

# Interacciones

## Planta - Animal



## Artrópodos – Aves - Mamíferos

# Tipos de interacciones planta - animal

Tipo de interacción	Especie 1	Especie 2	Situación
<b>Predación</b>	+	-	<b>Conflicto</b>
<b>Parasitismo</b>	+	-	
<b>Competencia</b>	-	-	
<b>Amensalismo</b>	-	0	
<b>Neutralismo</b>	0	0	
<b>Comensalismo</b>	+	0	
<b>Mutualismo</b>	+	+	<b>Alianzas (simbiosis)</b>

Modificado de Perry et al 2008

son el grupo de organismos más numeroso

Phylum  
**ARTHROPODA**

*arthros* (articulación)  
*podos* (pies)

# ARTRÓPODOS

## Características

cuerpo con partes articuladas

Cabeza

Tórax

Abdomen

cubiertas por un CAPARAZÓN

Esqueleto externo

por el número de patas

## Clasificación

son los más diversos y numerosos



**Insectos**

3 pares de patas

Cuerpo: 3 partes

Cabeza

Tórax

Abdomen

1 par ojos compuestos

con antenas

1 par de alas

escarabajos  
mariposas  
abejas



**Arácnidos**

4 pares de patas

Cuerpo: 2 partes

Cefalo

Tórax

Abdomen

uno o más pares de ojos

sin antenas

arañas  
escorpiones  
ácaros



**Crustáceos**

5 pares de patas

Cuerpo: 2 partes

Cefalo

Tórax

Abdomen

acuáticos

2 pares antenas

cangrejos  
langostas  
krill



**Miriápodos**

muchos pares de patas

Cuerpo: 2 partes

cabeza

Tronco  
(segmentado)

2 pares de pies por segmento

ojos simples

con antenas

ciempiés  
milpiés

se clasifican:



coleópteros



lepidópteros



dípteros



hemípteros



ortópteros

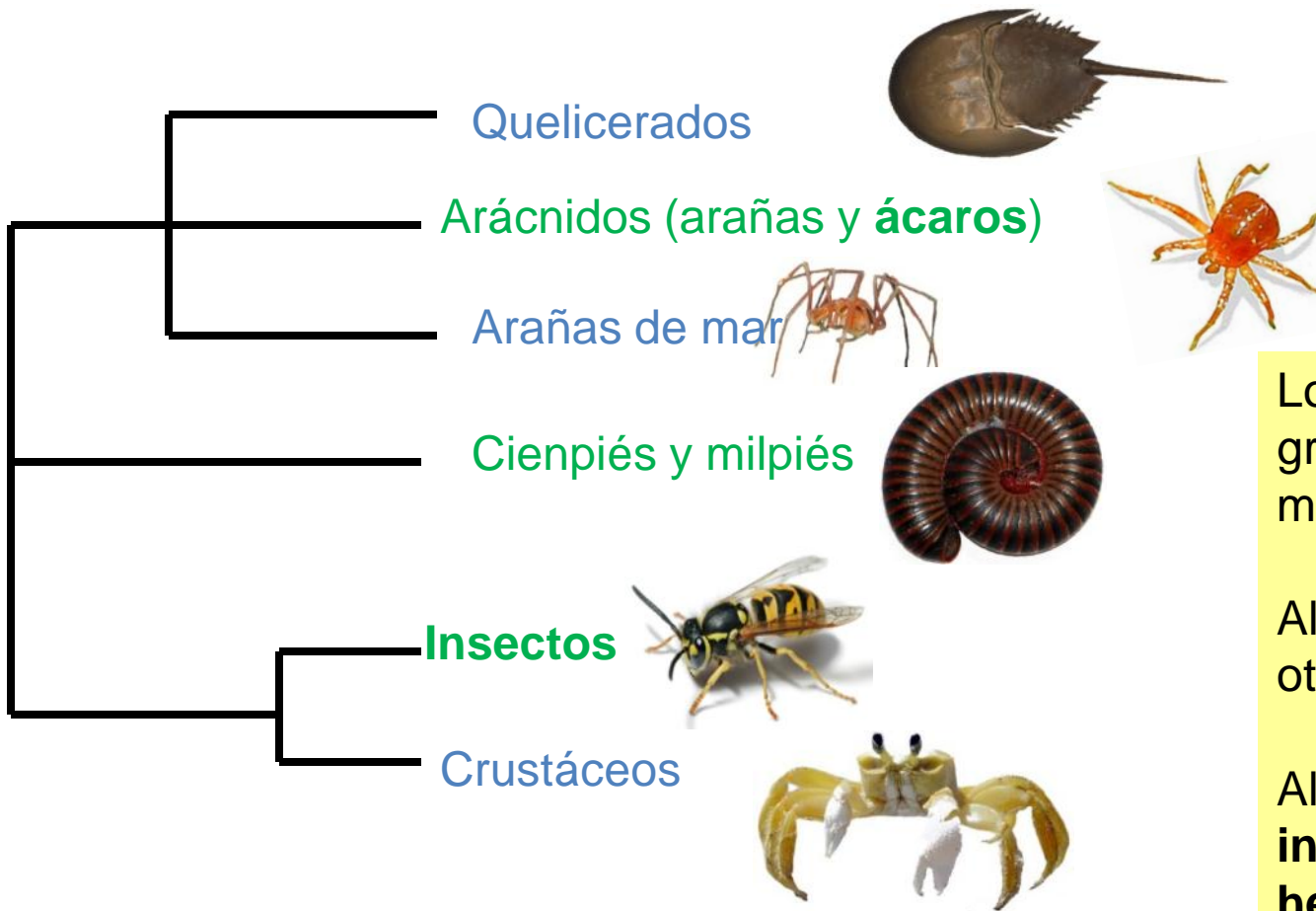


odonatos



himenópteros

# Artrópodos



Los artrópodos son un grupo de invertebrados muy diverso

Algunos son **terrestres** y otros son **acuáticos**

Algunos **ácaros** e **insectos** son **herbívoros** y ocasionan grandes daños en plantas



# Los artrópodos causan pérdidas de rendimientos entre 10 - 30% cada año



- ¿Qué tipos de daño los artrópodos les provocan a las plantas?
- ¿Cómo se protegen las plantas de los herbívoros?
- ¿Cómo actúan los herbívoros frente a las defensas de las plantas?
- ¿Cómo establecen las plantas interacciones mutualistas con los artrópodos, incluidos los polinizadores y los enemigos naturales de sus herbívoros?

Photo by [Scott Bauer](#) USDA

# Conflicto: Herbivoría



Pulgones  
Succión del floema



Minadores  
mesófilo de la hoja



Acaros  
Succión del mesófilo



Larvas  
masticadoras de  
las hojas

Las plantas producen energía y los insectos herbívoros se alimentan de ellas o de los insectos que se las comen.



Photo credits: [Sate Al Abbasi](#); [David Cappaert](#), Michigan State University, Bugwood.org; [University of Missouri](#). Published by [MU Extension](#), all rights reserved. [William Werg](#); [John R. Meyer](#), North Carolina State University; [Scott Bauer](#), USDA



# Las respuestas de las plantas dependen del tipo de alimentación de los insectos



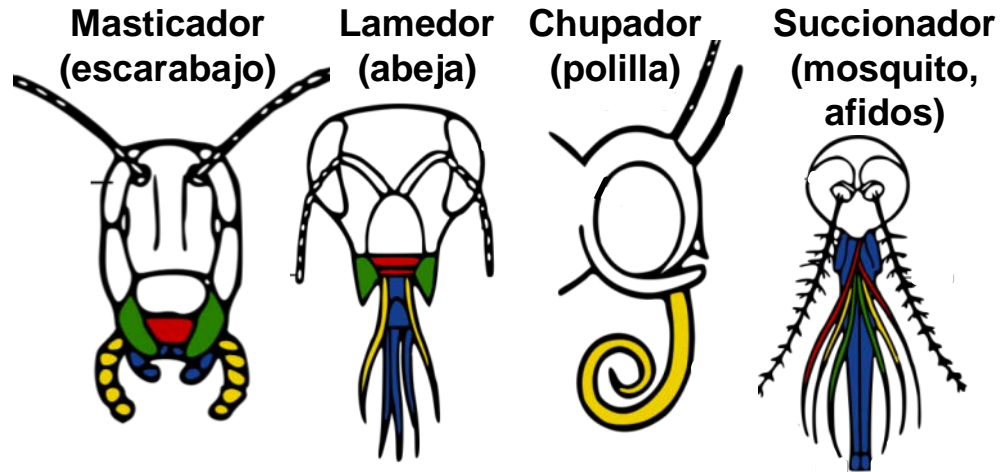
Los insectos masticadores causan heridas extensas, algunos digieren parcialmente su comida afuera de sus cuerpos por regurgitación



Los artrópodos succionadores poseen un estilete con el que perforan los tejidos y succionan los nutrientes

Photo credits: [Sate Al Abbasi](#); [John R. Meyer](#), North Carolina State University;

# Aparato bucal de los artrópodos



Los masticadores y succionadores pueden ser carnívoros o herbívoros

Photo credits: Jan van Arkel (IBED; University of Amsterdam); [R.J. Reynolds Tobacco Company Slide Set](#), Bugwood.org; [Scott Bauer](#), USDA Agricultural Research Service, Bugwood.org



# Algunos artrópodos forman agallas



Agalla de avispas en roble; agalla abierta mostrando adultos (A) y larvas (L)

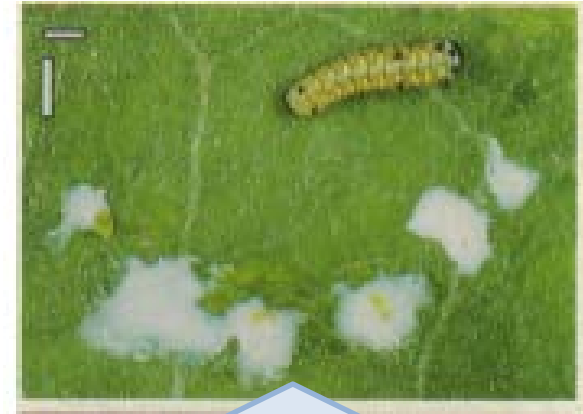
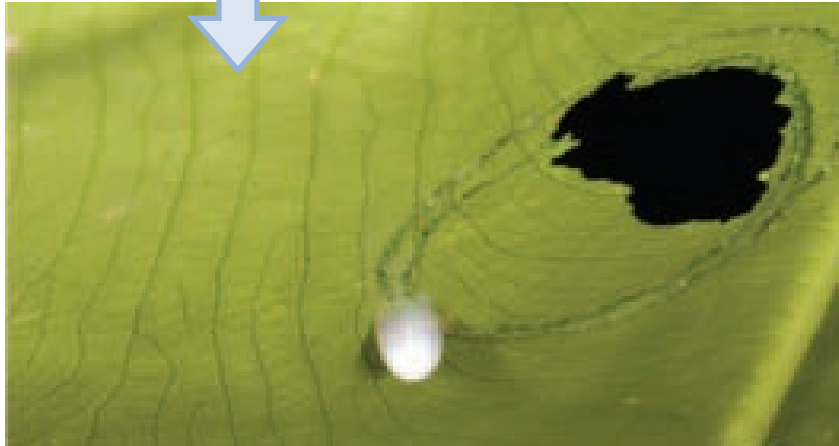
Las agallas son proliferaciones localizadas del tejido inducidas por los artrópodos, que ponen sus huevos en ellas (también por patógenos). Los insectos y algunos patógenos forman las agallas manipulando las hormonas de las plantas. Las agallas son más nutritivas y menos defendidas que otros tejidos, pero aún no se entiende cómo se producen.

[Clemson University](#) - USDA Cooperative Extension Slide Series; [Milan Zubrik](#), Forest Research Institute, Slovakia; [Gyorgy Csoka](#), Hungary Forest Research Institute; [Milan Zubrik](#), Forest Research Institute, Slovakia; [Sturgis McKeever](#), Georgia Southern University, Bugwood.org

# Defensas constitutivas de las plantas



*Escarabajo de la hoja cortando una trinchera circular en una hoja*



*Larva cortando una trinchera a través de la hoja para evitar la ingesta de latex*

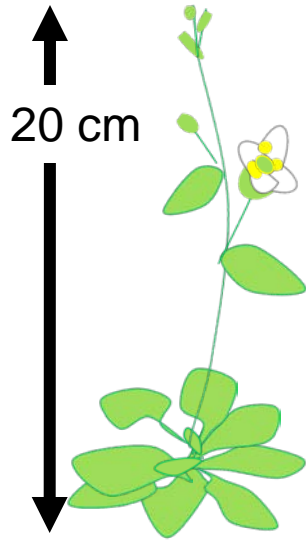
Photo scopyright [Chris Darling](#); Dussourd, D., and Eisner, T. (1987). Vein-cutting behavior: insect counterploy to the latex defense of plants. Science 237: [898-901](#) reprinted with permission of AAAS; .

# Las plantas y sus tejidos difieren en el grado de defensa

La **apariciencia** importa – las plantas anuales de ciclos cortos invierten menos energía en defensas que las plantas perennes

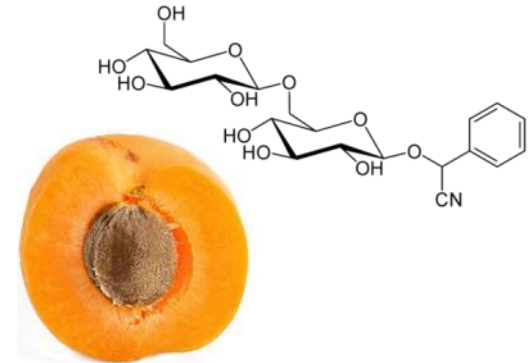
Ciclo de vida:  
~2 meses

Ciclo de vida:  
1000 años



El **valor nutricional** también importa – tejidos ricos en nutrientes incluyendo semillas son fuertemente defendidos

Las semillas de duraznos y otros frutos de carozo contienen toxinas como la amigdalina



Los herbívoros consumen preferentemente tejidos de plantas ricos en nutrientes

Photo credit [Stephen Ausmus](#)

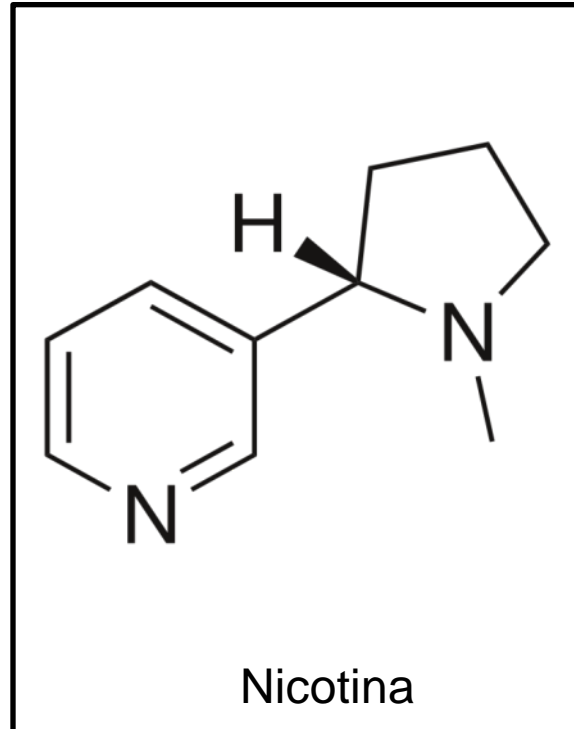


# Las plantas han desarrollado distintas estrategias para defenderse de la herbivoría

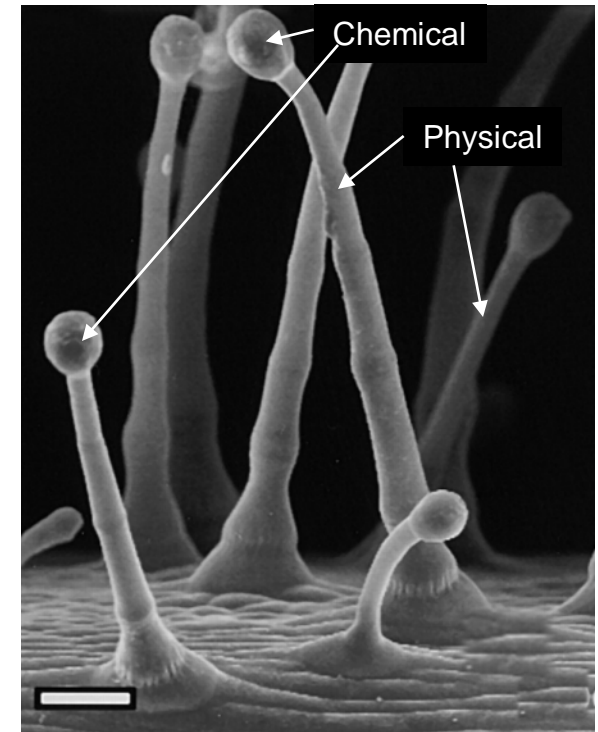
## Física



## Química



## Ambas



Ranger, C.M., and Hower, A.A. (2001). Glandular morphology from a perennial alfalfa clone resistant to the potato leafhopper. *Crop Sci.* 41: [1427-1434](#).

