

PLANTAS CON PROPIEDADES ALELOPÁTICAS

Concepto y Generalidades de la aleopatía

En un ecosistema, los organismos vegetales están expuestos a factores tanto abióticos como bióticos, junto con los cuales han evolucionado. La presión de selección ejercida por estos factores ha provocado el desarrollo de numerosas rutas de biosíntesis a través de las cuales sintetizan y acumulan metabolitos secundarios conocidos como aleloquímicos.

El término aleopatía (del griego *allelon*=uno al otro, y *pathos*=sufrir) fue utilizado por primera vez para referirse a los efectos perjudiciales o benéficos que son el resultado de la acción de compuestos químicos que liberados por una planta ejercen su acción en otra, incluyendo a los microorganismos (Molisch, 1937 en Rice, 1984). Mientras que la sociedad Internacional de Aleopatía (AIS) la definió como cualquier proceso que involucre metabolitos secundarios producidos por las plantas, microorganismos, virus y hongos que influyan inhibiendo o estimulando el crecimiento y desarrollo de sistemas agrícolas y biológicos.

Las publicaciones sobre aleopatía son actualmente numerosas y hay una excelente recopilación de datos al respecto. Autores de muchos lugares del mundo han investigado y definido la aleopatía con mayor o menor exactitud: Molisch (1937), Bonner (1950), Grümmer (1955), Putnam y Duke (1978), Camero (1992), Barceló *et al.* (1995), Anaya (1999), Hickman *et al.* (1999), An *et al.* (2000), Einhellig (2004), Lozano (1992), Gámez *et al.* (2002, 2007) entre otros han coincidido en ver la aleopatía, como el efecto producido por las interacciones bioquímicas que se establecen en un agroecosistema entre una especie donante sobre otra receptora, que incluye a plantas y microorganismos y puede ser de daños o beneficios.

Los mecanismos de acción han sido resumido bajo las siguientes categorías: 1) Efectos en la elongación de las células y ultraestructura del extremo radical, incluyendo la inhibición de la división celular, 2) Efectos en la inducción de hormonas de crecimiento, 3) Inhibición en la síntesis de proteínas y cambios en el metabolismo de lípidos y orgánicos, 4) Inhibición y/o estimulación de enzimas específicas, 5) Efectos en la permeabilidad de la membrana, 6) Efectos en la apertura estomática y en la fotosíntesis, 7) Efectos en la respiración, 8) Efectos sobre la absorción mineral, 9) Extraordinario atascamiento de los elementos del xilema y de la transmisión de agua por el tallo, y 10) Efectos sobre la disponibilidad de fósforo y potasio en el suelo.

Naturaleza química y biosíntesis de las sustancias alelopáticas

Muchos aleloquímicos han sido clasificados como "metabolitos secundarios", debido a que no juegan un papel en el metabolismo primario y son producidos como consecuencia de los caminos al metabolismo primario, e incluyen cientos de componentes moleculares de bajo peso (An *et al.*, 2000). La mayoría de ellos se deriva de las rutas del acetato-mevalonato o del ácido shikímico (Figura 1).

De entre los compuestos identificados, los que presentan reconocida actividad alelopática son: *Glucósidos cianogénicos*. La durina es frecuente entre especies tanto cultivadas como silvestres del género *Sorghum*. Amigdalina y prunasina son frecuentes en semillas de *Prunaceae* y *Pomaceae* actuando como inhibidores de germinación. La mayoría de los miembros de la familia *Brassicaceae* producen grandes cantidades de estos glucósidos, los que por hidrólisis producen isotiocianato

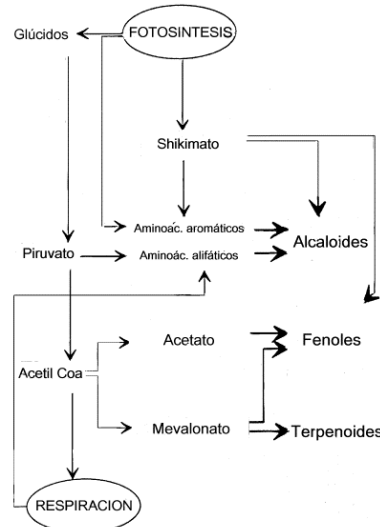


Figura 1. Rutas de biosíntesis de aleloquímicos

con igual actividad biológica.

