

¿Cómo evaluamos el papel de los herbívoros y patógenos en la selección natural de especies de plantas tropicales?



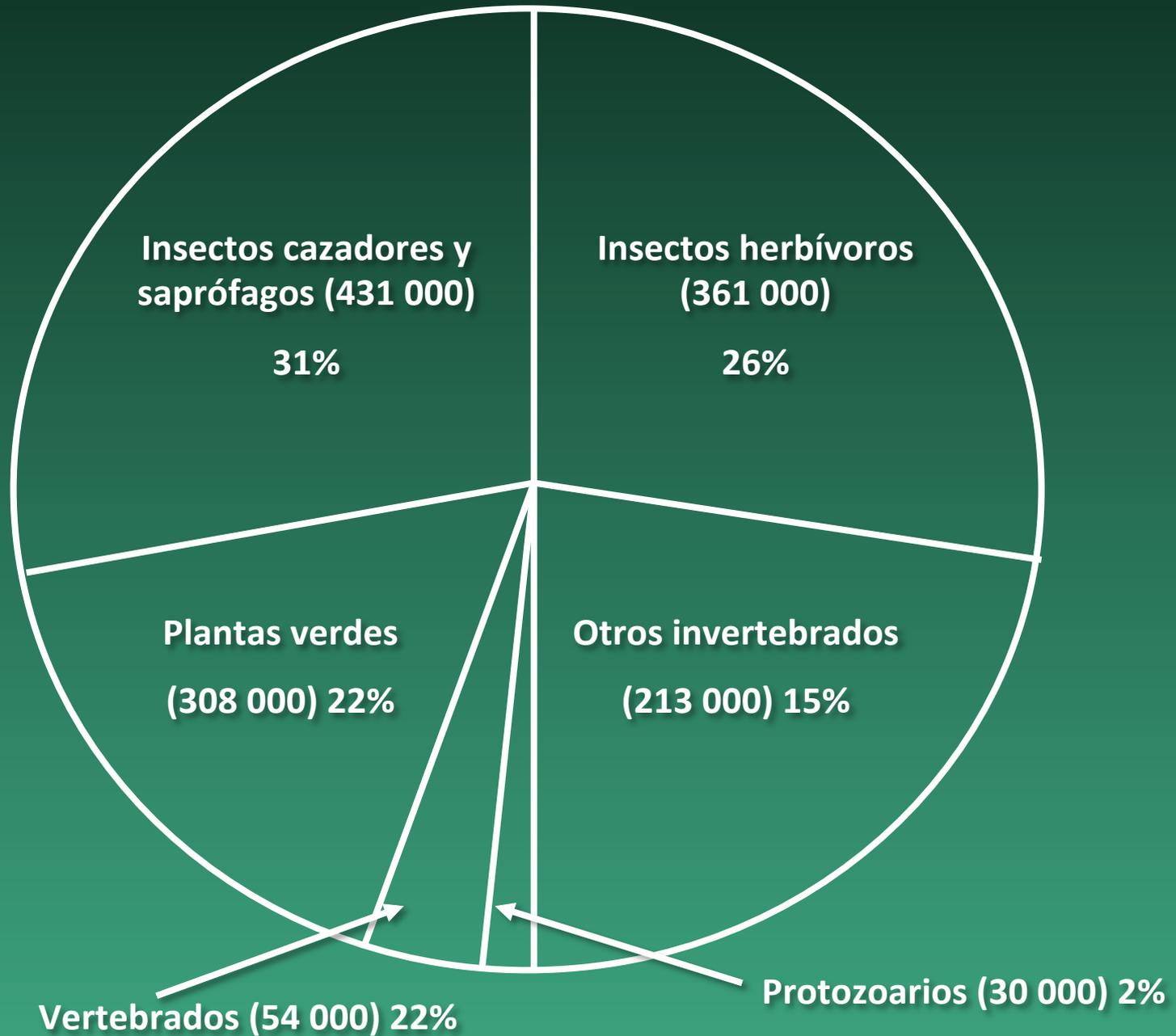
Graciela García Guzmán
Irma Acosta Calixto
Rosamond Coates
Juan Núñez Farfán
Martin Heil
Julio César Montero