# Defensas físicas

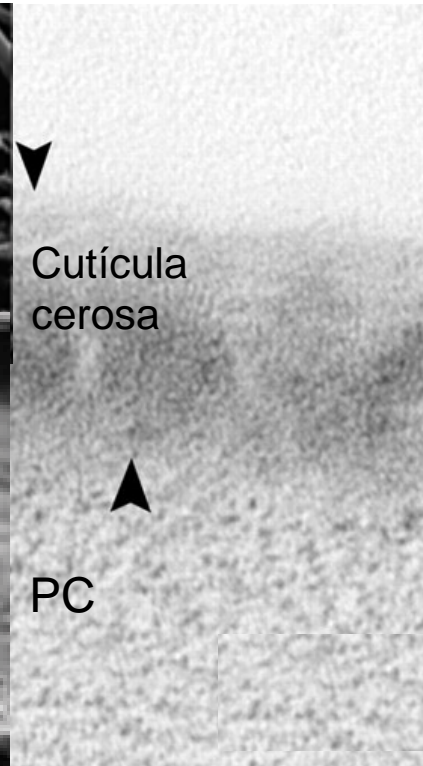
Espinas



Tricomatas



Ceras y PC



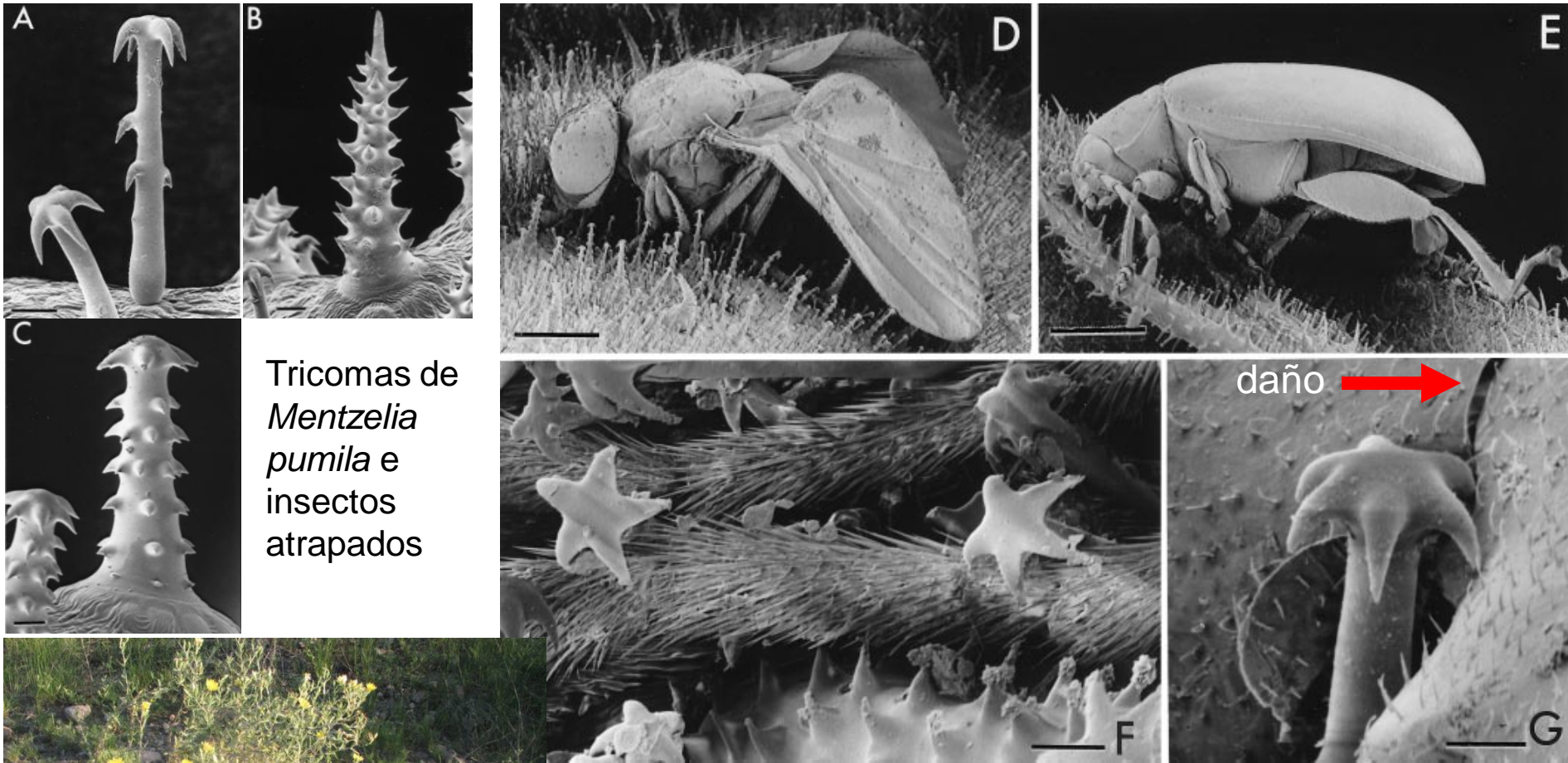
Latex y resina



Cardoso, M.Z. (2008). Herbivore handling of a Plant's trichome: the case of *Heliconius charithonia* (L.) (Lepidoptera: Nymphalidae) and *Passiflora lobata* (Killip) Hutch. (Passifloraceae). *Neotropical Entomology* 37: [247-252](#).



# La presencia de tricomas puede ser letal para los artrópodos



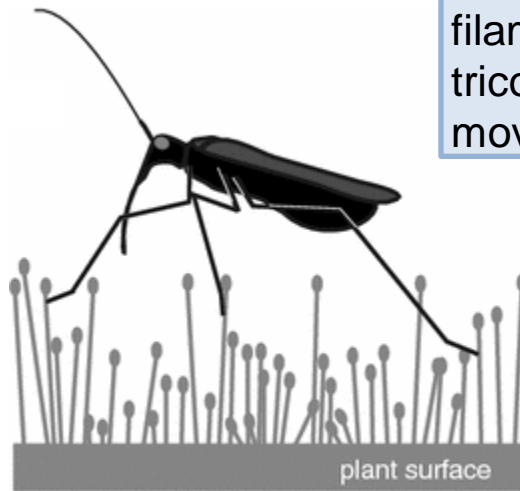
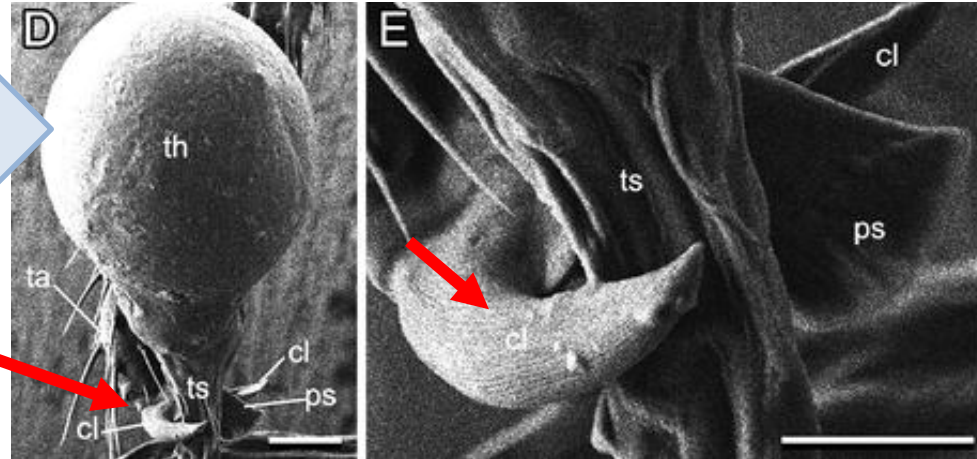
Tricomas de *Mentzelia pumila* e insectos atrapados

..., M. and Hoebeke, E.R. (1998). When defense backfires: Detrimental effect of a plant's protective trichomes on an insect beneficial to the Acad. Sci. USA 95: [4410-4414](#), copyright National Academy of Sciences, USA.



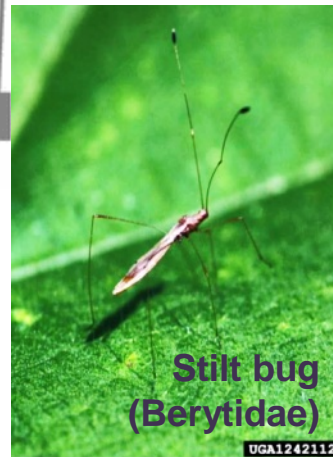
# Algunos artrópodos pueden evitar los tricomas pegajosos empujándolos con sus patas

Con las **patas** hacen fuerza en los filamentos de los tricomas para moverlos



avoidance

Patas largas ayudan a levantarse por encima de materiales pegajosos



defence

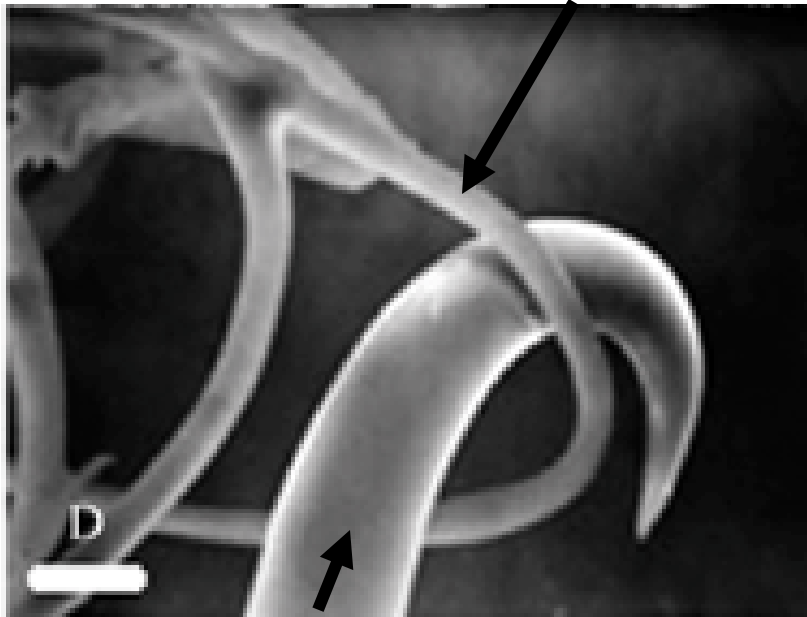
Revestimientos anti-adherentes ayudan a desplazar a los materiales pegajosos

Voigt, D. and Gorb, S. (2010). Locomotion in a sticky terrain. *Arthropod-Plant Interactions*, 4: 69-79; [Russ Ottens](#), University of Georgia, Bugwood.org.

# Algunos artrópodos cubren los tricomas con seda o muerden sus extremos

Los tricomas en forma de gancho son mordidos y cubiertos con seda

Seda de larvas



Punta del tricoma

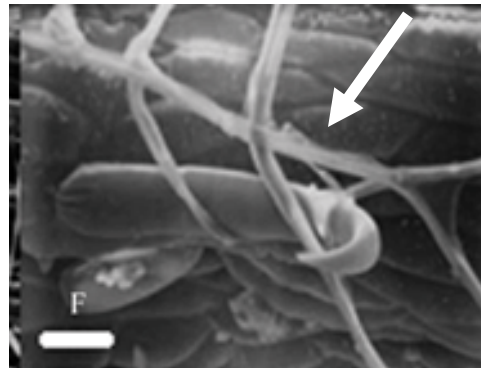


Passiflora



Larva de la mariposa cebra

Tricoma atado con cera



Tricoma mordido

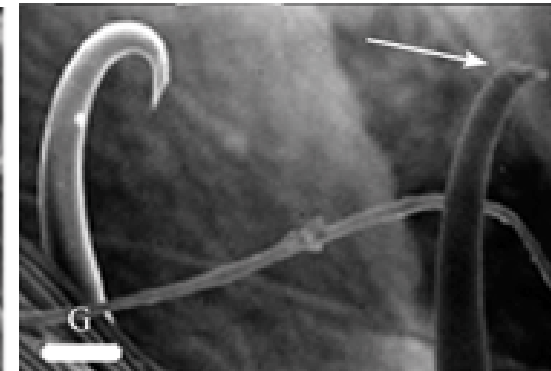


Photo copyright [Dale Clark](#); Cardoso, M.Z. (2008). Herbivore handling of a Plant's trichome: the case of *Heliconius charithonia* (L.) (Lepidoptera: Nymphalidae) and *Passiflora lobata* (Killip) Hutch. (Passifloraceae). *Neotropical Entomology* 37: [247-252](#).

# Los tricomas pueden liberar sustancias repelentes para los artrópodos

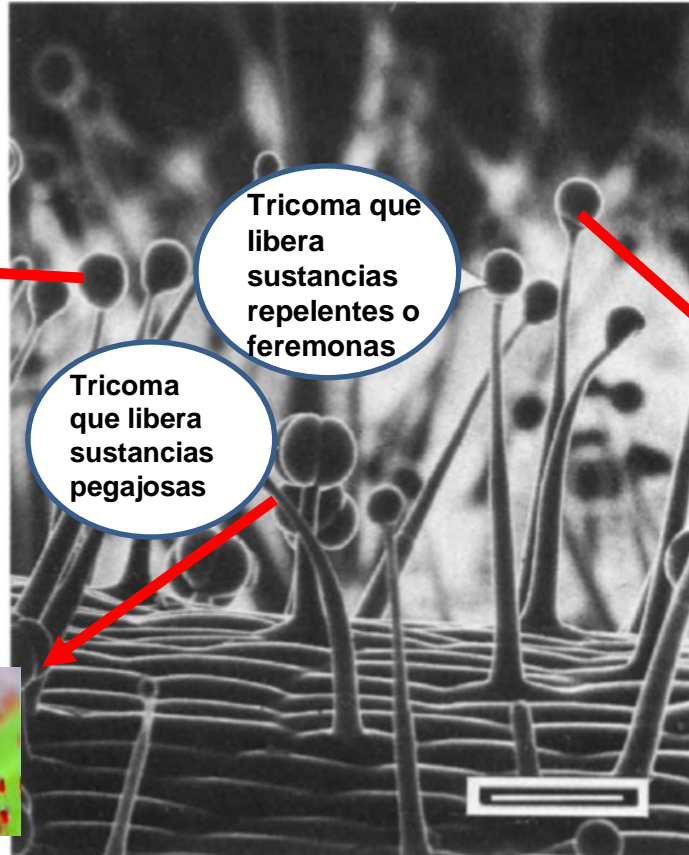
Tomato (*Solanum lycopersicum*)



Los tricomas de tomate liberan sustancias repelentes para mosca blanca



Muchos tricomas producen sustancias pegajosas



Tricoma que libera sustancias repelentes o feromonas

Tricoma que libera sustancias pegajosas

Wild-potato (*Solanum berthaultii*)



Papas silvestres producen feromonas de áfidos que los repelen

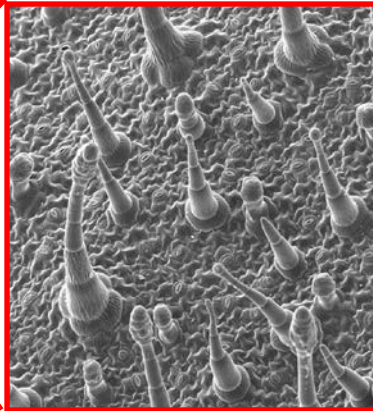
Reprinted by permission from Macmillan Publishers Ltd. from Gibson, R.W., and Pickett, J.A. (1983). Wild potato repels aphids by release of aphid alarm pheromone. *Nature* 302: [608-609](#).



# A veces las orugas recién eclosionadas "lamen" los azúcares de los tricomas ...



Las larvas de *Manduca sexta* lamen los tricomas de *Nicotiana* para comer los acil-azúcares que segregan ...



La hormiga *Pogonomyrmex rugosus* utiliza el aroma de esos mismos ácidos grasos volátiles para encontrar a sus presas

... pero esto les da un "aroma" que atrae a sus enemigos

Photo credits: Alex Weinhold and [Ian Baldwin](#); Weinhold, A. and Baldwin, I.T. (2011). Trichome-derived O-acyl sugars are a first meal for caterpillars that tags them for predation. Proc. Natl. Acad. Sci. 108: [7855-7859](#); [Louisa Howard, Dartmouth University](#)

# El latex se puede evitar mordiendo las nervaduras o cavando zanjas

*Labidomera clivicollis* cortando las nervaduras de *Asdcepias syraca* antes de consumir sus tejidos



El latex es pegajoso y a veces tóxico. Los insectos pueden cortar las nervaduras para drenar el latex y que los tejidos sean comestibles



Dussourd, D., and Eisner, T. (1987). Vein-cutting behavior: insect counterplay to the latex defense of plants. *Science* 237: [898-901](#) reprinted with permission of AAAS.

# Defensas inducidas





# Percepción de la herbivoría



Daños y  
heridas por  
masticación



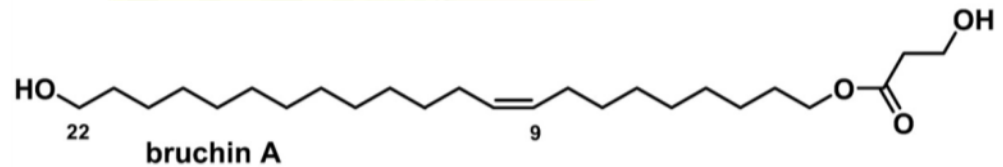
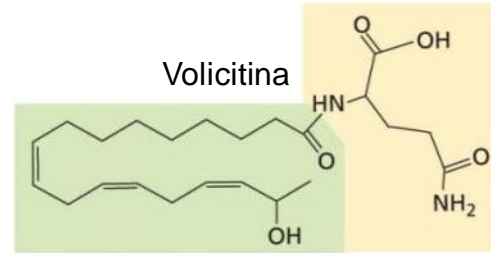
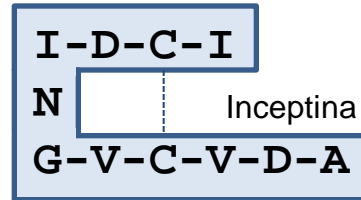
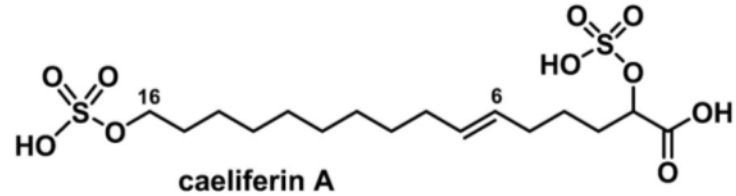
Saliva y  
pinchaduras



Secreciones  
orales y  
regurgitaciones

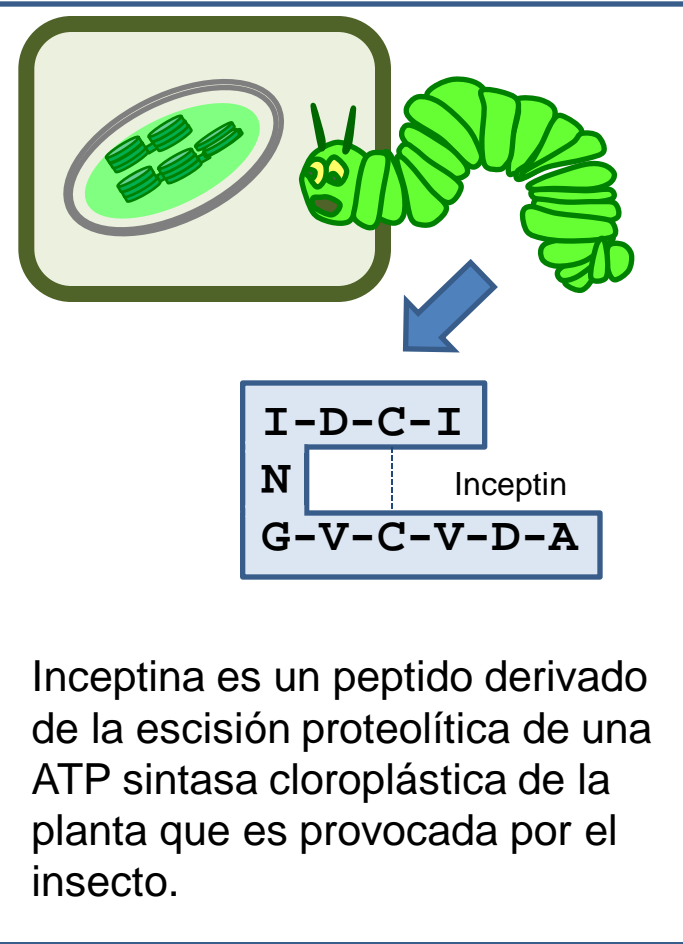
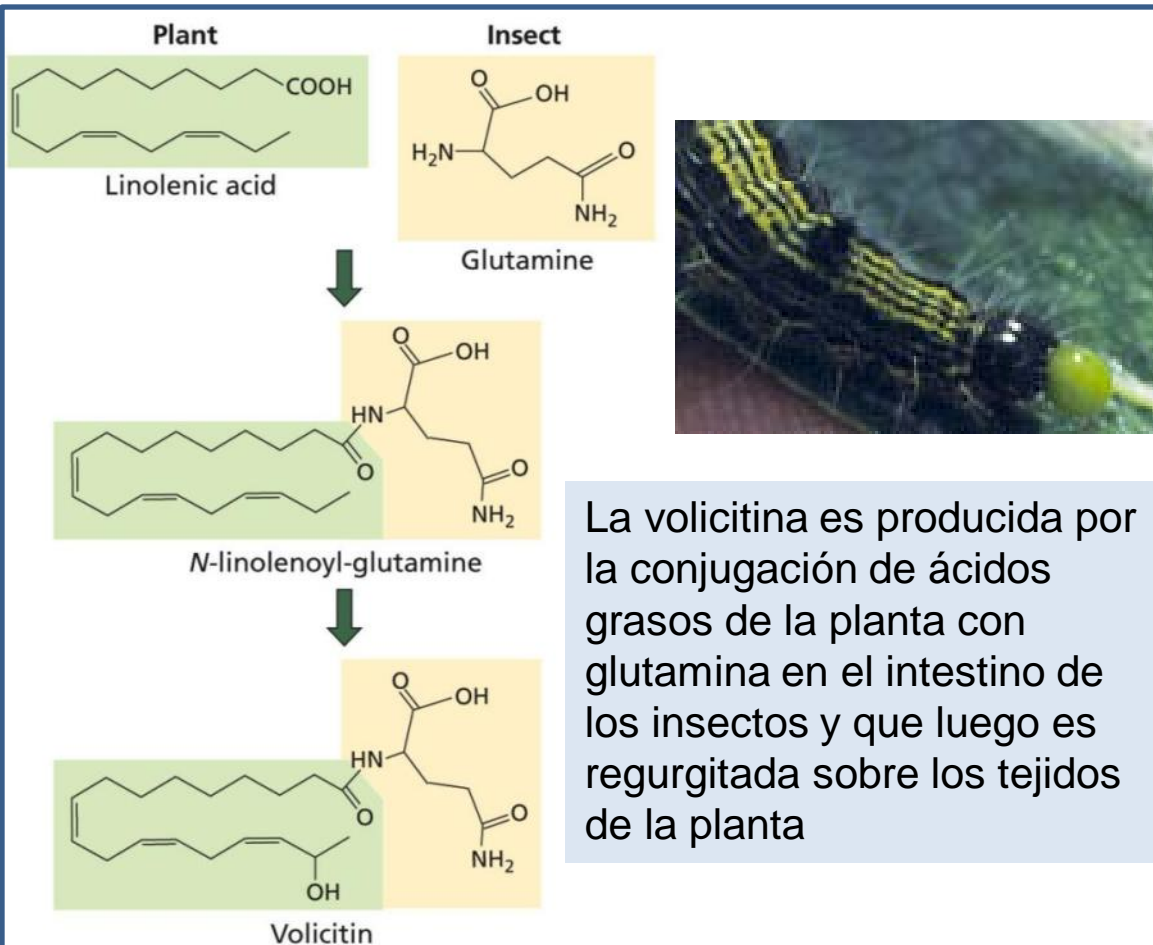