Clasificación de las interacciones alelopáticas

Aleopatía Positiva. Efecto benéfico que tiene una planta sobre otra. Por ejemplo la lechuga sembrada con espinaca se hace más jugosa. El frijol sembrado con maíz ayuda a repeler y disminuir ataques del gusano cogollero. La interacción entre malezas y cultivos puede ser positiva, según Jiménez *et al.* citados por An *et al.* (2000), al interplantar cantidades controladas de mostaza salvaje (*Brassica campestris*) con brócolis (*Brassica oleracea* var. premium crop) se incrementó la cosecha en un 50%.

Aleopatía negativa. Es la no convivencia de algunas plantas en un mismo espacio, pues hay determinadas plantas que segregan sustancias tóxicas por sus raíces y hojas impidiendo el desarrollo de las plantas vecinas como el ajenojo, el eneldo, el diente de león y otras como el eucalipto. Algunas hortalizas no se aconsejan sembrar asociadas por sus propiedades alelopáticas negativas.

Aplicaciones y beneficios de la aleopatía en la agricultura

La posible aplicación de los conocimientos adquiridos sobre aleopatía, está en consonancia con la actual demanda social, preocupada por una aproximación más respetuosa al medio ambiente de las prácticas agrícolas. Entre los beneficios de esta interacción planta-planta se pueden mencionar: a) Disminuye los costos de producción, b) Independiza a los cultivadores de las casas productoras de abonos y pesticidas químicos, c) Preserva los cultivos, los animales y al hombre, d) Mejora la estructura del suelo, e) Da fuerza a la agricultura autosostenible y f) Mejora la calidad de los productos agrícolas y contribuye a la alimentación sana.

El uso de extractos de cultivos sobre las malezas ha sido reportado por Rice (1984) quien menciona especies cuya presencia ha demostrado que tienen un efecto inhibitorio en un número de malas hierbas; remolacha, frijol chocho, maíz, trigo, avena, chícharos, trigo sarraceno, trigo graso peludo, y el pepino. Hickman *et al.*, (1999) comprobó el efecto alelopático del centeno sobre el mastuerzo, que a su vez es alelopático para el milo japonés. Leather (1983) comprobó el carácter inhibitorio del extracto de girasol (*Helianthus annus* L.) sobre la germinación y desarrollo de las malezas asociadas al mismo: zacate Johnson (*Sorghum halepense*), hierba lechosa (*Euphorbia heterophylla*), coquillo (*Cyperus rotundus*), verdolaga (*Portulaca oleraceae*) y el quelite (*Amaranthus dubius*).

Rice (1984) y Campos (2009) mencionan que las sustancias que se encuentran presentes en *Helieta parvifolia*, *Helianthus annus*, *Piper auritum*, y *Croton pyramidalis* inhiben el crecimiento de otras plantas a su alrededor.

Modo de liberación de los agentes alelopáticos

Existen 4 vías principales de liberación al entorno de los aleloquímicos (Figura 2).

Volatilización. La liberación de agentes alelopáticos por volatilización está frecuentemente confinada a plantas que producen terpenoides. Los géneros que comúnmente liberan compuestos volátiles incluyen *Artemisia*, *Salvia*, *Parthenium*, *Eucalyptus* y *Brassica*.

Lixiviación. La lixiviación es la remoción de sustancias presentes en la planta por efecto de la lluvia, nieve, niebla o rocío, que va a depender del tipo de tejido vegetal, la edad de la planta y la cantidad y

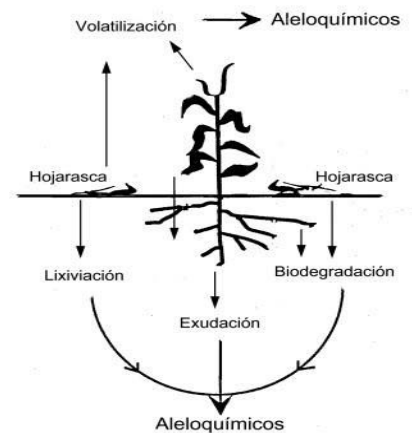


Figura 2. Vías a través de las cuales se liberan los agentes alelopáticos al entorno (Samprieto, 2008)

naturaleza de la precipitación, liberándose una gran variedad de agentes alelopáticos tales como compuestos fenólicos, terpenos y alcaloides.