dgapa

Dirección General de Asuntos
del Personal Académico

PAPIME
PE201717 / PE202919



**Algunos estudios indican que existen
ca. 270,000 especies de hongos patógenos en los trópicos.**



**Las relaciones evolutivas entre
plantas, herbívoros y
microorganismos patógenos**



**Gran variedad de adaptaciones
e interacciones**



La presión ejercida por los herbívoros sobre las plantas



Evolución de defensas:

Químicas

Mecánicas

Fenológicas



Los herbívoros han evolucionado para lidiar con las defensas de las plantas

La herbivoría en los bosques tropicales



Tipo de bosque	Tasa de herbivoría anual
Templado	7.1%
Selva alta perennifolia	11.1%
Selva baja caducifolia	14.2%



**En los trópicos los periodos de lluvia
determinan la duración de la época seca**



Selva Alta Perennifolia

Tipo de bosque	Tasa de herbivoría anual
Templado	7.1%
Selva alta perennifolia	11.1%
Selva baja caducifolia	14.2%

- **Las hojas de plantas caducifolias tienen menos defensas.**
- **La época seca reduce las poblaciones de herbívoros.**

**Los insectos herbívoros son los más abundantes
en los bosques tropicales**

**La estacionalidad de las selvas
afecta la abundancia de herbívoros**



**La abundancia de
insectos es mayor al
inicio de la época de
lluvias**

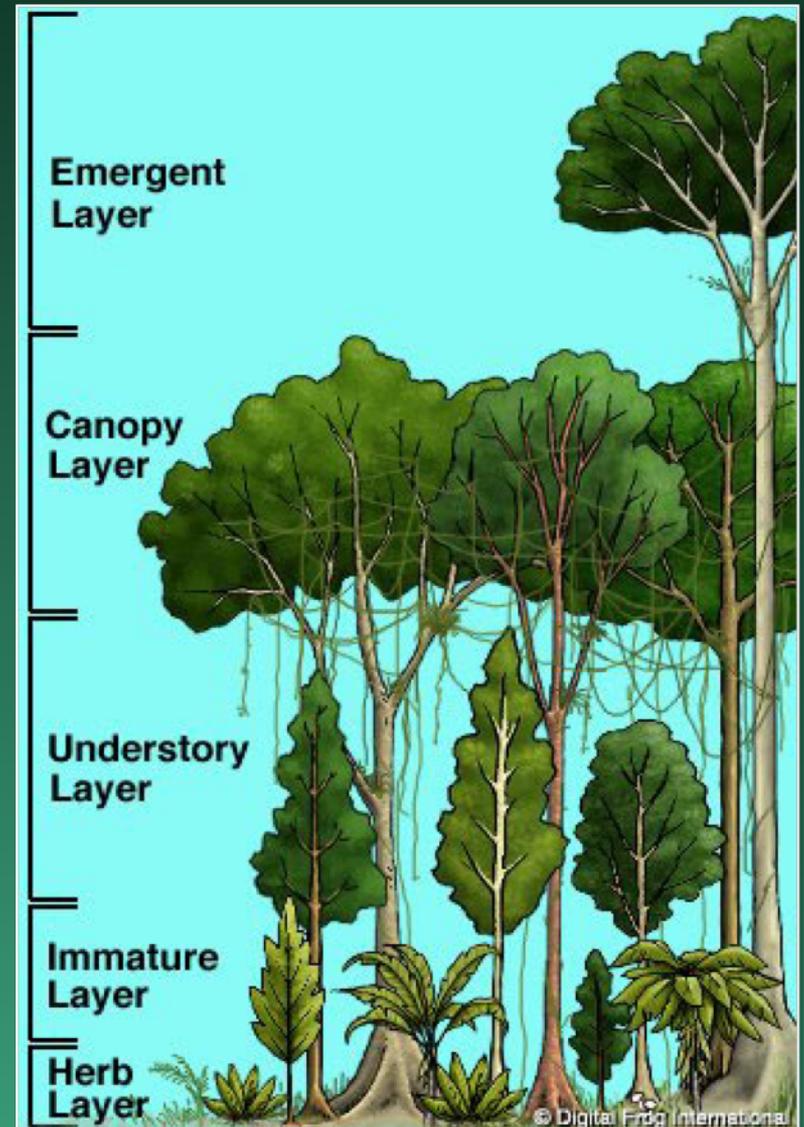
El sotobosque vs. el dosel



Mayores niveles de herbivoría
en el sotobosque que en el dosel

Las hojas expuestas al sol:

- Son más pequeñas
- Tienen un mayor contenido de compuestos fenólicos



**El dosel es más seco, más caliente
y más expuesto al viento**



Depredadores de insectos en el dosel



¿En el sotobosque las plantas están mejor defendidas?



**Las plantas están sujetas a ser atacadas
por una gran diversidad de herbívoros**

El efecto que tengan sobre las plantas varía



Herbivoría

Los herbívoros pueden actuar como:

Depredadores verdaderos

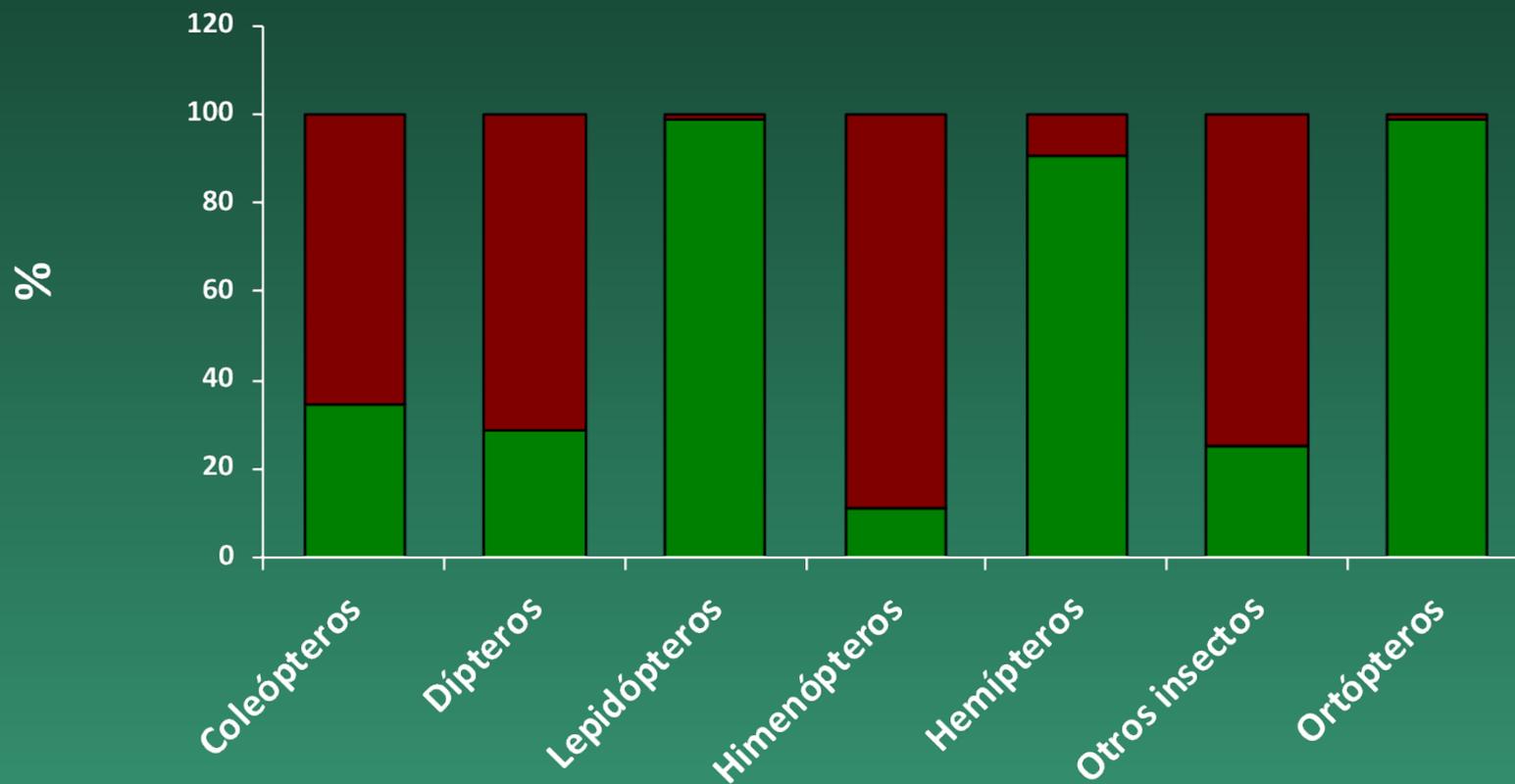
Pacedores

Parásitos



Herbívoro

Carnívoro y saprófago



Tipos de herbívoros

Comedores de follaje:

Forrajeros (comen cualquier parte): Mamíferos, aves, ortópteros, himenópteros y lepidópteros.



Tipos de herbívoros

**Minadores de hojas (se nutren del mesófilo sin arruinar la epidermis):
lepidópteros, himenópteros y algunos dípteros.**



Tipos de herbívoros

**Esqueletonizadores (se alimentan de la superficie de la hoja):
Coleópteros y lepidópteros.**



Tipos de herbívoros

Comedores de flores frutos y semillas

Pueden afectar la adecuación de la planta

Dos tipos:

Los que se alimentan *in situ*

Los que diseminan

Encontramos aves, mamíferos e insectos
de los órdenes Bruchidae e Hymenoptera



Tipos de herbívoros

Comedores de raíces

Poco estudiados

Los más abundantes son las larvas de coleópteros,
los nemátodos y algunos mamíferos



Tipos de herbívoros

Minadores de tallos y barrenadores

Coleópteros e himenópteros que atacan árboles de importancia forestal



Tipos de herbívoros

Chupadores de floema

Modificaciones en la estructura bucal. Las mandíbulas y maxila conforman un estilete pronunciado y delgado que les permite succionar el floema de la planta.

Homópteros y hemípteros



Tipos de herbívoros

Formadores de agallas

La formación de agallas se asocia con sustancias introducidas durante la oviposición de un insecto adulto

Producidas durante el desarrollo de las larvas



El insecto controla la formación de la agalla



Tipos de herbívoros

Se ha sugerido que la formación de agallas puede deberse a la interacción entre un estímulo ofensivo (por el insecto) y una respuesta defensiva (por la planta).

Encontramos himenópteros y homópteros, algunos ácaros y nemátodos.



Especialización en las dietas

**La gran abundancia de insectos
en bosques tropicales**



Mayor competencia por recursos



**Mayor especialización
en la alimentación**

**Las defensas en las plantas
y sus enemigos naturales**



**Especialización
de los herbívoros**



Las plantas tropicales están mejor defendidas químicamente que las plantas de zonas templadas



Los enemigos naturales exhiben numerosos caracteres que aparentemente han evolucionado como una respuesta a la resistencia presentada por las plantas.