Daños y  
secreciones por  
posturas de  
huevos

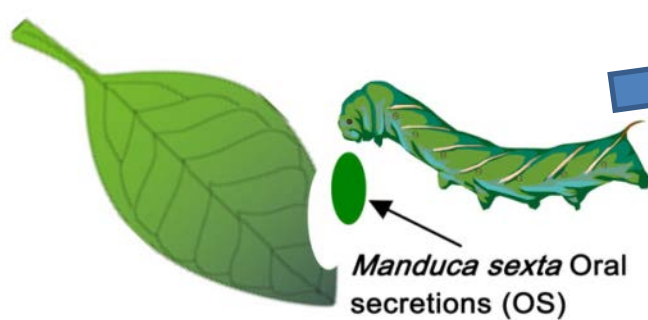


Phillip Roberts, [USDA Forest Service](http://USDA Forest Service) University of Georgia, Bugwood.org; Mithöfer, A. and Boland, W. (2008). Recognition of herbivory-associated molecular patterns. *Plant Physiology*. 146: 825-831; .

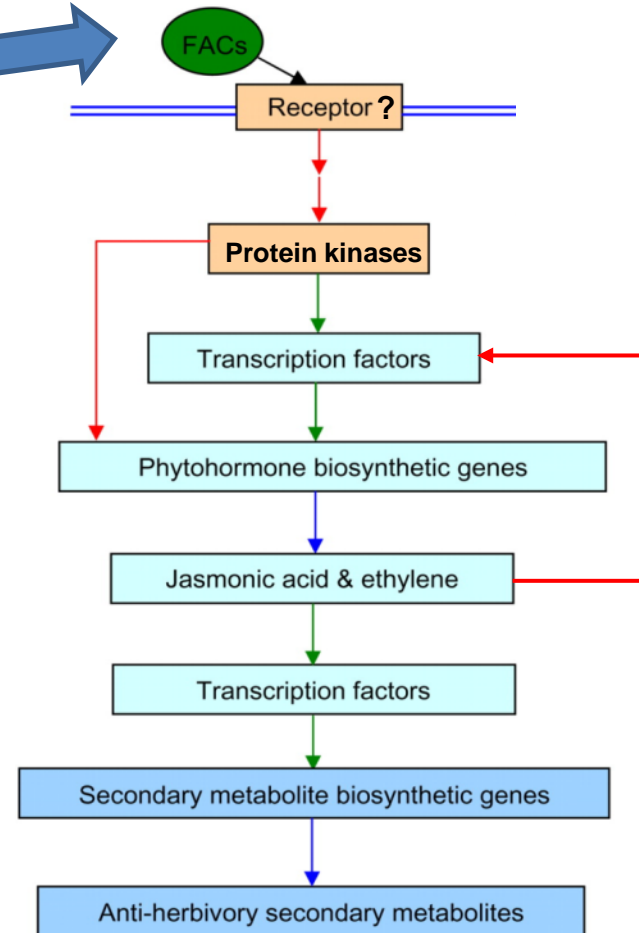
# Volicitina e inceptina son compuestos específicos de herbivoría



# Los compuestos específicos de herbivoría inducen las defensas de las plantas



Los ácidos grasos conjugados (FACs) y otras señales de herbivoría inducen la expresión de genes de defensas (biosíntesis de metabolitos secundarios u otros) & de genes de reparación.



Wu, J., Hettenhausen, C., Schuman, M.C. and Baldwin, I.T. (2008). A comparison of two *Nicotiana attenuata* accessions reveals large differences in signaling induced by oral secretions of the specialist herbivore *Manduca sexta*. *Plant Physiology*. 146: [927-939](#).



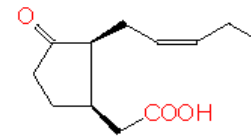
# Varias defensas inducidas son desencadenadas por hormonas



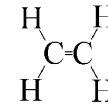
Señalización dependiente de hormonas



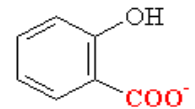
Señalización independiente de hormonas



Jasmonatos (JA)



Etileno (ET)



Salicilatos (SA)

- Respuestas directas (ej. toxinas)
- Respuestas indirectas (atracción de predadores)

Phillip Roberts, [USDA Forest Service](http://USDA Forest Service) University of Georgia, Bugwood.org

# La infestación induce la expresión de genes asociados a la defensa

Las plantas responden al tipo de herbivoría – distintos herbivoros inducen diferentes grupos de genes. En general, las plantas infestadas inducen la síntesis o acumulación de toxinas o compuestos antinutritivos y de reparación de daño



Photo credits: [Sate Al Abbasi](#); [John R. Meyer](#), North Carolina State University; [Mites Copyright](#) 1993 to 2011 University of Missouri. Published by [MU Extension](#), all rights reserved.

# La herbivoría induce defensas directas e indirectas, local y sistémicamente

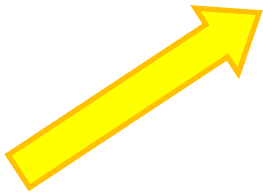
Señales locales y acumulación de hormonas



Inducción de defensas **directas** (ej. Alcaloides y otras toxinas, inhibidores de proteinasas)



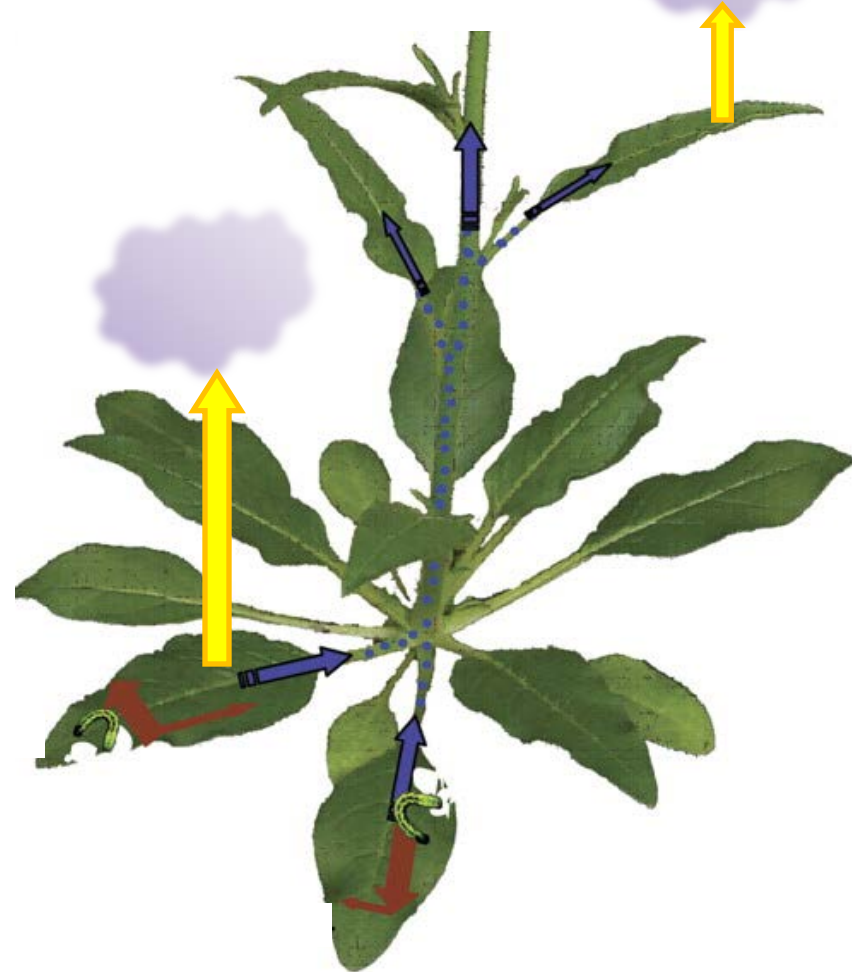
Inducción de VOCs que atraen enemigos naturales de los herbívoros ( defensas **indirectas**)



Señalización a distancia y respuestas sistémicas



Inducción de defensas **directas** (ej. Alcaloides y otras toxinas, inhibidores de proteinasas) aunque más tarde y a veces menos fuertes



Wu, J., Hettenhausen, C., Meldau, S., and Baldwin, I.T. (2007). Herbivory rapidly activates MAPK signaling in attacked and unattacked leaf regions but not between leaves of *Nicotiana attenuata*. *Plant Cell* 19: [1096-1122](https://doi.org/10.1093/pc/19.10.1096).



# Algunos herbívoros pueden suprimir las respuestas de defensas inducidas

*Tetranychus urticae*



*T. urticae* **induce** defensas en tomate pero su fitness en tomate es **moderado**

*Tetranychus evansi*



*T. evansi* **suprime** defensas inducidas en tomate y es una **seria** plaga del tomate

*T. urticae* and *T. evansi* together

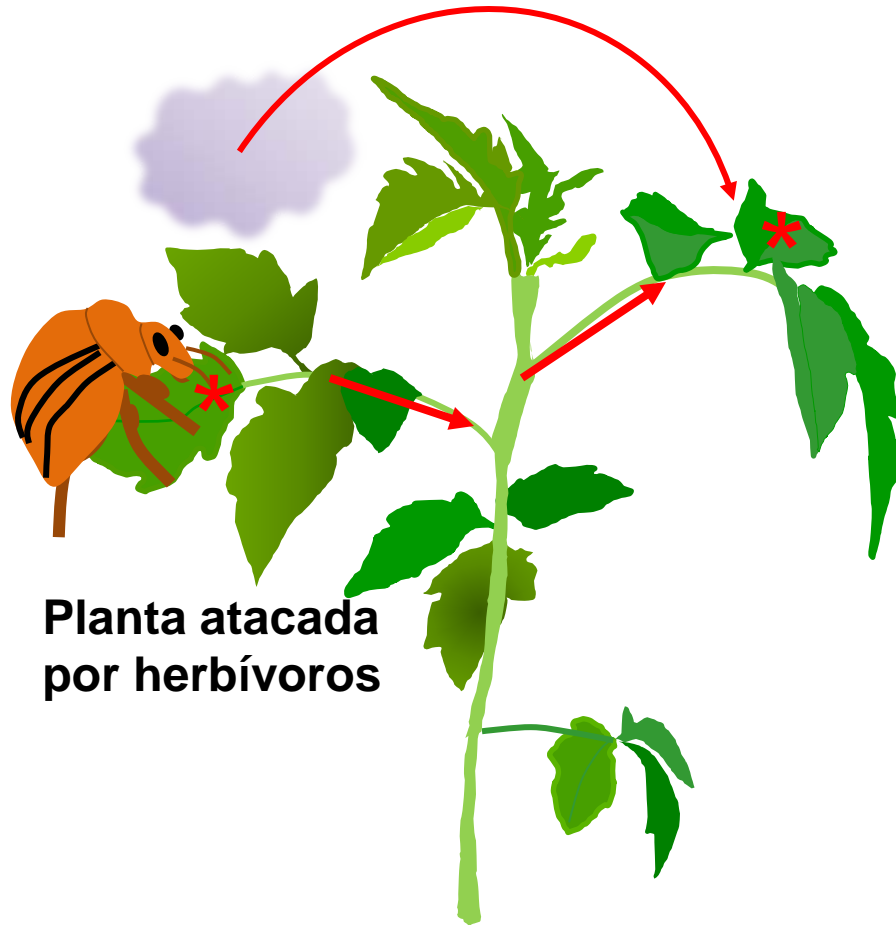


El **fitness** de *T. urticae* se **incrementa** en presencia *T. evansi*

Algunas especies de arañuelas (aunque no todas) suprimen o retrasan las respuestas de defensas

Photo: [Jan van Arkel](#) (IBED; University of Amsterdam)

# Resumen: las defensas son inducidas localmente y algunas sistémicamente

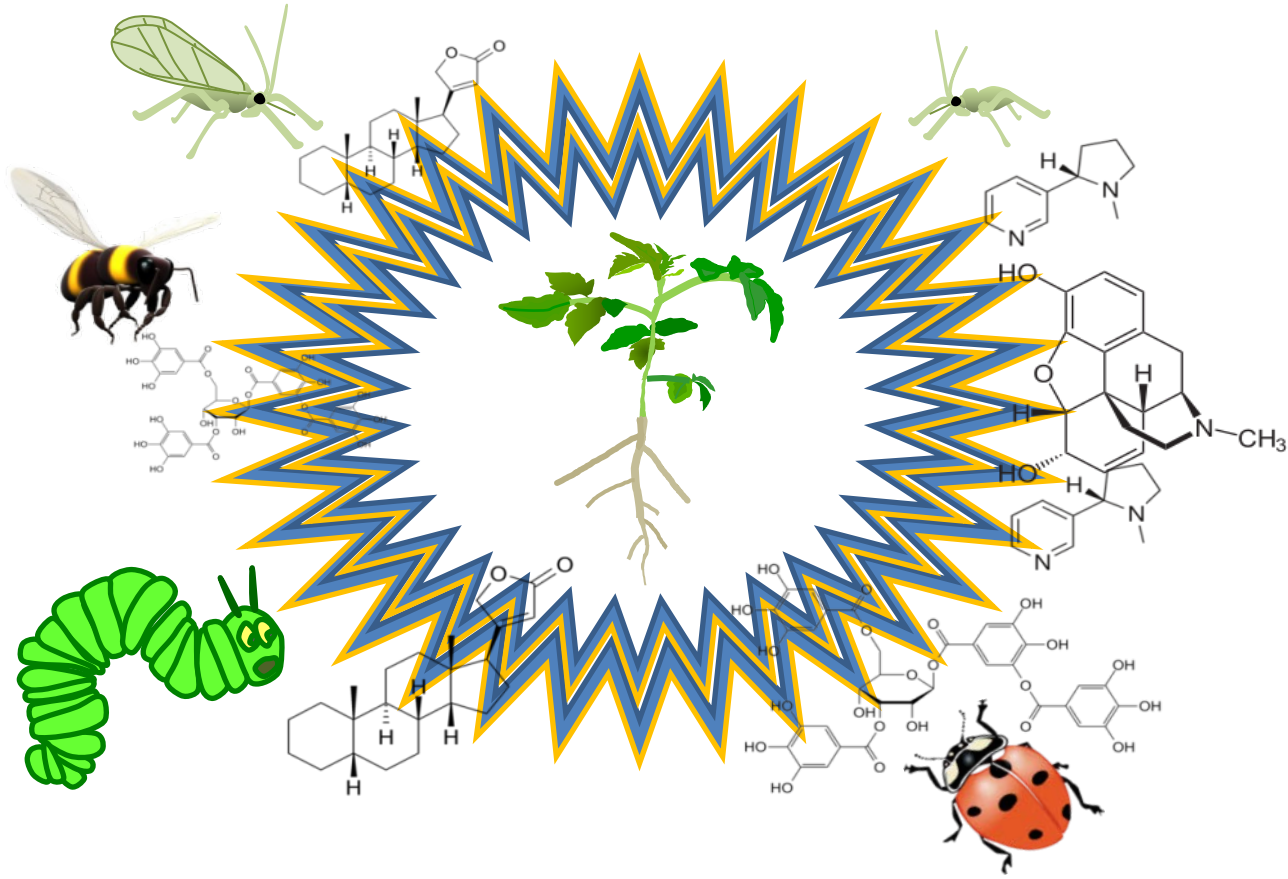


Planta atacada por herbívoros

Las señales sistémicas son moléculas que pueden moverse a través de los tejidos vasculares y están relacionadas con los jasmonatos y salicilatos. También las hormonas volátiles (etileno) y posiblemente sus derivados (metil jasmonato y salicilato de metilo) contribuyen a la respuesta sistémica.

Green, T.R., and Ryan, C.A. (1972). Wound-induced proteinase inhibitor in plant leaves: A possible defense mechanism against insects. *Science* 175: [776-777](#).