Exudados radiculares. La mayoría de los agentes alelopáticos conocidos son exudados radiculares que reducen la germinación de las semillas, el crecimiento de raíces y brotes, la incorporación de nutrientes y la nodulación. Factores tales como la edad del vegetal, nutrición, luz y humedad influyen cualitativa y cuantitativamente la liberación de sustancias por las raíces.

Descomposición de residuos vegetales. Se liberan una gran cantidad de agentes alelopáticos influenciados por la naturaleza del residuo, el tipo de suelo, y las condiciones de descomposición y que ejercen su acción en el suelo al entrar en contacto con las raíces de plantas presentes en el mismo. Al mismo tiempo sufren transformaciones realizadas por la microflora del suelo, que pueden originar productos con actividad biológica mayor que sus precursores.

Mecanismos de acción de los agentes alelopáticos

Debido a la diversidad de la naturaleza química de los diferentes agentes alelopáticos, no existe un mecanismo de acción único que explique la manera en que éstos afectan a la planta receptora. Esto se debe a las interacciones sinérgicas y aditivas, lo cual dificulta determinar la actuación de cada compuesto. Existen aproximadamente 12 sitios de acción conocidos de los herbicidas altamente utilizados en agricultura (Sampietro, 2008) (Figura 3).

Alteraciones hormonales. Los compuestos fenólicos pueden reducir o incrementar la concentración de Ácido Indol Acético (AIA). Monofenoles tales como los ácidos p-hidroxibenzoico, vainílico, p-cumárico y siringico reducen la disponibilidad de AIA promoviendo su decarboxilación. En contraste, muchos di y polifenoles (p. ej. los ácidos clorogénico, cafeico, ferúlico y protocatéuico) sinergizan el crecimiento inducido por AIA suprimiendo la degradación de la hormona.

Ciertos glicósidos de flavonoides como la naringenina, la 2',4,4'-trihidroxichalcona y la floridzina estimulan fuertemente enzimas del tipo AIA oxidasa, involucradas en la degradación de auxinas. Los ácidos hidroxámicos 6,7-dimetoxi-2-benzoxazolinona (DIMBOA) y 6-metoxi-2-benzoxazolinona (MBOA) modifican la afinidad de unión de las auxinas a sitios receptores de unión de las mismas a membrana.

Varios compuestos fenólicos inhiben la acción de otras fitohormonas, las giberelinas, ya sea por unión a la molécula hormonal o por bloqueo del proceso mediado por las mismas. Se sabe que los ácidos ferúlico, p-cumárico, vainílico y las cumarinas inhiben el crecimiento inducido por giberelinas. Muchos taninos también lo hacen, provocando paralelamente una reducción en la síntesis de enzimas hidrolíticas tales como la amilasa (Campos, 2009) y la fosfatasa ácida en endospermo de semillas de cebada. Por otra parte la cumarina y varios flavonoides tienen actividad antagónica contra el efecto inhibitorio del ABA y estimulan el crecimiento inducido por el ácido giberélico.

Efectos sobre la actividad enzimática. Existen muchos compuestos alelopáticos con capacidad de modificar ya sea la síntesis o la actividad de enzimas

tanto *in vivo* como *in vitro*, presentando un efecto dual sobre la misma, provocando un incremento cuando se encuentran en bajas concentraciones. En la situación opuesta se observa una reducción de actividad.

Plántulas de maíz tratadas con ácido ferúlico mostraron un incremento en los niveles de enzimas oxidativas (peroxidasa, catalasa y ácido indolacético oxidasa) junto con una elevación de enzimas de la ruta del ácido shikímico tales como fenil alanina amonio liasa y la cinamil alcohol deshidrogenasa involucrada en la síntesis de compuestos fenilpropanoides.

