulta muy repulsivo para la gran mayoría de los animales, exceptuando quizá a los seres humanos, y las plantas lo utilizan para evitar ser consumidas, como un mecanismo de defensa química enormemente eficaz (68, 69) que les ha llevado años y años de evolución; en muchas ocasiones paralela a la de sus predadores potenciales.

BIBLIOGRAFÍA

1. López Sáez JA, Pérez Soto J. Plantas alexigénicas: antídotos vegetales contra las picaduras de serpientes venenosas. *Medicina naturista*. 2009; 3 (1): 17-24.

2. Maia J, Zoghbi M, Andrade E. Plantas aromáticas da Amazônia e seus óleos essenciais. *Museu Paraense Emílio Goeldi, Coleção Adolpho Ducke*. 2001.

3. Cadenas Henares JA. Olores. Definición y medición desodorización por la vía seca y húmeda biofiltros. *Técnicas combinadas*. Fundación Biodiversidad, Madrid. 2007.

4. Shaath N, Flores FB, Osman M, Abd-El Aal M. The essential oil of *Allium sativum*, Liliaceae (garlic). *Developments in Food Science*. 1995; 37 (2): 2025-2037.

5. Susko D, Lovett-Doust L. Variable patterns of seed maturation and abortion in *Alliaria petiolata* (Brassicaceae). *Canadian Journal of Botany*. 1998; 76: 1677-1686.

6. Vaughn S, Berhow M. Allelochemicals isolated from tissues of the invasive weed garlic mustard (*Alliaria petiolata*). *Journal of Chemical Ecology*. 1999; 25: 2495-2504.

7. Kubec R, Velíšek J y Musah R. The amino acid precursors and odor formation in society garlic (*Tulbaghia violacea* Harv.). *Phytochemistry*. 2002; 60: 21-25.

8. Kubec R., Kim S, Musah R. The lachrymatory principle of *Petiveria alliacea*. *Phytochemistry*. 2003; 63: 37-40.

9. Haciseferogullar H, Ozcan M, Demir F, Calisir S. Some nutritional and technological properties of garlic (*Allium sativum* L.). *Journal of Food Engineering*. 2005; 68: 463-469.

10. Nishida M, Hada T, Kuramochi K, Yoshida H, Yonezawa Y, Kuriyama I, Sugawara F, Yoshida H, Mizushima Y. Diallyl sulfides: Selective inhibitors of family

X DNA polymerases from garlic (*Allium sativum* L.). *Food Chemistry*. 2008; 108: 551-560.

11. Corrêa L, Soares G, Fett A. Allelopathic potential of *Psychotria leiocarpa*, a dominant understorey species of subtropical forests. *South African Journal of Botany*. 2008; 74: 583-590.

12. Kricher J. Un compañero neotropical, una introducción a los animales, plantas y ecosistemas del nuevo mundo. 2008.

13. Baldizán A, Domínguez C, García D, Chacón E, Aguilar L. Metabolitos secundarios y patrón de selección de dietas en el bosque decíduo tropical de los llanos centrales venezolanos. *Zootecnia Tropical*. 2006; 24 (3): 213-232.

14. Fontúrbel F, Molina C. Mecanismos y estrategias de coevolución en plantas: un breve análisis de la coevolución planta-insecto. *Ciencia Abierta*. 2003; 22: 1-16.

15. Cipollini D, Purrington C, Bergelson J. Costs of induced responses in plants. *Basic Applied Ecology*. 2003; 4: 79-85.

16. Evans J, Landis D. Pre-release monitoring of *Alliaria petiolata* (garlic mustard) invasions and the impacts of extant natural enemies in southern Michigan forests. *Biological Control*. 2007; 42: 300-307.

17. Kehrli P, Bacher S. Differential effects of flower feeding in an insect host-parasitoid system. *Basic and Applied Ecology*. 2008; 9: 709-717.

18. Simmonds M. Flavonoid-insect interactions: recent advances in our knowledge. *Phytochemistry*. 2003; 64: 21-30.

19. Cole R. 1-cyanoepithio alkanes: mayor products of alkenylglucosinolate hydrolysis in certain cruciferae. *Phytochemistry*. 1975; 14: 2293-2294.

20. Kathryn E, Cipollini D. Half-lives and field soil concentrations of *Alliaria petiolata* secondary metabolites. *Chemosphere*. 2009; 76: 71-75.