# Defensas químicas y medidas anti-herbivoría



- Las plantas producen >100.000 compuestos
- Muchos de estos compuestos poseen funciones de defensa

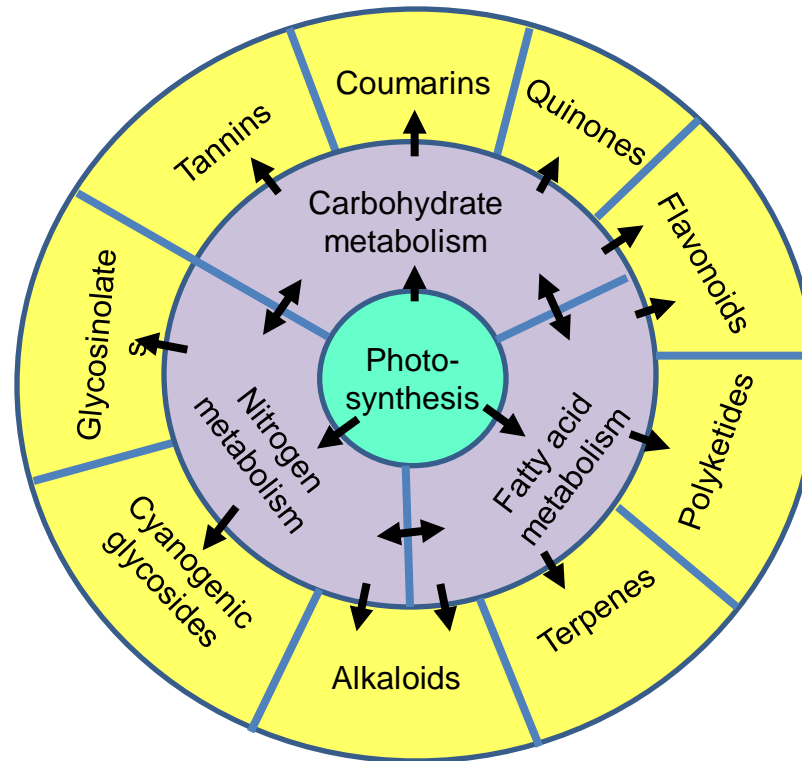
The raison d'être of secondary plant substances "is to repel and attract insects" – Fraenkel 1959



# Varios compuestos de defensas son “metabolitos secundarios”

## Metabolitos primarios:

amino ácidos, azúcares, nucleótidos, lípidos



## Metabolitos Secundarios:

funciones de defensa y atracción, filogenéticamente restrictos

Redrawn from Hartmann, T. (1996). Diversity and variability of plant secondary metabolism: a mechanistic view. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 80: [177-188](#).

# Algunos compuestos secundarios atraen polinizadores, predadores o parasitoides

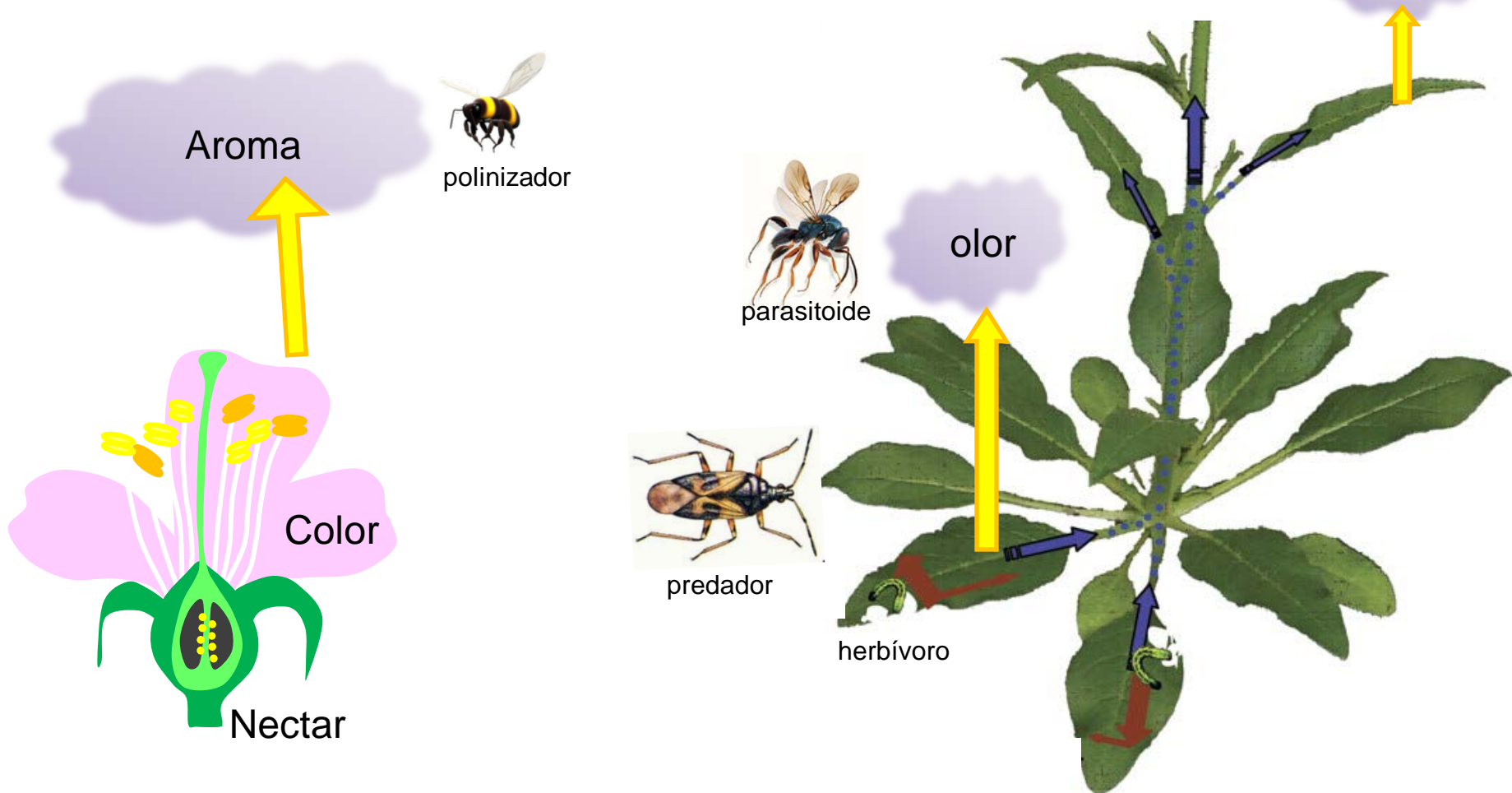
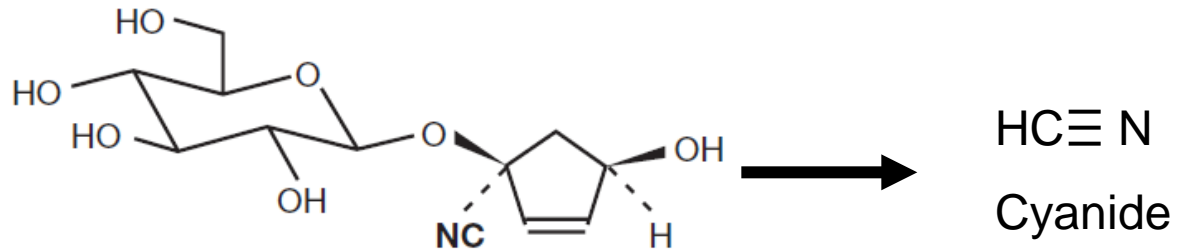


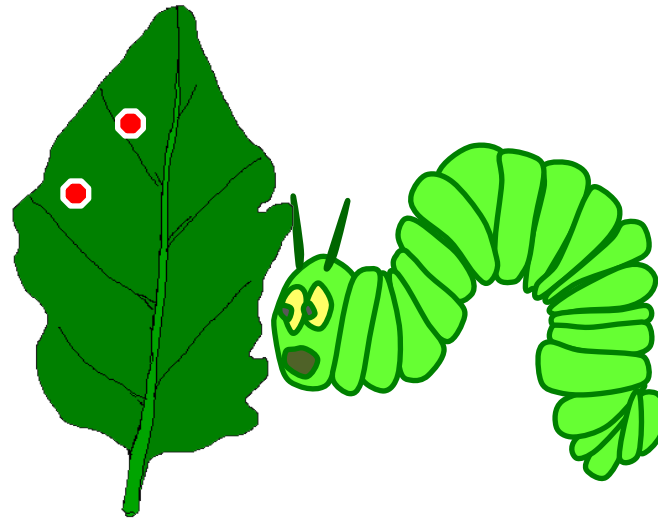
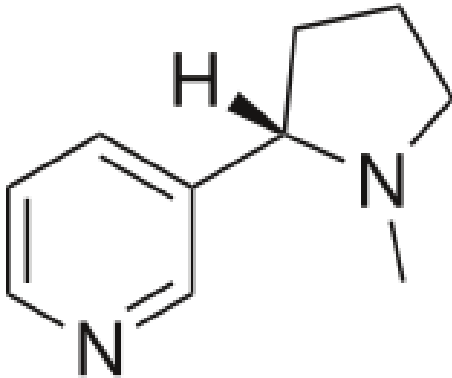
Photo source: [Klaus Bolte](#), Natural Resources Canada Ottawa, Ontario, Canada

# Otros compuestos son tóxicos, o pueden ser convertidos en toxinas o son compuestos anti-nutritivos

Glicósido  
cianogénico



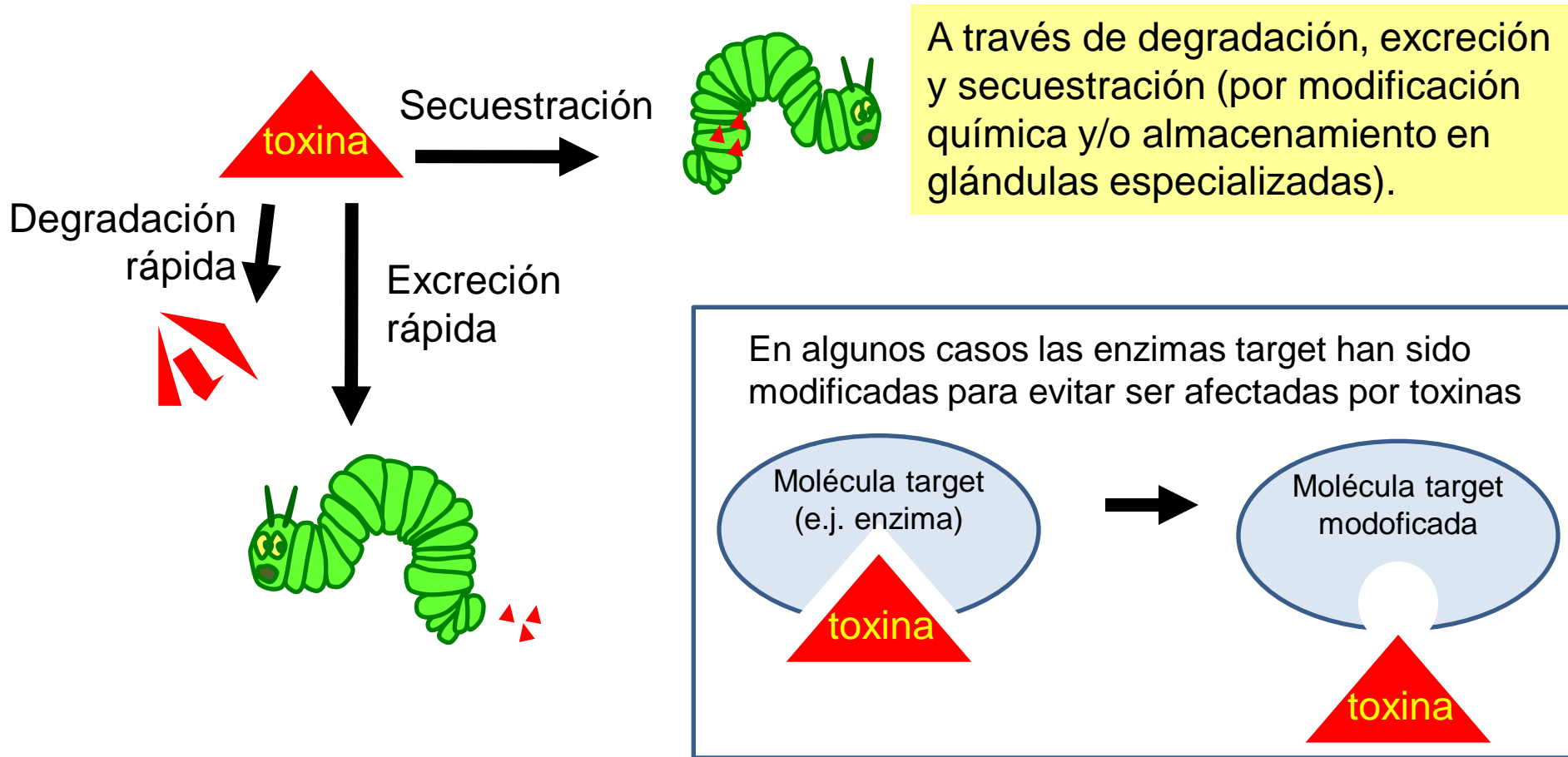
Nicotina (tóxina)



Los compuestos  
antinutritivos interfieren  
en la digestión y  
asimilación de  
nutrientes de los  
herbívoros,  
deteriorando su  
crecimiento, desarrollo  
y reproducción

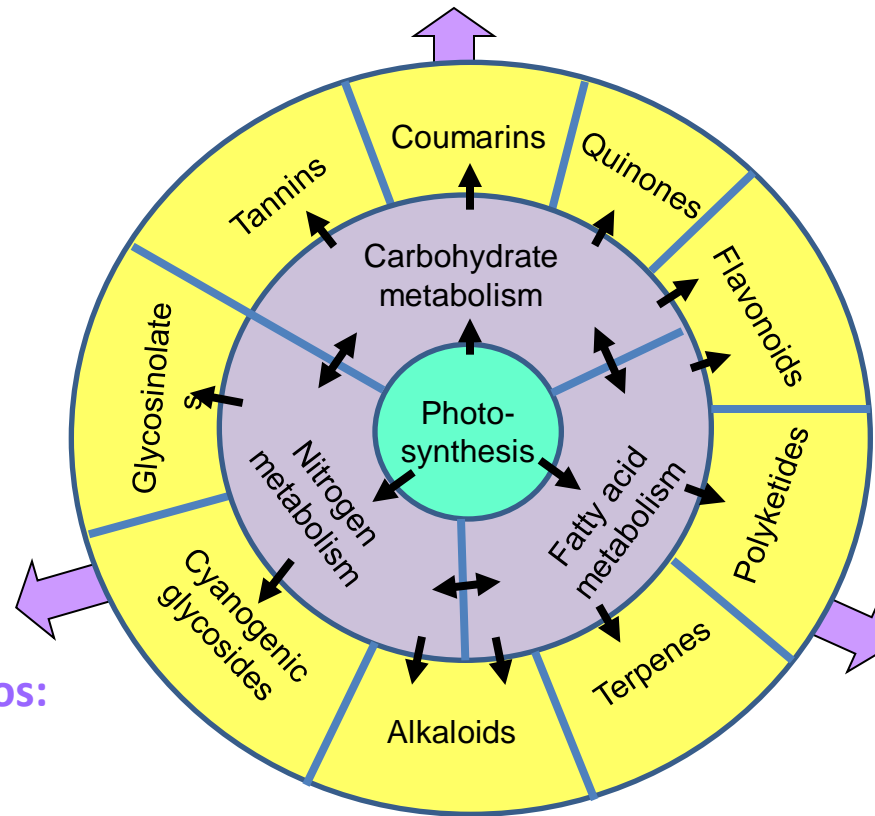


# Algunos herbívoros han evolucionado y pueden tolerar las toxinas de las plantas



# Los metabolitos secundarios pueden ser divididos en tres grandes grupos

**Compuestos fenólicos:** Flavonoides; Ácido salicílico; Ligninas, etc



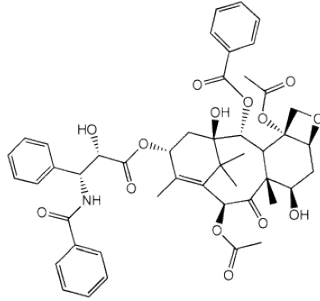
**Compuestos nitrogenados:**  
Alcaloides,  
Glucosinolatos, etc.

**Terpenos:**  
Limoneno,  
Saponinas,  
Pinene, etc.

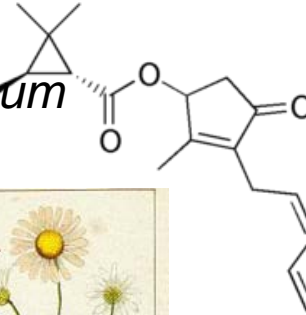
Redrawn from Hartmann, T. (1996). Diversity and variability of plant secondary metabolism: a mechanistic view. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 80: [177-188](#).

# Los compuestos fenólicos y los terpenos son medicinas, insecticidas e irritantes

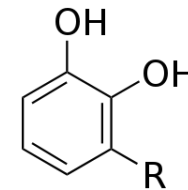
**Taxol**  
de *Taxus*  
*bacata*



**Piretrinas** de  
*Chrysanthemum*



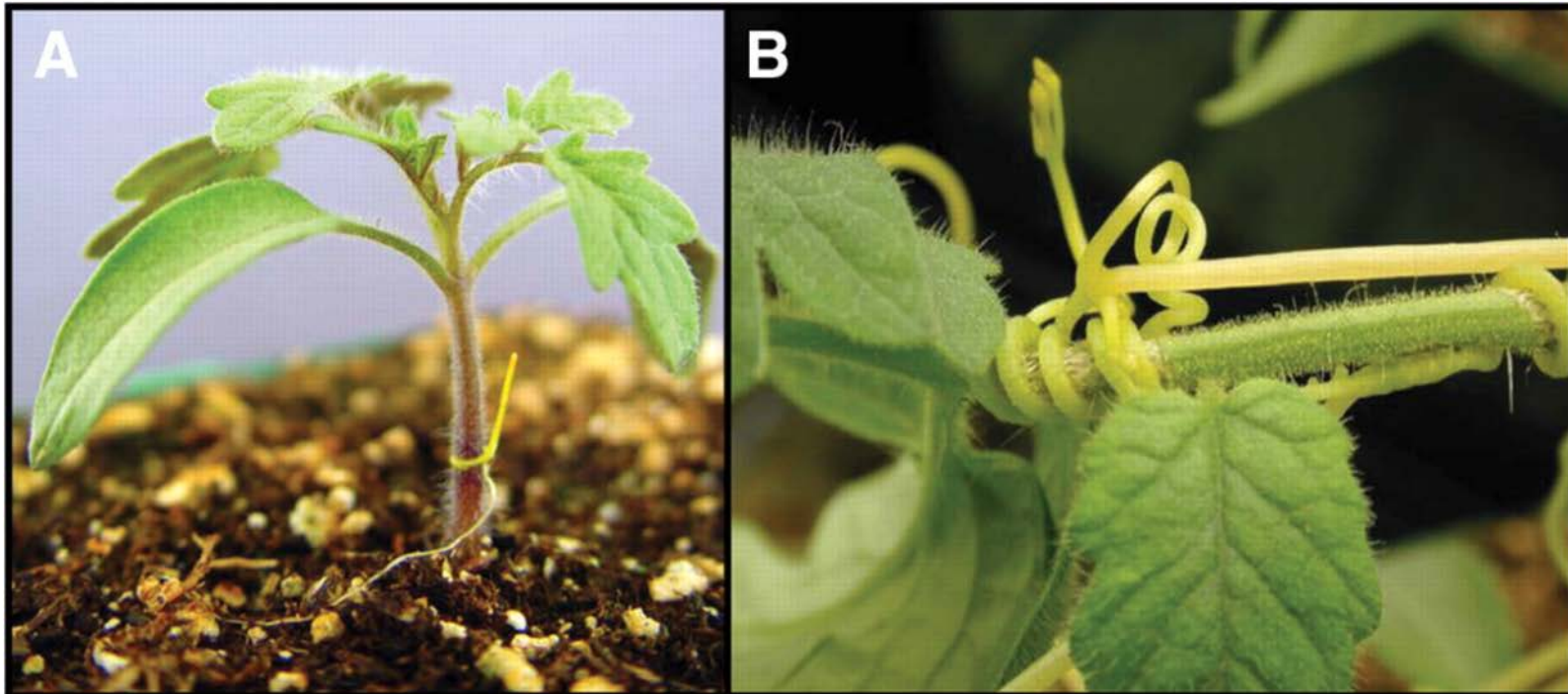
Y por lo menos 10,000 más  
que no han sido caracterizados



**Urushiol**  
de hiedra venenosa

Photo credit: [Dave Powell](#), USDA Forest Service, Bugwood.org

# Las plantas parásitas perciben terpenos volátiles producidos por sus hospedantes ...



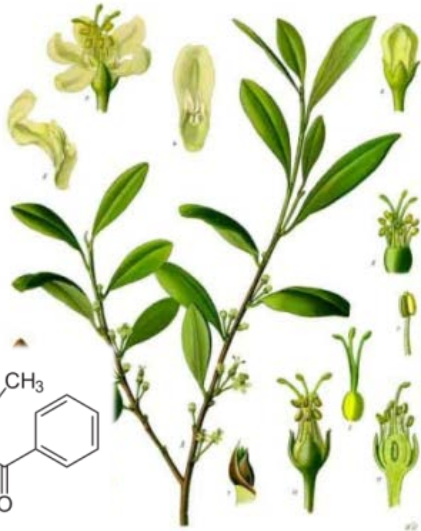
*Cuscuta pentagona* crece hacia las plantas de tomate pero muestra la misma respuesta hacia volátiles colectados de tomates

Runyon, J.B., Mescher, M.C. and De Moraes, C.M. (2006). Volatile chemical cues guide host location and host selection by parasitic plants. *Science*. 313: [1964-1967](#) reprinted by permission from AAAS.