Efectos sobre la fotosíntesis. Inhibición de fotosíntesis, efecto que es el resultado de una modificación en los niveles de clorofila o por cierre de estomas y la subsecuente reducción en la provisión de CO₂ vital para la producción de fotosintatos. Suspensiones de células foliares de *A. teophrasti*, mostraron que el ácido ferúlico, p-cumárico, clorogénico y vainílico son capaces de inhibir la fotosíntesis.

En soya los ácidos ferúlico, vainílico y p-cumárico reducen el contenido de clorofila. En sorgo, las mismas sustancias no provocan esa disminución. Los ácidos ferúlico, p-cumárico y otros cinámicos a bajas concentraciones revierten el cierre de estomas mediado por ABA y estimulan la fotosíntesis. A concentraciones altas, sin embargo, provocan el cierre de estomas e inhibición del proceso fotosintético. Ciertos flavonoides parecen interferir en la organización funcional o estructural del cloroplasto. El quempferol, por ejemplo, aparentemente actúa como un inhibidor de transferencia de energía, impidiendo la síntesis de ATP.

Efectos sobre respiración. Entre los compuestos fenólicos el orden de mayor a menor actividad es quinonas, flavonoides, cumarinas y ácidos fenólicos. Las quinonas sorgoleone y juglona son efectivos inhibidores a muy baja concentración. Nuevamente el sorgoleone afecta el transporte de electrones, mientras que la juglona afecta la incorporación mitocondrial de oxígeno. Flavonoides tales como la quercetina, naringenina y umbeliferona inhiben la producción de ATP en la mitocondria (Gómez *et al.*, 2001; Peñuelas *et al.*, 1996).

Efectos sobre procesos asociados a membranas. Los derivados de los ácidos benzoico y cinámico tienen profundos efectos sobre las membranas. Son capaces de provocar cambios en la polaridad lo cual provocaría alteraciones en la estructura y permeabilidad de las mismas. Además inhiben el ritmo de incorporación de fósforo y potasio en raíces cortadas.

Los ácidos fenólicos tienen un efecto directo sobre la incorporación de iones, también pueden alterar el contenido de minerales en la planta receptora.

Algunos flavonoides inhiben la absorción mineral debido a la inhibición de las ATPasas de membranas y a la alteración en la permeabilidad de las mismas.

Estudios en sorgo muestran que el ácido ferúlico reduce los niveles de fósforo y potasio en la parte aérea y las raíces de la planta después de 3 a 6 días de tratamiento.

El ácido ferúlico reduce también la incorporación de agua por las raíces. Paralelamente, eleva los niveles endógenos de ABA.

CONCLUSIONES

Como conclusión final podemos mencionar que aunque ha habido grandes avances en el conocimiento de los metabolitos secundarios involucrados, el universo por estudiar es todavía muy grande, sin olvidar que deben de estudiarse en combinaciones diversas para abrir nuevas perspectivas, ya que en la naturaleza un principio activo no funciona individualmente.

^aDepartamento de Botánica, FCB, UANL

^bSubdirección de Posgrado, FAUANL

hilda.gamezgn@uanl.edu.mx

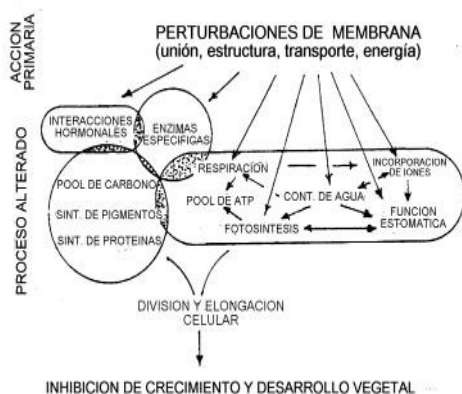


Figura 3. Acción deletérea de aleloquímicos fenólicos. Las flechas sugieren un impacto negativo sobre los procesos y las superposiciones sombreadas implican interacciones probables entre dominios (Sampietro, 2008)