21. Pérez Soto J. Conocimientos y usos etnobotánicos con potencial medicinal de la comunidad de Tilgüe (Isla de Ometepe, Departamento de Rivas, Nicaragua). Monografía de Licenciatura, UNAN-Managua, Nicaragua. 2008.
22. Durka W, Bossdorf O, Prati D, Auge H. Molecular evidence for multiple introductions of garlic mustard (*Alliaria petiolata*, Brassicaceae) to North America. *Molecular Ecology*. 1998; 14: 1697-1706.
23. Haribal M, Renwick J. Isovitexin 6"-O- β -d-glucopyranoside: A feeding deterrent to *Pieris napi* oleracea from *Alliaria petiolata*. *Phytochemistry*. 1998; 47: 1237-1240.
24. Haribal M, Yang Z, Attygalle A, Renwick A, Meinwald J. Cyanoallyl Glucoside from *Alliaria petiolata*, as a Feeding Deterrent for Larvae of *Pieris napi* oleracea. *Journal of Natural Products*. 2001; 64: 440-443.
25. Al-Shehbaz I, Al-Shammary K. Distribution and Chemotaxonomic Significance of Glucosinolates in Certain Middle-Eastern Cruciferae. *Biochemical Systematics and Ecology*. 1987; 15 (5): 559-569.
26. Al-Shehbaz I, Mutlu B, Donmez A. The Brassicaceae (Cruciferae) of Turkey, Updated. *Turkish Journal of Botany*. 2007; 31: 327-336.
27. Thomson RH. *Naturally Occurring Quinones*, 2 Edn. Academic Press, Londres. 1971.
28. Itokawa H, Morita K, Takeya K. Cytotoxic naphthoquinones from *Mansoa alliacea*. *Phytochemistry*. 1992; 13: 1061-1062.
29. Tang M. Producción de Plantas Amazónicas con propiedades cosméticas y/o medicinales y sus productos derivados en el ámbito de la Cordillera Escalera, con fines de consumo interno y exportación. Proyecto Bosques del Chinchipe 1 46. 2007.
30. Martin F, Hay A, Corno L, Gupta M, Hostettmann K. Iridoid glycosides from the stems of *Pithecoctenium crucigerum* (Bignoniaceae). *Phytochemistry*. 2007; 68: 1307-1311.
31. Gentry AH. A Synopsis of Bignoniaceae Ethnobotany and Economic Botany. *Annals of the Missouri Botanical Garden*. 1992; 79: 53-64.
32. Souza DAS, Lenzi M, Orth AI. Contribuição à ecologia da polinização de *Tabebuia pulcherrima* (Bignoniaceae) em área de restinga, no sul de Santa Catarina. *Biotemas*. 2004; 17 (2): 47- 66.
33. Magalhães I, Gonçalves M. Fenologia, biologia floral e germinação de plantas aromáticas: *Hyptis suaveolens* (L.) Poit. (Lamiaceae) e *Mansoa standleyi* (Steeyer.) A. H. Gentry (Bignoniaceae). *Revista Brasileira Farmaceutica*. 2008; 89 (4): 361-365.
34. Stevens WD, Ulloa C, Pool A, Montiel OM Flora de Nicaragua. Missouri Botanical Garden Press, St. Louis Missouri. 2001.
35. Sanz J, Campos J, Epiquián M, Cañigual S. A first survey on the medicinal plants of the Chazuta valley (Peruvian Amazon). *Journal of Ethnopharmacology*. 2009; 122: 333-362.
36. Valadeau C, Pabón A, Deharo E, Albán J, Estévez Y, Lores A, Rojas R, Gamboa D, Sauvain M, Castillo D, Bourdy G. Medicinal plants from the Yanasha (Peru): Evaluation of the leishmanicidal and antimalarial activity of selected extracts. *Journal of Ethnopharmacology*. 2009; 123: 413-422.
37. Davis W, Yost J. The ethnobotany of the wao-rani of Amazonia Ecuador. *Journal of Ethnopharmacology*. 1987; 9: 273-297.
38. Kvist L, Christensen S, Rasmussen H, Mejia K, González A. Identification and evaluation of Peruvian plants used to treat malaria and leishmaniasis. *Journal of Ethnopharmacology*. 2006; 106: 390-402.
39. Van den Eynden V, Cueva E. Uso de plantas como aditivos en la alimentación. *Enciclopedia de las Plantas Útiles del Ecuador*, 67-70. 2008.
40. Gupta MP, Solís PN, Calderón AI, Guineau F, Corrêa M, Galdames C, Guerra C, Espinosa A, Alveda GI, Robles G, Ocampo R. Medical Ethnobotany of the Teribes of Bocas del Toro, Panama. *Journal of Ethnopharmacology*. 2005; 96: 389-401.
41. Lavern HD. Provenance, Age, and Defoliation Effects on the Growth of *Cordia alliodora* in Central America. *Forest Ecology and Management*. 1989; 28: 191-202.
42. Leonti M, Sticher O, Heinrich M. Medicinal plants of the Popoluca, México: organoleptic properties as indigenous selection criteria. *Journal of Ethnopharmacology*. 1992; 81: 307-315.
43. Kloucek P, Svobodova B, Polesny Z, Langrova I, Smrcek S, Kokoska L. Antimicrobial activity of some medicinal barks used in Peruvian Amazon. *Journal of Ethnopharmacology*. 2007; 111: 427-429.
44. Coe F. Rama midwifery in eastern Nicaragua. *Journal of Ethnopharmacology*. 2008; 117: 136-157.
45. Stevens K, Jurd L, Manners G. Alliadorin, a phenolic terpenoid from *Cordia alliodora*. *Tetrahedron Letters*. 1973; 31: 2955-2958.
46. Stevens K, Jurd L. The structure and synthesis of alliadorin. *Tetrahedron Letters*. 1976; 32: 665-668.
47. Kahn P, Cossy J. A Short Synthesis of Cordiachromene. *Tetrahedron Letters*. 1999; 40: 8113-8114.