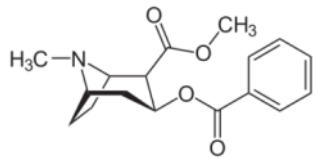


# Los alcaloides contienen N y son estimulantes y narcóticos

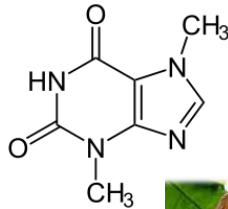
**Coca**



**Cocaína**

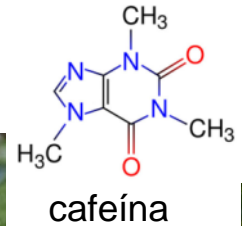


**Teobromina**

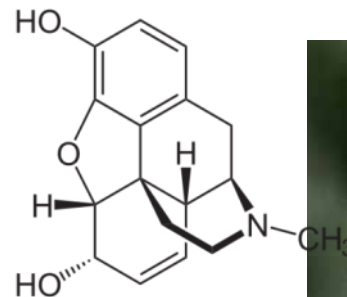


**Cacao**

**Café**



**Tabaco**



**Morfina**

**Opio**



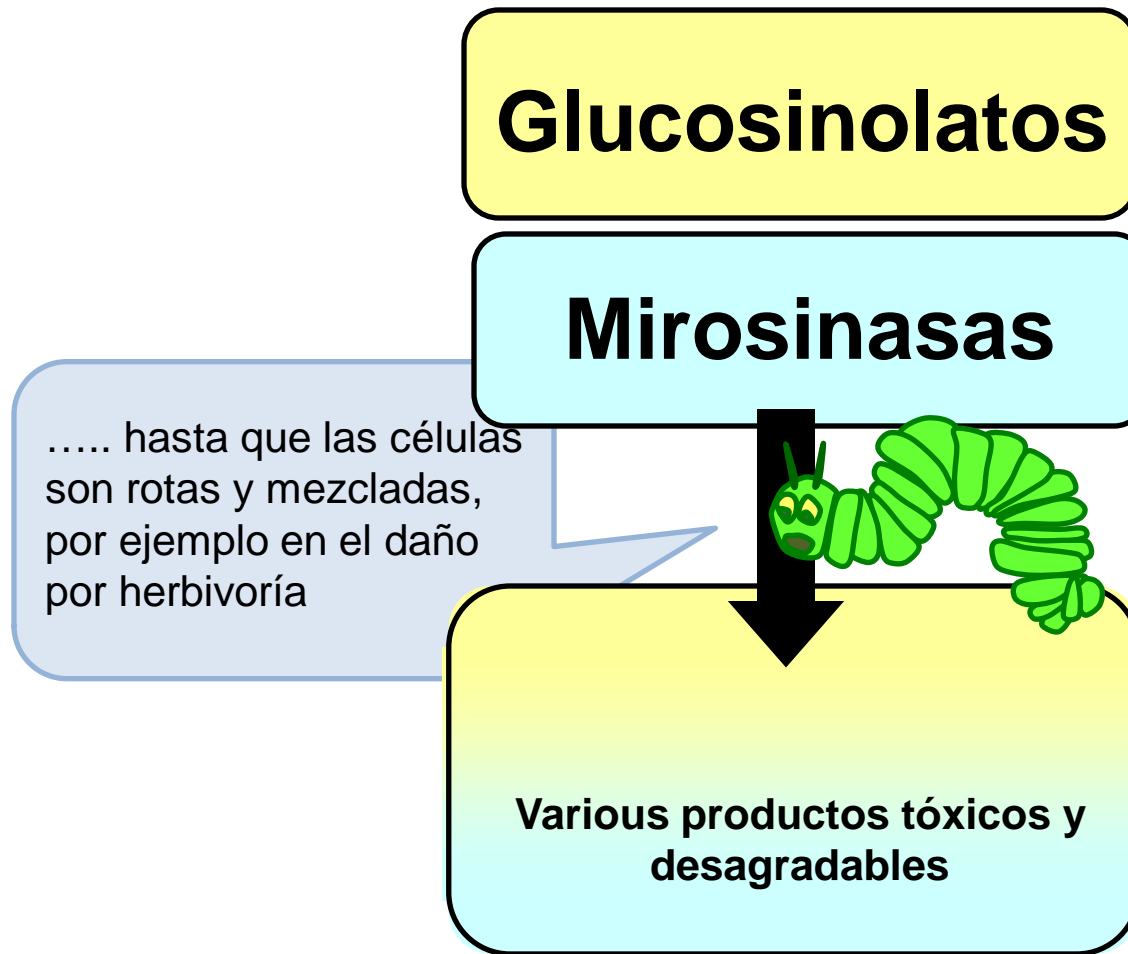




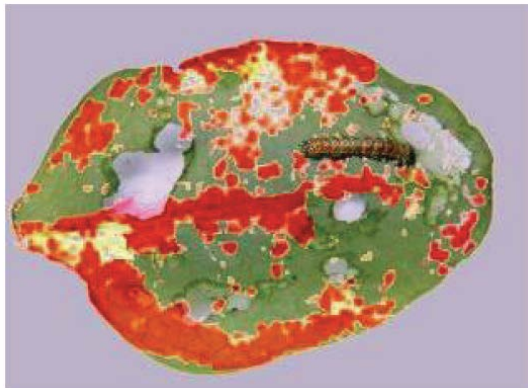
**Los Glucosinolatos son compuestos típicos de la familia de las coles (Brassicaceae)**



# Las mirosinasas y glucosinolatos se almacenan en células vegetales separadas ...



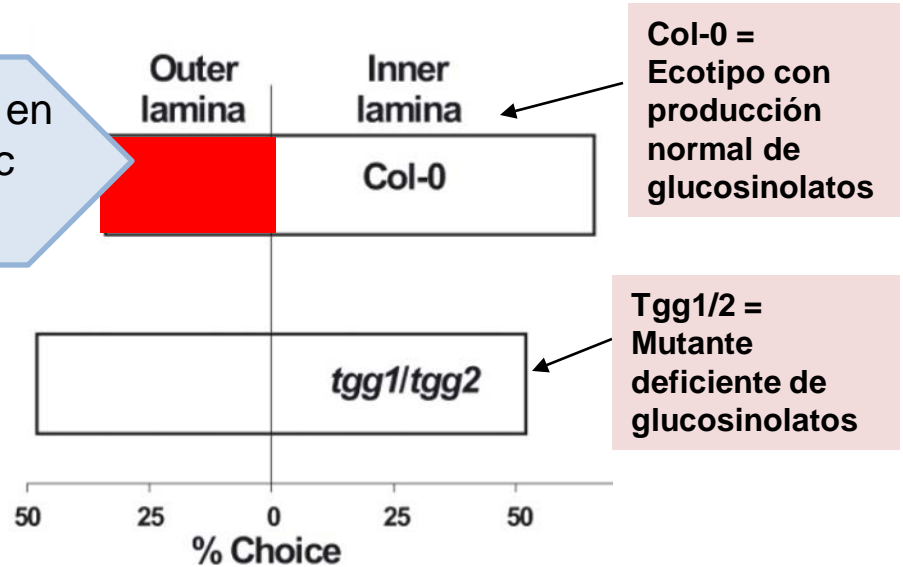
# *Helicoverpa armigera* (gusano algodón) evita los tejidos con altas concentraciones de glucosinolatos



Patrón de acumulación de glucosinolatos

Los glucosinolatos se acumulan en las nervaduras medias y en las partes externas de la hoja. Los gusanos comen el centro de las hojas de plantas normales pero no en las plantas mutantes que no acumulan glucosinolatos.

Menor herbivoría en tejidos con > conc glucosinolatos



Shroff, R., Vergara, F., Muck, A., Svatoš, A. and Gershenzon, J. (2008). Nonuniform distribution of glucosinolates in *Arabidopsis thaliana* leaves has important consequences for plant defense. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 105: [6196-6201](https://doi.org/10.1073/pnas.0710620105).



# La mayoría de los herbívoros evitan comer Brassicaceae pero algunos pueden comerlas

Pulgón verde del duraznero (*Myzus persicae*) alimentandose de repollo

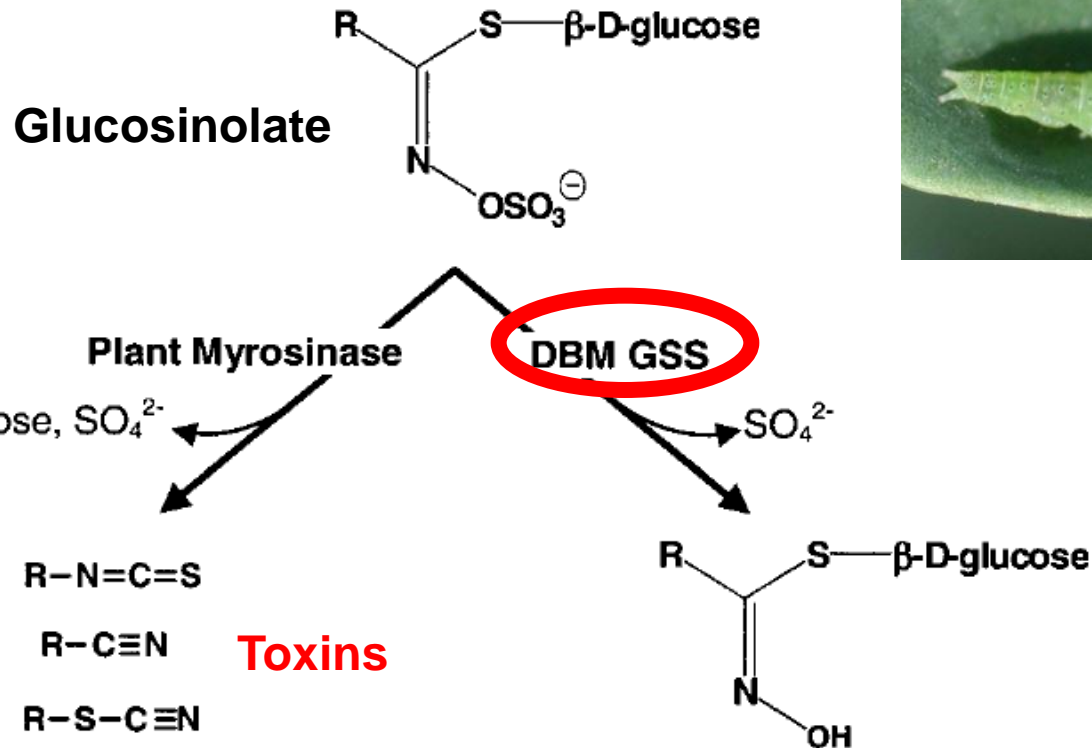


*Trichoplusia ni* alimentandose de crucíferas



Image credits (all Bugwood.org): [Whitney Cranshaw](#), Colorado State University; [David Cappaert](#), Michigan State University; [Keith Naylor](#); [David Cappaert](#), Michigan State University; [David Jones](#), University of Georgia; [David Riley](#), University of Georgia.

# La polilla diamante tiene una enzima que elimina los glucosinolatos

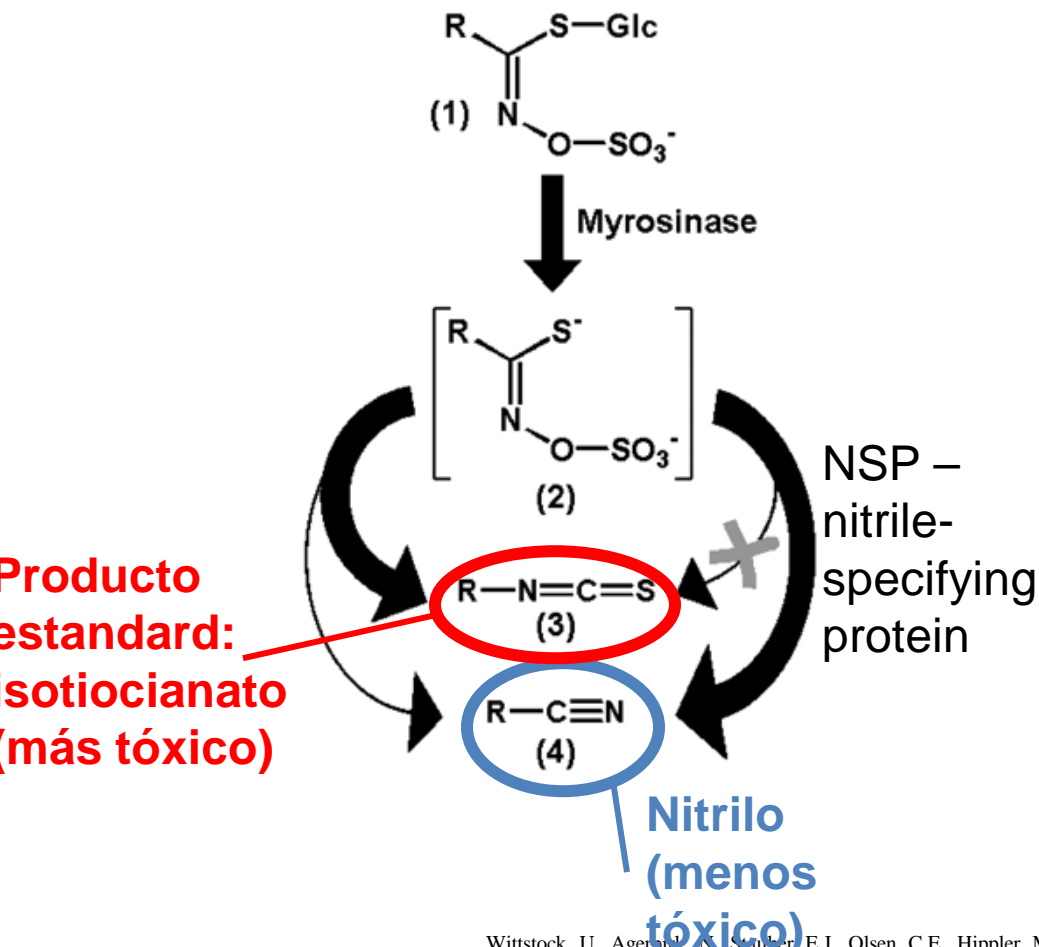


*Plutella xylostella*

La enzima sulfatasa de la polilla de diamante (DBM GSS) elimina el grupo sulfato del glucosinolato de manera que la mirosinasa no lo reconoce nunca más.

Ratzka, A., Vogel, H., Kliebenstein, D.J., Mitchell-Olds, T. and Kroymann, J. (2002). Disarming the mustard oil bomb. Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 99: [11223-11228](#); [Russ Ottens](#), University of Georgia, Bugwood.org

# Las larvas de la mariposa del repollo convierten los glucosinolatos en productos menos tóxicos



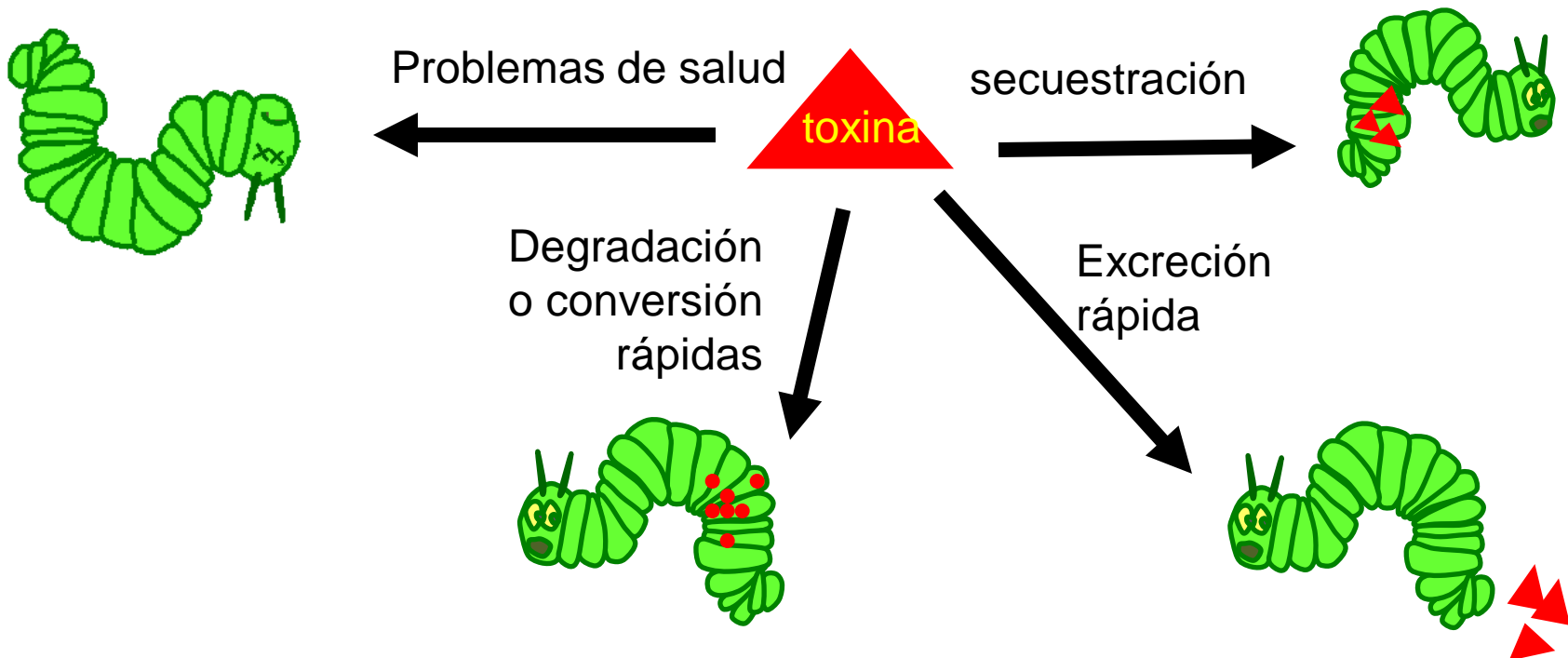
Secuestra los glucosinolatos como protección contra depredadores

adulto



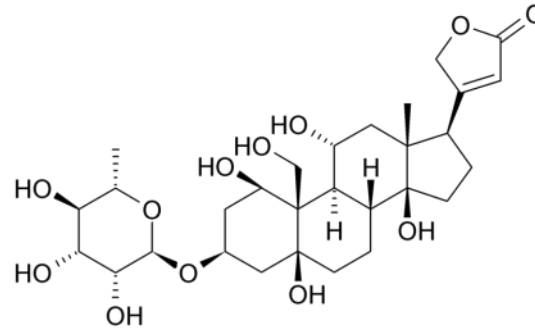
Wittstock, U., Ageronik, A., Stauber, E.J., Olsen, C.E., Hippler, M., Mitchell-Olds, T., Gershenzon, J., and Vogel, H. (2004). Successful herbivore attack due to metabolic diversion of a plant chemical defense. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 101: [4859-4864](#); [David Cappaert](#), Michigan State University, Bugwood.org

# Resumen: la ingesta de metabolitos secundarios de defensa puede ser tóxica pero algunos herbívoros se han adaptado su consumo





# Caso de estudio: algodoncillo y mariposas monarca



El algodoncillo (*Asclepias syriaca*) produce latex que contiene un alcaloide tóxico ouabaína (provoca fallo cardíaco)



La ouabaina se une a las bombas de  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  ATPasa e inhibe su acción

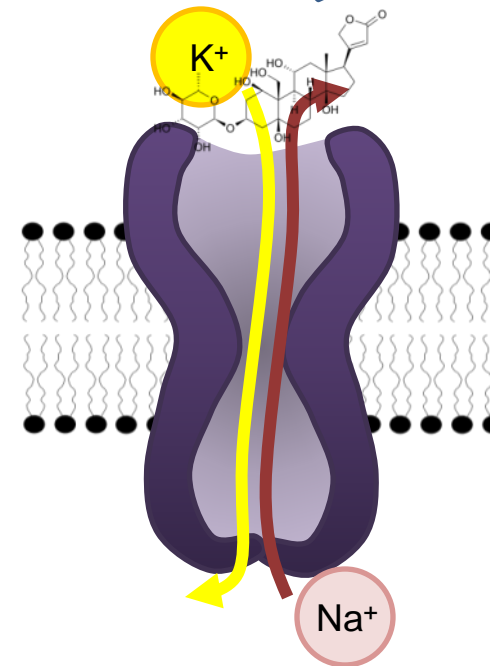
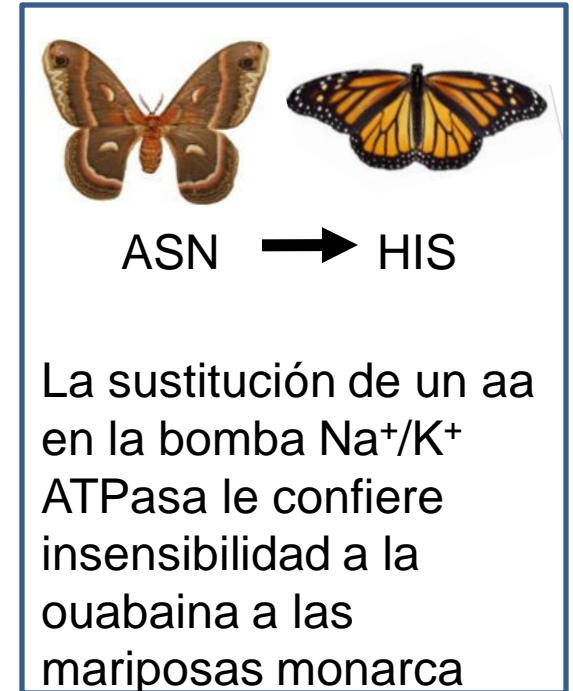
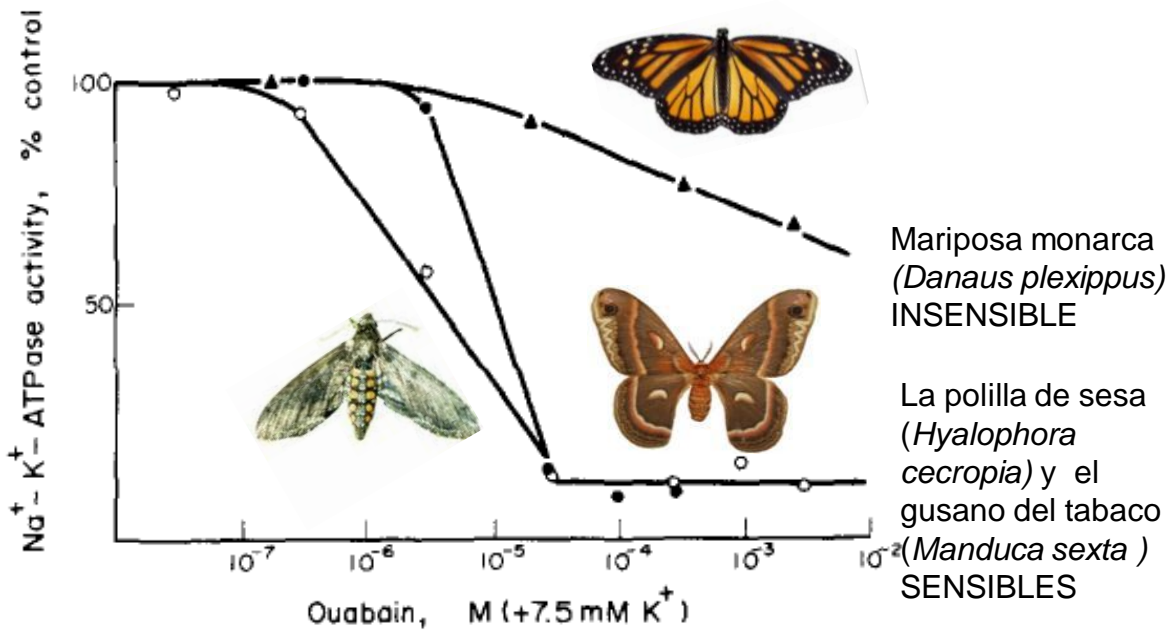


Photo credits: [Kenneth Dwain Harrelson](#), [Steven Katovich](#), USDA Forest Service, Bugwood.org

# Las bombas de $\text{Na}^+/\text{K}^+$ ATPasa de las larvas de la mariposa monarca son insensibles a la ouabaína

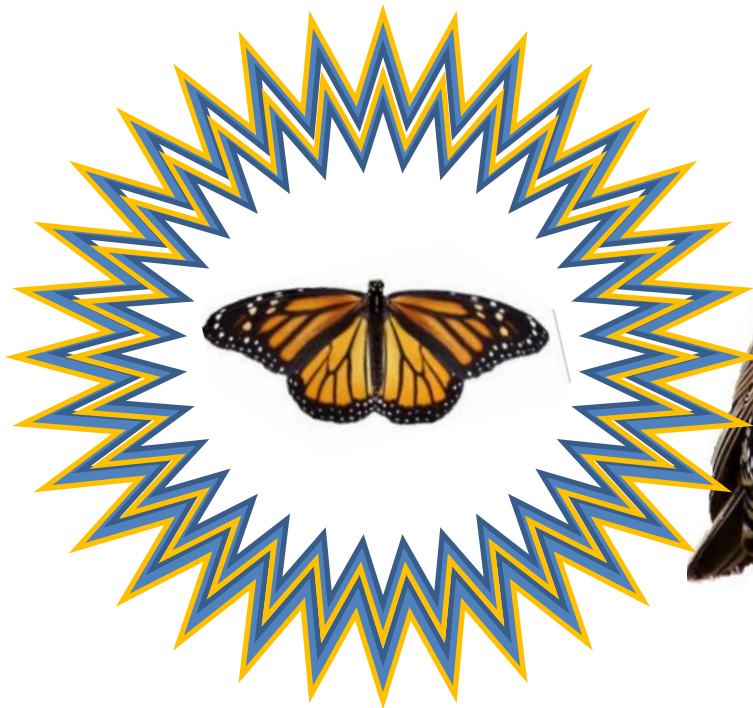


Reprinted from Vaughan, G.L., and Jungreis, A.M. (1977). Insensitivity of lepidopteran tissues to ouabain: Physiological mechanisms for protection from cardiac glycosides. *J. Insect Physiol.* 23: [585-589](#), with permission from Elsevier.

# Las mariposas monarca evitan la predación a través de la acumulación de ouabaina



# Algunas mariposas se mimetizan con los colores de las mariposas monarca para evitar la predación



Mariposa virrey



# Algunos predadores se han vuelto tolerantes a la ouabaina de las mariposas monarcas



# Caso de estudio: mariposa cebra y *Passionaria*



Las mariposas cebra de América del Sur fueron recolectadas y estudiadas ya en el siglo XVII, y proporcionaron la base para ideas sobre mimetismo

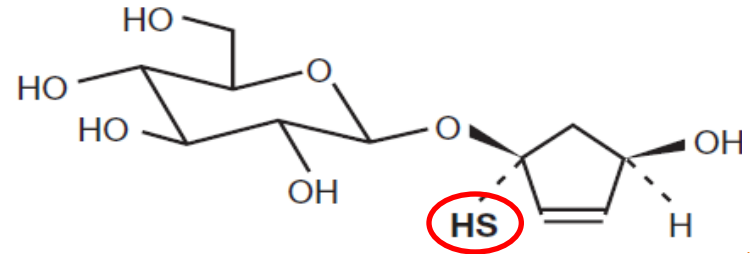
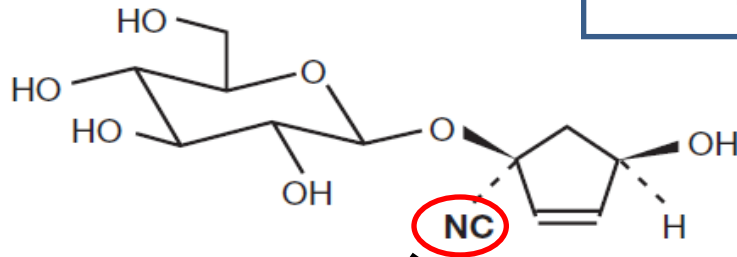


Maria Sybilla Merian 1705; [William M. Ciesla](#), [Patricia M. Ciesla](#), Forest Health Management International, Bugwood.org

# Algunas mariposas cebra detoxifican los glicósidos cianogénicos

**Glicósidos cianogénicos:**  
liberan cianuro cuando se hidrolizan

Reacción de modificación de las mariposas



$\text{HC}\equiv\text{N}$   
**Cianuro**

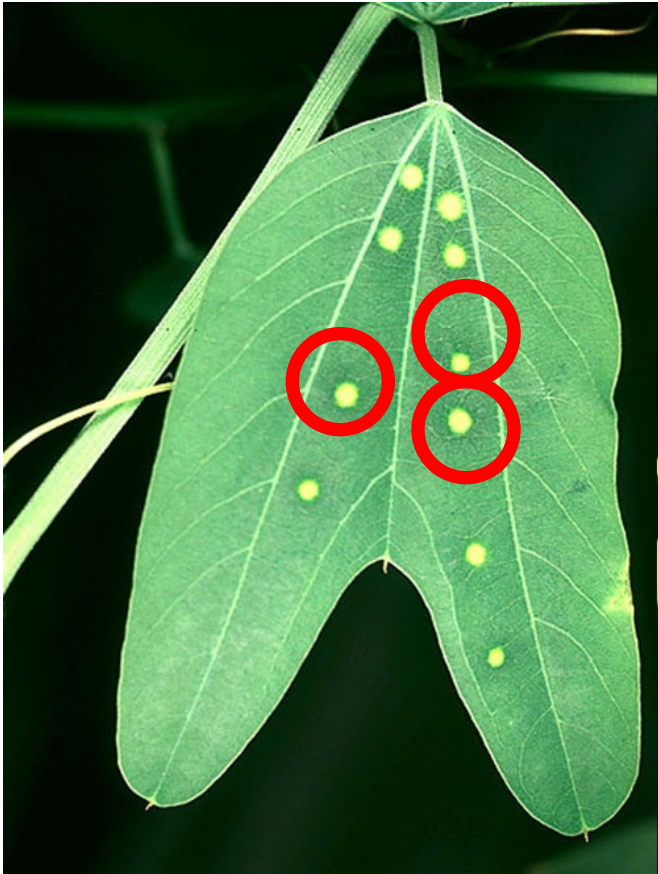


Las larvas de más de 60 especies de mariposas cebra se alimentan de *Passiflora* ya que son tolerantes a varios de sus metabolitos secundarios

Reprinted with permission from Macmillan Publishers Ltd: Engler, H.S., Spencer, K.C., and Gilbert, L.E. (2000) Preventing cyanide release from leaves. *Nature* 406: [144–145](#); Photo credit [Dale Clark](#).



# Las plantas de *Passionaria* producen estructuras falsas que parecen posturas de huevos de mariposas cebras



Las mariposas hembra prefieren poner sus huevos en hojas desocupadas para proteger a sus crías de los caníbales y evitar así las hojas con huevos "falsos"



*Heliconius sara*

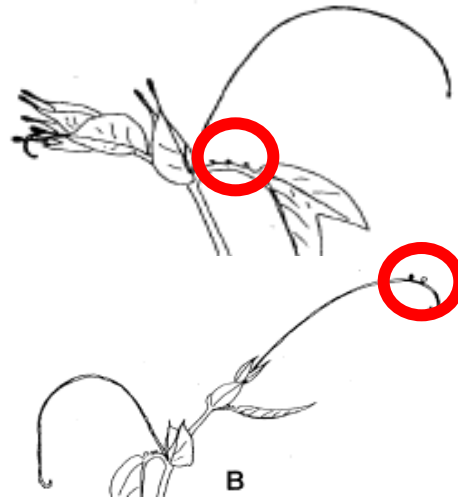


Photo copyright [Missouri Botanic Garden](#); Williams, K.S. and Gilbert, L.E. (1981). Insects as selective agents on plant vegetative morphology: Egg mimicry reduces egg laying by butterflies. *Science*. 212: [467-469](#) reprinted with permission from AAAS; [Jerry A. Payne](#), USDA Agricultural Research Service, Bugwood.org



# Caso de estudio: áfidos y moscas blancas (insectos que se alimentan del floema)



Los insectos que se alimentan del floema son imp plagas de cultivo. Insertan su estilete en el floema, agotando los nutrientes de las plantas y dispersando enfermedades.

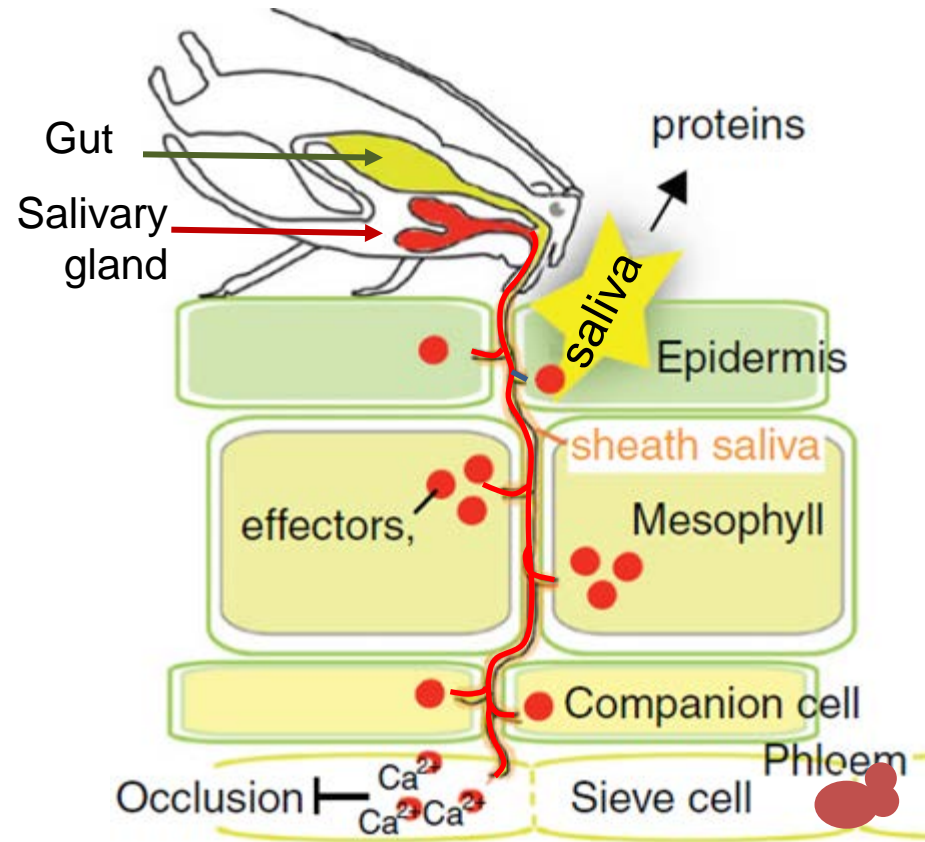
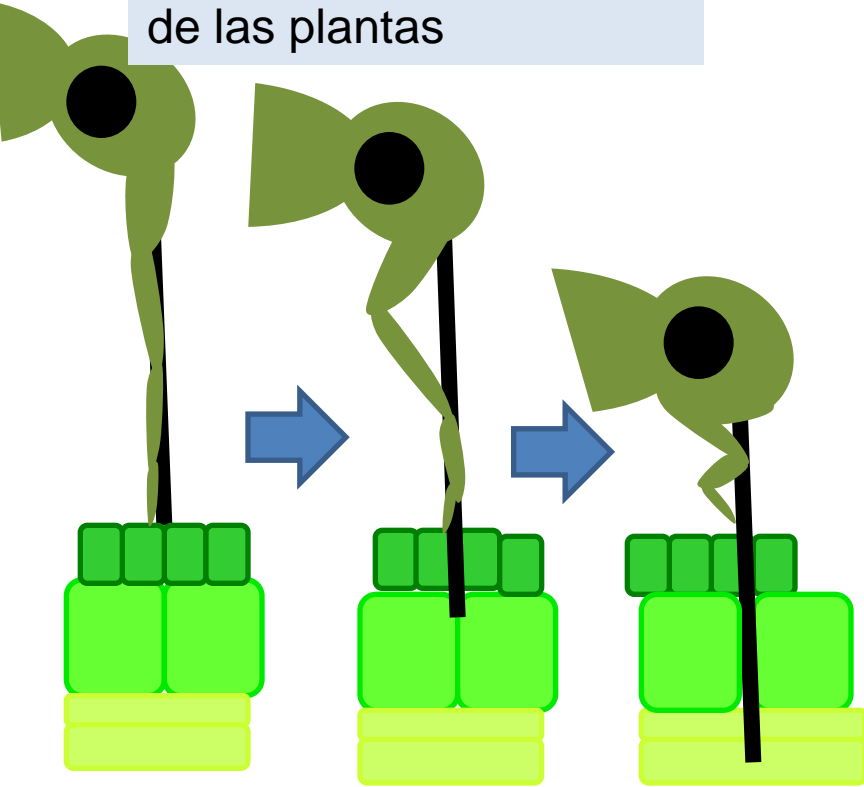


Oídio desarrollándose en los excrementos azucarados

Uzest, M., Gargani, D., Drucker, M., Hébrard, E., Garzo, E., Candresse, T., Fereres, A., and Blanc, S. (2007). A protein key to plant virus transmission at the tip of the insect vector stylet. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 104: [17959-17964](https://doi.org/10.1073/pnas.0609200104).