48. Barnola L, Hasewa M, Cedeno A. Mono- and Sesquiterpene Variation in *Pinus caribaea* Needles and its Relationship to *Atta laevigata* Herbivory. *Biochemical Systematics and Ecology*. 1994; 22 (5): 437-445.
49. Autran E, Neves I, Da Silva C, Santos G, Da Câmara C, Navarro D. Chemical composition, oviposition deterrent and larvicidal activities against *Aedes aegypti* of essential oils from *Piper marginatum* Jacq. (Piperaceae). *Bioresource Technology*. 2009; 100: 2284-2288.
50. Bevan CWL, Powell JW, Taylor DAH. West African timbers part VI. Petroleum extracts from species of the genera *Khaya*, *Guarea*, *Carapa* and *Cedrela*. *Journal of the Chemical Society*. 1963; 6: 980-984.
51. Burke BA, Chan WR, Magnus KE, Taylor DR. Extractives of *Cedrela odorata* L. III. The structure of photogedunin. *Tetrahedron*. 1969; 25: 5007-5011.
52. Chan WR, Taylor DR, Aplin RT. Extracts of *Cedrela odorata* L.-IV. The structure of odoratin, an undecanortriterpene. *Tetrahedron*. 1972; 28: 431-437.
53. MacKinnon S, Durst T, Arnason JT, Angerhofer C, Pezzuto JM, Sánchez-Vidas PE, Poveda LJ, Gbeassor FM. Antimalarial activity of tropical Meliaceae extracts and gedunin derivatives. *Journal of Natural Products*. 1997; 60: 336-341.
54. Omar S, Marcotte M, Fields P, Sánchez PE, Poveda L, Mata R, Jiménez A, Durst T, Zhang J, MacKinnon S, Leaman D, Arnason JT, Philogène BJR. Antifeedant activities of terpenoids isolated from tropical Rutales. *Journal of Stored Products Research*. 2007; 43: 92-96.
55. Madureira MC, Martins AP, Gomes M, Paiva J, Cunha AP, Rosario V. Antimalarial activity of medicinal plants used in traditional medicine in S. Tomé and Príncipe islands. *Journal of Ethnopharmacology*. 2002; 81: 23-29.
56. Campos AM, Oliveira FS, Iracema M, Machado L, Braz-Filho R, Matos FJA. Triterpenoids from *Cedrela odorata*. *Phytochemistry*. 1991; 30 (4): 1225-1229.
57. De Paula J, Vieira I, Da Silva M, Rodrigues F, Fernandes J, Vieira P, Pinheiro A, Vilela E. Sesquiterpenes, triterpenoids, limonoids and flavonoids of *Cedrela odorata* graft and speculations on the induced resistance against *Hypsipyla grandella*. *Phytochemistry*. 1997; 44 (8):1449-1454.
58. Villee C. *Biología*. Mc. Graw-Hill, México D.F. 1996.
59. Finkenzeller X, Steinbach G. *Flores de alta montaña*. Ed. Blume, Barcelona. 2003.
60. Fritsch R, Keusgen M. Occurrence and taxonomic significance of cysteine sulphoxides in the genus *Allium* L. (Alliaceae). *Phytochemistry*. 2006; 67: 1127-1135.
61. Arimoto H, Asano S, Uemura D. Total synthesis of allixin; an anti-tumor promoter from garlic. *Tetrahedron Letters*. 1997; 38 (44): 7761-7762.
62. Kang N, Moon E, Cho C, Pyo S. Immunomodulating effect of garlic component, allicin, on murine peritoneal macrophages. *Nutrition Research*. 2001; 21: 617-626.
63. Jané E, Chimenos E, López J, Roselló X. Importancia de la dieta en la prevención del cáncer oral. *Medicina Oral*. 2003; 8: 260-268.
64. Sokmen A, Jones B, Erturk M. The in vitro antibacterial activity of Turkish medicinal plants. *Journal of Ethnopharmacology*. 1999; 67: 79-86.
65. Kim S, Kubec R, Musah R. Antibacterial and antifungal activity of sulfur-containing compounds from *Petiveria alliacea* L. *Journal of Ethnopharmacology*. 2006; 104: 188-192.
66. Palomares Martínez J. *Etnobotánica. Plantas tóxicas y venenosas en jardinería. (I)*. Valencia Naturalmente. 2004; 29-32.
67. Iglesias Fuente D. Insectos herbívoros: un modelo de coevolución. *Boletín SEA*. 1996; 13: 29-30.
68. López Riquelme G. *Necromonas. El olor de la muerte*. *Ciencias*. 2001; 63: 50-80.
69. Iannacone J, Ayala H, Román A. Efecto toxicológico de cuatro plantas sobre el gorgojo del maíz *Sitophilus zeamais* (Motschulsky 1855) (Coleoptera: Curculionide) y sobre el gorgojo de las galletas *Stegobium paniceum* (Linnaeus 17619) (Coleoptera: Anobiide) en Perú. *Gayana*. 2005; 69 (2): 234-240.