# La saliva de los áfidos interfiere con la respuesta normal del cierre de heridas

Los áfidos insertan un fino estilete en el floema de las plantas



Normalmente las plantas responden a las heridas taponando los elementos cribosos con calosa, pero los áfidos suprimen esta respuesta

Reprinted from Hogenhout, S.A., and Bos, J.I.B. (2011) Effector proteins that modulate plant–insect interactions. *Curr. Opin. Plant Biol.* 14: [422-428](#) with permission from Elsevier.

# Resumen: interacciones planta - artrópodo



- Síntesis de toxinas y compuestos antinutritivos
- Respuestas de cicatrización de heridas

Las defensas constitutivas, como tricomas venenosos o pegajosos, disuaden a la mayoría de los herbívoros

- La herbivoría estimula la inducción de respuesta de defensas adicionales
- Algunos herbívoros han desarrollado estrategias para contrarrestar las defensas de las plantas



# Alianza#1: Plantas – artrópodos carnívoros o parasitoides

Escarabajo devorando un áfido



*Hyposoter ebeninus* atacando larvas de *Pieris rapae*



Larvas parasitoides



Chinche pirata comiendo un áfido



Arañuela herbívoro y arañuela predador (y sus huevos)

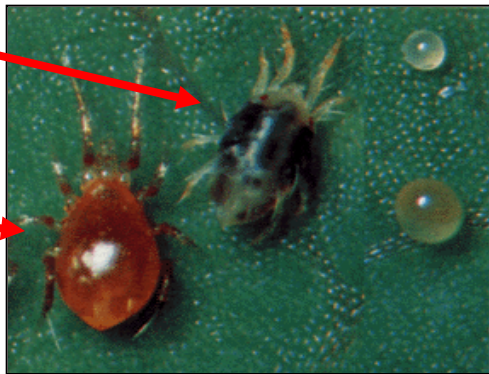


Photo: [T. Bukovinsky / www.bugsinthepicture.com](http://www.bugsinthepicture.com); Thailand IPM; R.J. Reynolds Tobacco Company Slide Set, [Bradley Higbee](http://Bradley Higbee), Paramount Farming; Bugworld.org; [Scott Bauer](http://Scott Bauer), USDA

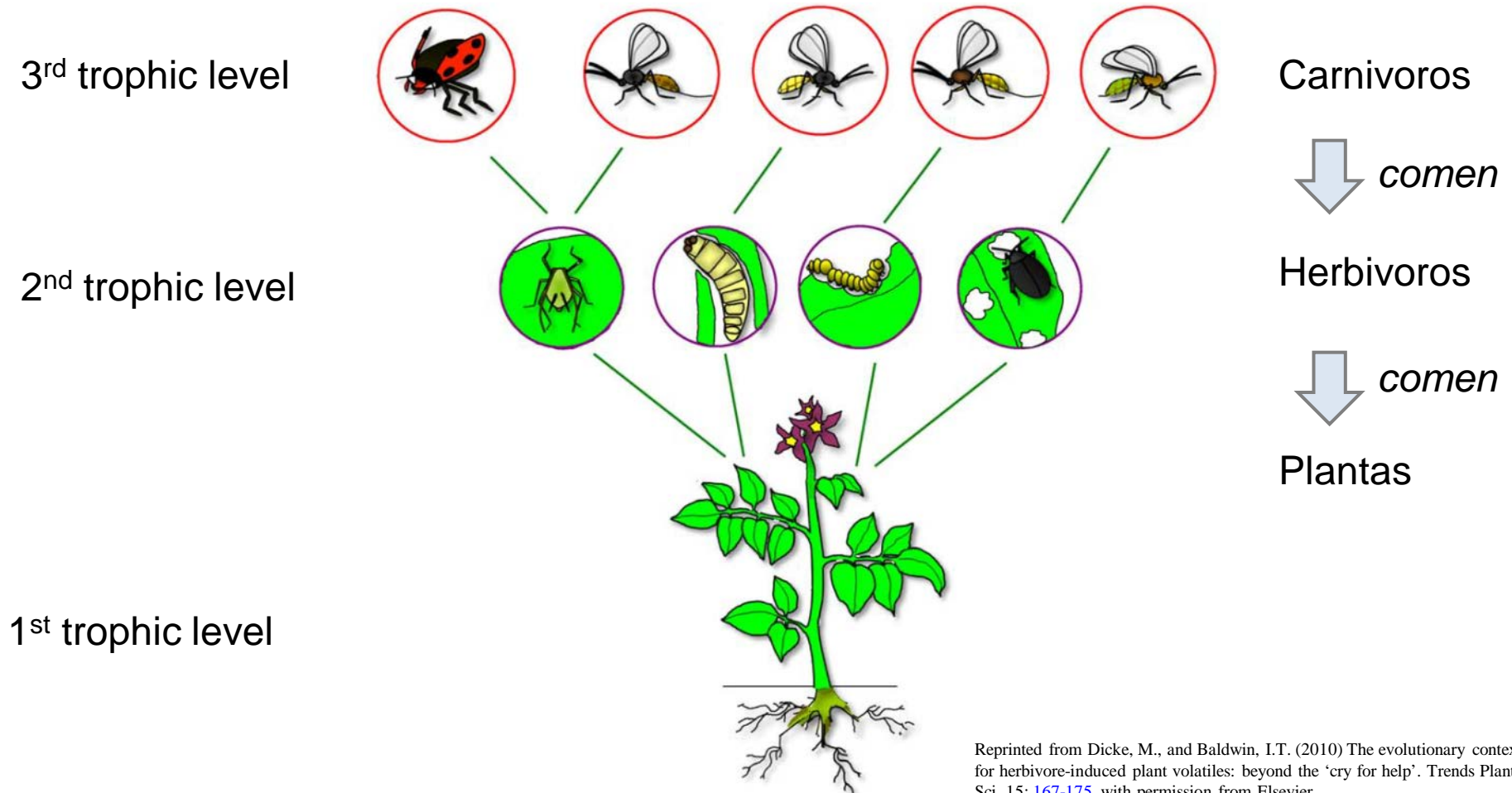


# Las plantas atraen a los enemigos naturales de los herbívoros a través de señales volátiles



Photo credit: [Ted Turlings](#)

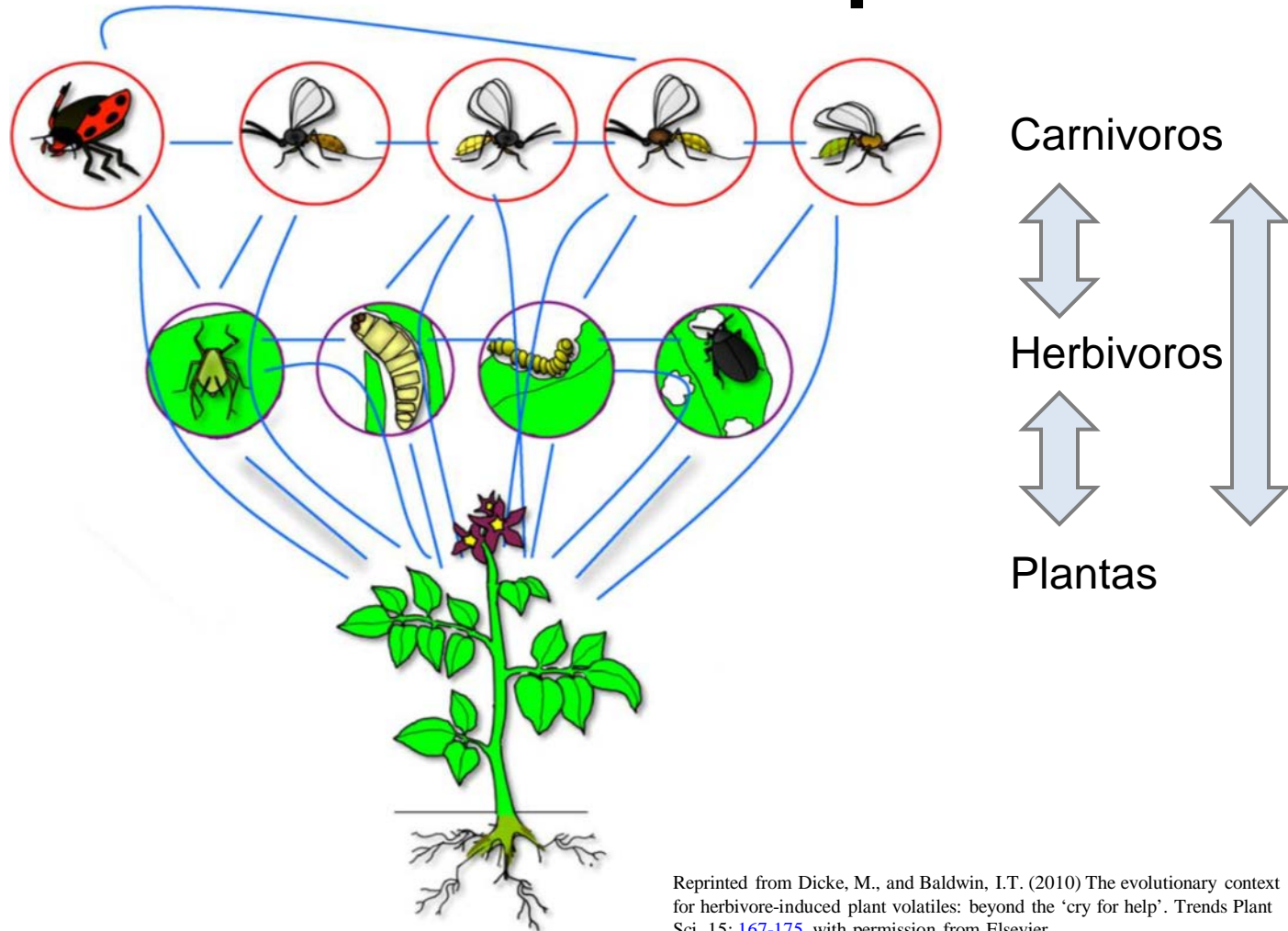
# Interacciones tritróficas involucran tres niveles de la cadena alimentaria



Reprinted from Dicke, M., and Baldwin, I.T. (2010) The evolutionary context for herbivore-induced plant volatiles: beyond the 'cry for help'. Trends Plant Sci. 15: [167-175](#), with permission from Elsevier.

# Los tres niveles tróficos se comunican entre si a través de señales químicas

Compuestos volátiles emitidos por plantas atacadas por herbívoros pueden atraer o repeler insectos carnívoros y otros herbívoros. Además, otras plantas también pueden percibir esta información

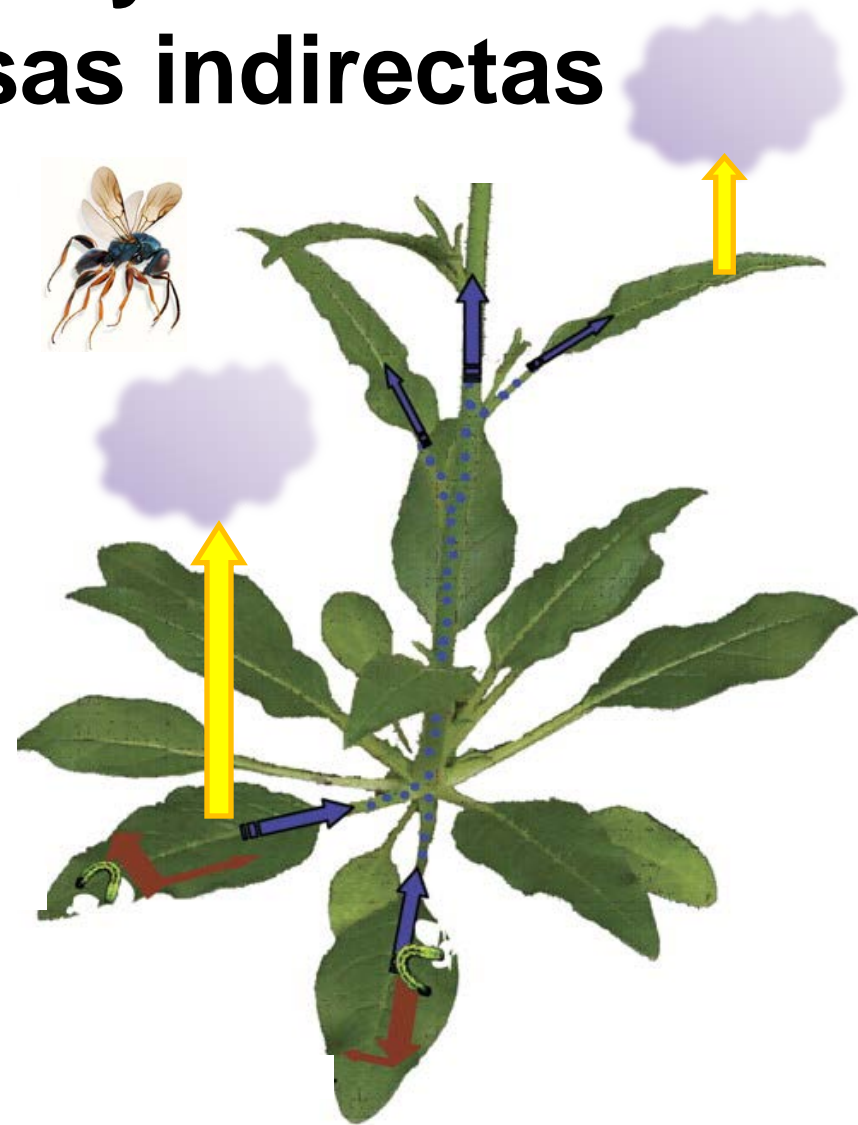


Reprinted from Dicke, M., and Baldwin, I.T. (2010) The evolutionary context for herbivore-induced plant volatiles: beyond the 'cry for help'. Trends Plant Sci. 15: [167-175](#), with permission from Elsevier.

# Los VOCs contribuyen a la inducción de defensas indirectas

La mayoría de los enemigos naturales de los artrópodos usan una combinación de señales visuales y olfativas para rastrear su presa o su hospedero.

Cuando las plantas facilitan la búsqueda de presas por parte de enemigos naturales, por ejemplo a través de la liberación de olores inducidos por el ataque de herbívoros, esto se conoce como inducción de defensas indirectas.





# Algunos VOCs pueden ser defensas indirectas

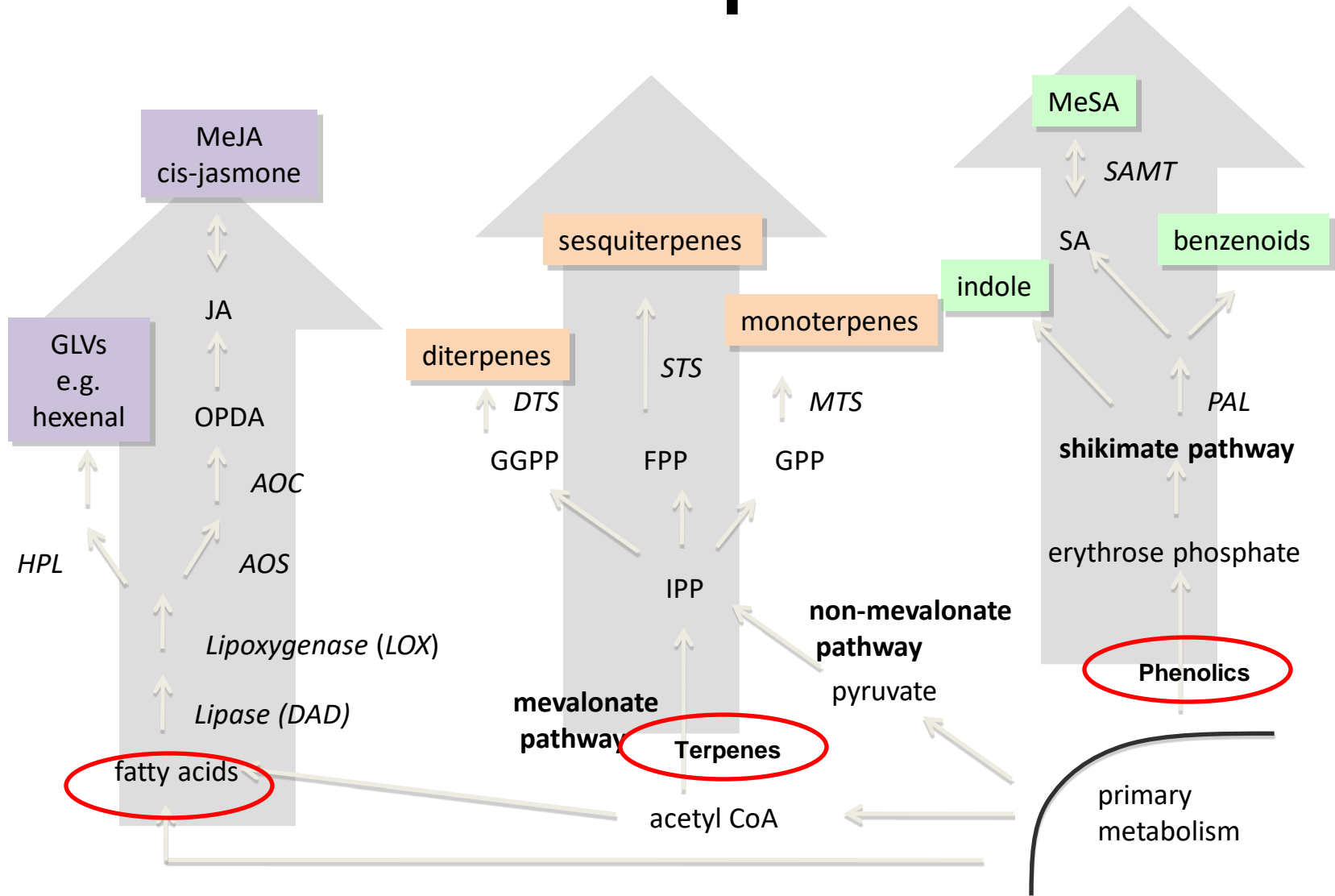


Las plantas producen muchos compuestos volátiles - algunos de ellos son inducidos por el ataque de herbívoros que contribuyen al establecimiento de defensas indirectas.

El volumen de aire arbitrario que rodea una planta que llamamos «head space» de la planta.

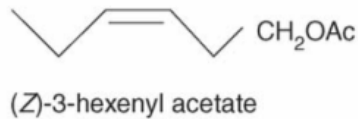
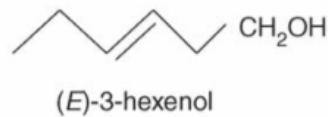
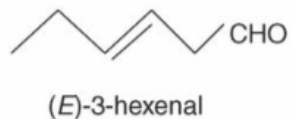
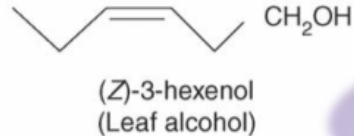
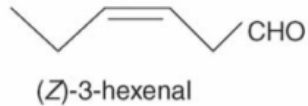
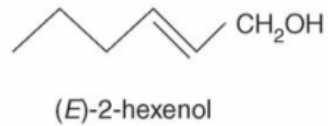
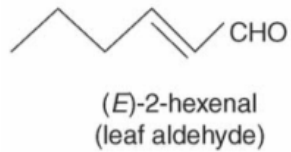
Photo: [Merijn R. Kant](#)

# VOCs inducidos por herbivoría



Kant, M.R., Bleeker, P.M., Van Wijk, M., Schuurink, R.C., Haring, M.A. (2009). Plant volatiles in defence. *Adv. Bot. Res.* 51: [613-666](#).

# Green leaf volatiles son liberados rápidamente en tejidos dañados



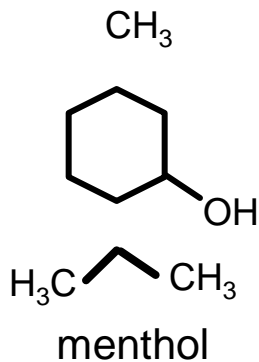
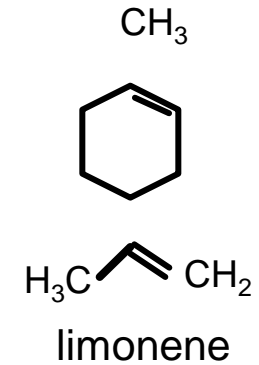
Current Opinion in Plant Biology

Green leaf volatiles (GLV) son liberados de los tejidos heridos (olor de la hierba cortada) y transmiten información.

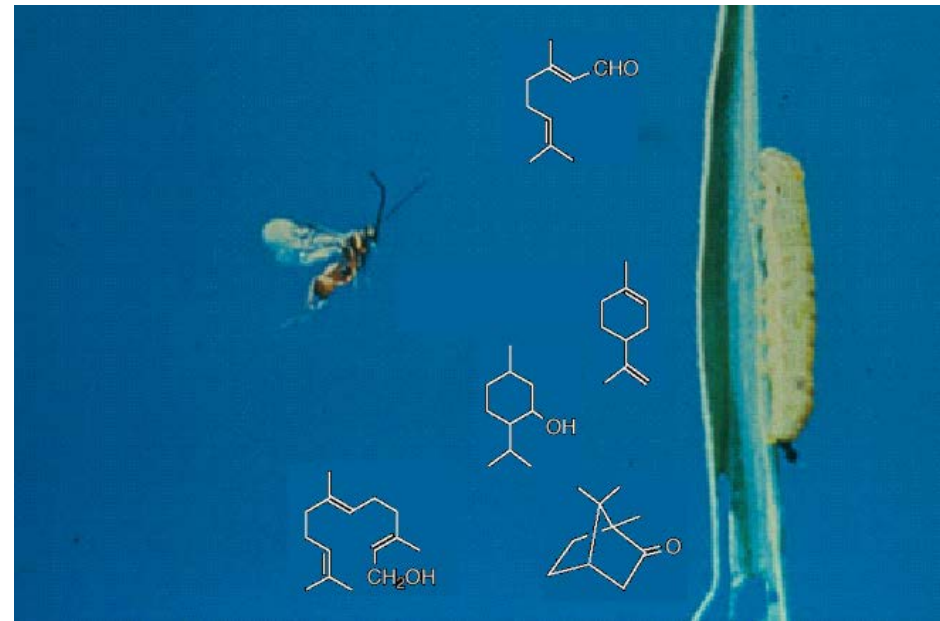


Reprinted from Matsui, K. (2006). Green leaf volatiles: hydroperoxide lyase pathway of oxylipin metabolism. *Curr. Opin. Plant Biol.* 9: [274-280](#), with permission from Elsevier.

# Los terpenos que son inducidos por herbivoría, generalmente atraen predadores de herbivoros



Terpenos constitutivos



Terpenos inducidos por herbivoría

Photo credit: [Ted Turlings](#)



# Las poblaciones de ácaros crecen rápidamente y destruyen las plantas: su enemigo natural es ciego y emplea olores de plantas para encontrarlos

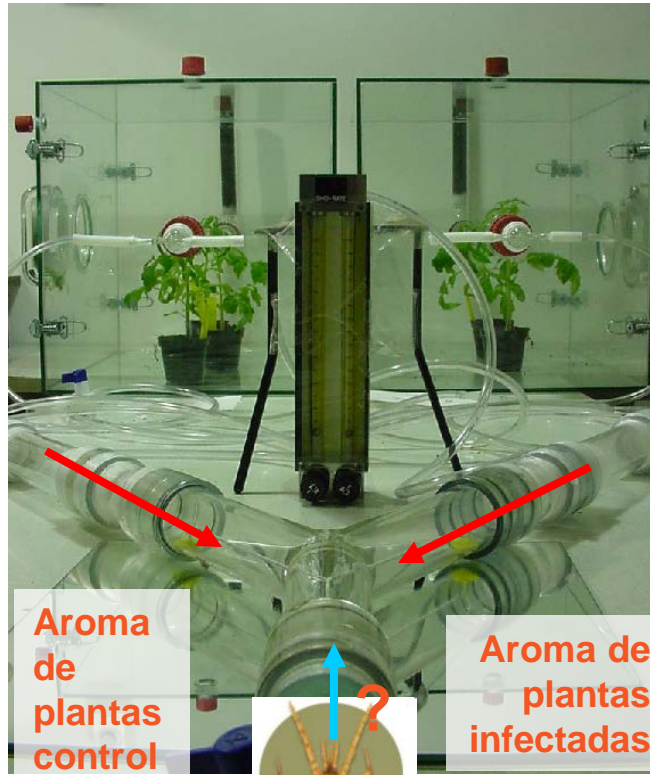


*Tetranychus urticae*  
atacada por su  
enemigo natural, la  
arañuela predatora  
*Phytoseiulus persimilis*

Spider mite  
(0.5 mm)

Photo credits: [Bill Bumgarner](#)

# Cuantificación del efecto de volátiles sobre el comportamiento de herbívoros – el olfatometro

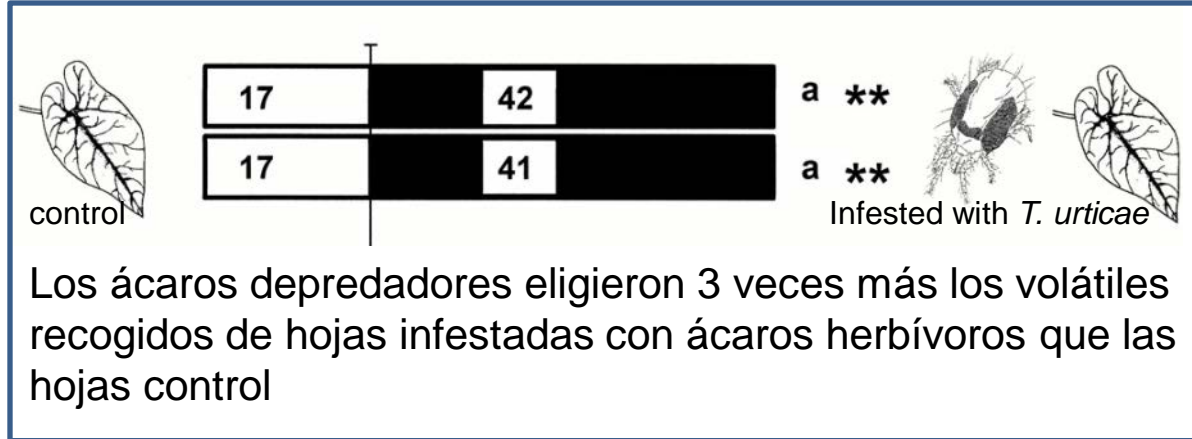


Aroma de plantas control

Aroma de plantas infectadas



Hungry predator that has to choose



Los ácaros depredadores eligieron 3 veces más los volátiles recogidos de hojas infestadas con ácaros herbívoros que las hojas control

Usando un tubo en forma de Y, el artrópodo tiene la opción de elegir entre dos muestras volátiles. Se determina la frecuencia con que cada uno es elegido



*Phytoseiulus persimilis* es predador de *T. urticae*

Dicke, M., van Loon, J.J.A. and Soler, R. (2009). Chemical complexity of volatiles from plants induced by multiple attack. *Nat Chem Biol.* 5: 317-324; Shimoda, T. and Dicke, M. (2000). Attraction of a predator to chemical information related to nonprey: when can it be adaptive? *Behavioral Ecology.* 11: 606-613, by permission of Oxford University Press; Photo credit : Merijn R. Kant.



# Los compuestos volátiles inducidos por herbivoría pueden atraer también artrópodos parasitoides



Photo: Tibor Bukovinszky

Avispas parasitoides ponen sus huevos en otros artrópodos. Cuando las larvas eclosionan se alimentan del hospedante ...

Photo: [T. Bukovinszky](http://T.Bukovinszky) / [www.bugsinthepicture.com](http://www.bugsinthepicture.com)

# La hidrólisis de glucosinolatos puede generar compuestos volátiles que atraen parasitoides



Nitrilos simples ( $R-C \equiv N$ )



Hidrólisis de glucosinolatos por el ataque de *P. rapae*

La avispa parasitoide *Cotesia rubecula* se siente atraída por plantas que producen nitrilos mientras que las mariposas *Pieris rapae* evitan la oviposición en estas plantas cuando pueden escoger. Sin embargo, las larvas de *P. rapae* no les importan estos nitrilos.

Photo credit: [Hans van Pelt](#)



# Algunas plantas forman alianzas a largo plazo con "guardaespaldas" que residen en ellas

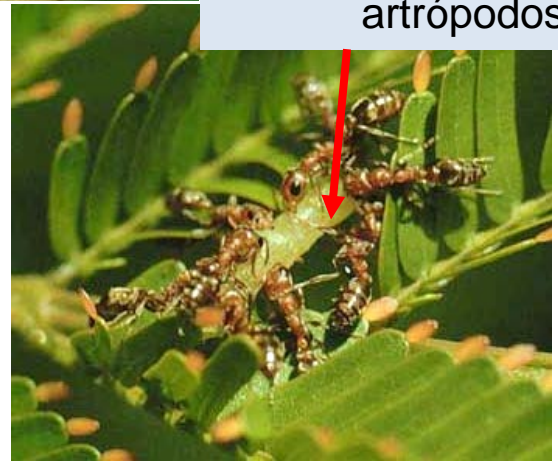
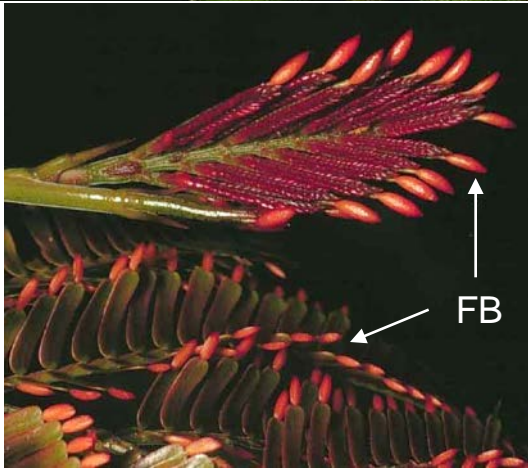
Las acacias proporcionan a las hormigas refugio y alimento de los nectarios extraflorales (EFN) y de los cuerpos alimentarios (FB),



Las hormigas protegen las acacias de otras plantas y otros artrópodos.



Las espinas proveen refugio, llamado domatia



Photos courtesy of [Dan Janzen](#), University of Pennsylvania

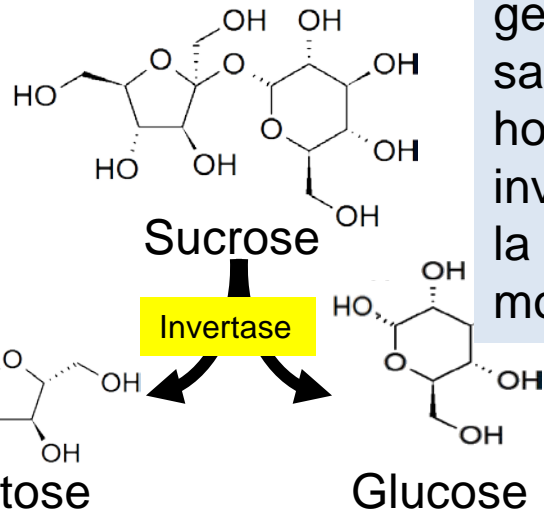
# El néctar de las mirmecófitas es optimizado para sus socias: las hormigas

Existen > 100 especies de plantas mirmecófitas

El néctar generalmente contiene sacarosa. Las hormigas poseen una invertasa que hidroliza la sacarosa a monosacáridos



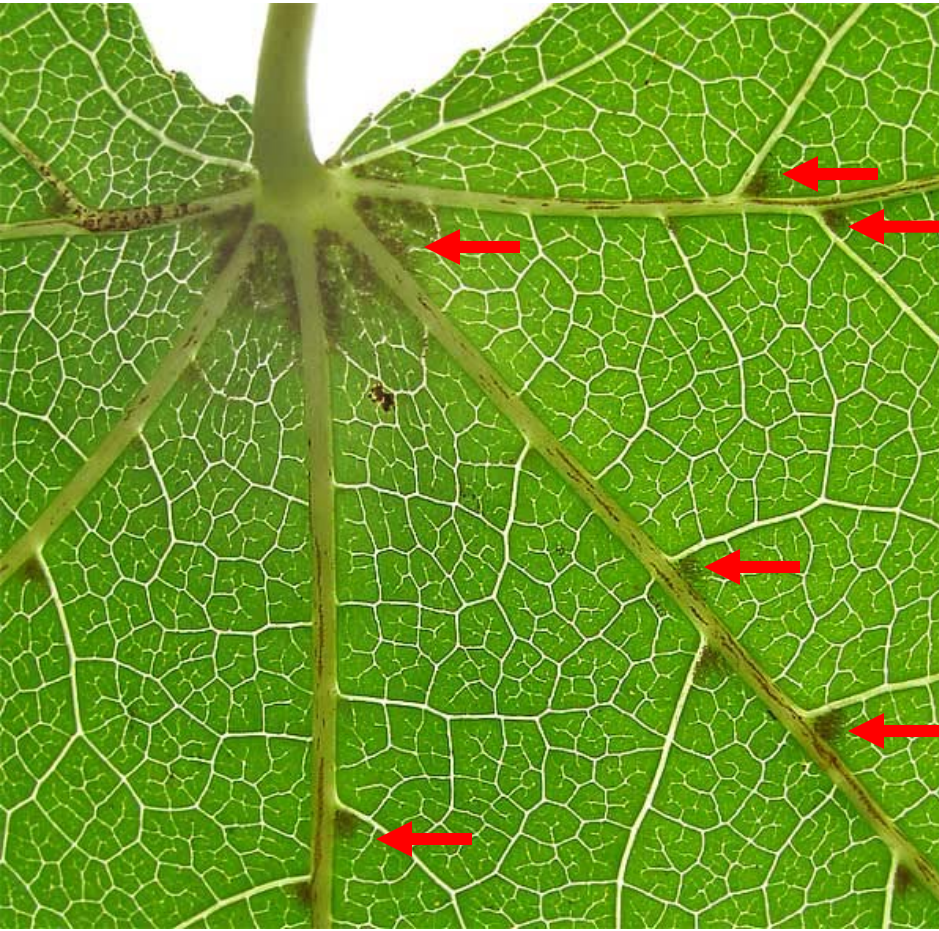
Las hormigas *Pseudomyrmex* que viven en asociación con Acacias no poseen esta enzima. El néctar de estas plantas posee glucosa y fructosa pero no sacarosa



Heil, M., Rattke, J., and Boland, W. (2005). Postsecretory Hydrolysis of Nectar Sucrose and Specialization in Ant/Plant Mutualism. *Science* 308: [560-563](#).



# Otras plantas poseen otro tipo de domatia que provee refugio a artrópodos predadores



Los domatia pueden ser simples o complejos, pero al proporcionar una vivienda para los artrópodos depredadores las plantas pueden protegerse de la herbivoría



Photo courtesy [Jim Conrad](#): Matos, C.H.C., Pallini, A., Chaves, F.F. and Galbiati, C. (2004). Do coffee domatia benefit the predatory mite *Iphiseiodes zuluagai* Denmark & Muma (Acari: Phytoseiidae)? *Neotropical Entomology*. 33: [57-63](#).

# Alianzas antiherbivoría de las plantas con artrópodos predadores y parasitoides



Los VOCs de las plantas actúan como defensas directas cuando son tóxicos o cuando repelen herbívoros

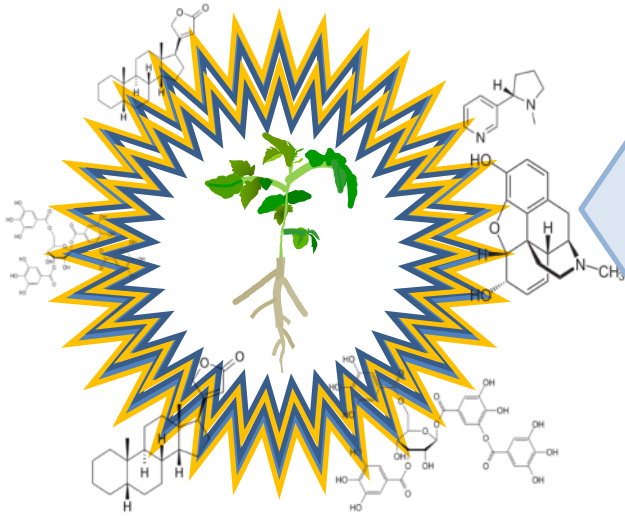
Los mecanismos de defensas *indirectas* de las plantas incluyen:

- la atracción de artrópodos predadores y parasitoides a través de la inducción de compuestos volátiles
- asociaciones a largo plazo con predadores a cambio de alimentos y refugio

Photo: [T. Bukovinszky / www.bugsinthepicture.com](http://www.bugsinthepicture.com)

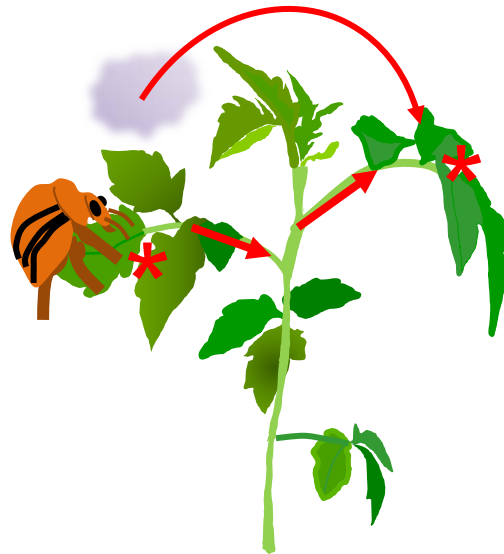


# Cultivos resistentes a herbivoría



Muchos metabolitos secundarios de las plantas son tóxicos para los seres humanos y su biosíntesis posee un costo energético. Por lo tanto, muchas de estas defensas se perdieron, deliberadamente o no, durante el proceso de mejoramiento vegetal, haciendo los cultivos vulnerables a las plagas

Incrementar las defensas inducidas de las plantas puede hacerlas más resistentes al ataque de herbívoros



Incrementar las alianzas entre plantas y los predadores de herbívoros puede aumentar los rendimientos de los cultivos

# Alianza#2: planta – artrópodos polinizadores



Image source: [Market wallpapers](#)