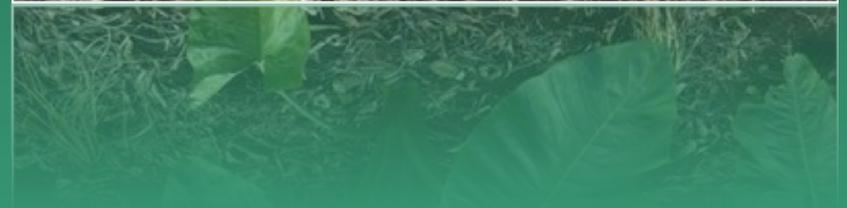
Las plantas tropicales no solo tienen altos niveles de defensa sino también una gran diversidad de defensas



Presión ejercida por herbívoros

+

Las hojas maduras de plantas tropicales son de vida larga de 3 a 14 años



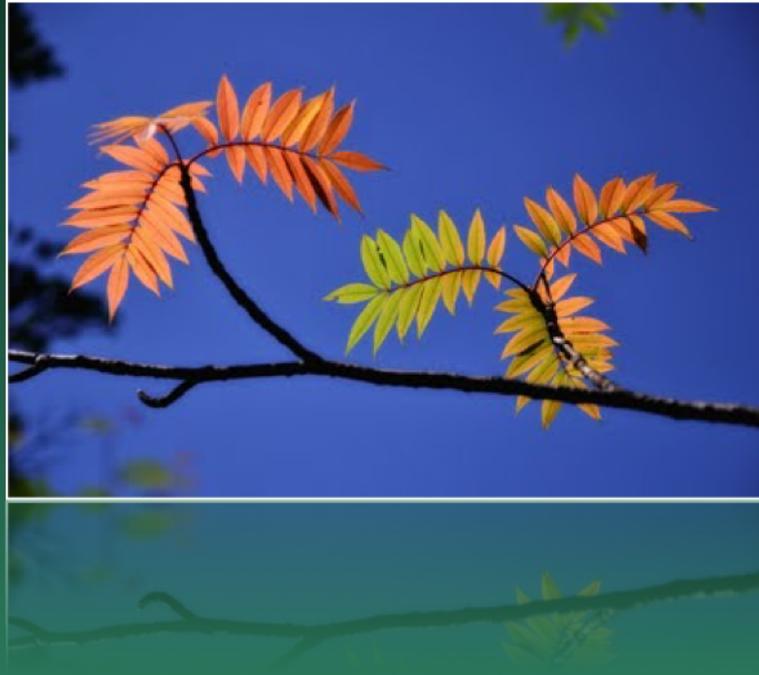


**Las hojas jóvenes tienen
mayor calidad nutrimental**

Tipo de bosque		Tasa de herbivoría Hojas jóvenes	Tasa de herbivoría Hojas maduras
Selva alta perennifolia	<i>Especies tolerantes a la sombra</i>	0.71%	0.03%
	<i>Especies demandantes de luz</i>	0.65%	0.18%
Selva baja caducifolia		0.15%	0.07%

Hojas que viven de 2 a 4 años

En bosques templados las hojas maduras son más dañadas que las jóvenes (las hojas se forman en la primavera cuando la cantidad de herbívoros es baja)



Si la herbivoría en hojas jóvenes es alto



Han experimentado una mayor presión de selección por defensas

La calidad nutrimental

Varía entre especies y edades

Las hojas pobres
en agua y nitrógeno



Afectan crecimiento
de insectos

Las hojas jóvenes tienen más nitrógeno
y agua que las hojas maduras

El crecimiento de los herbívoros incrementa
cuando el contenido de agua y/o nitrógeno es mayor

El contenido de fibra

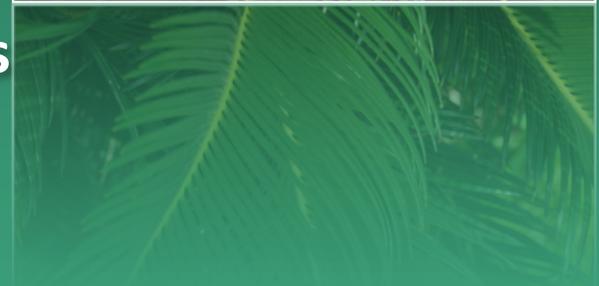


Dureza de las hojas

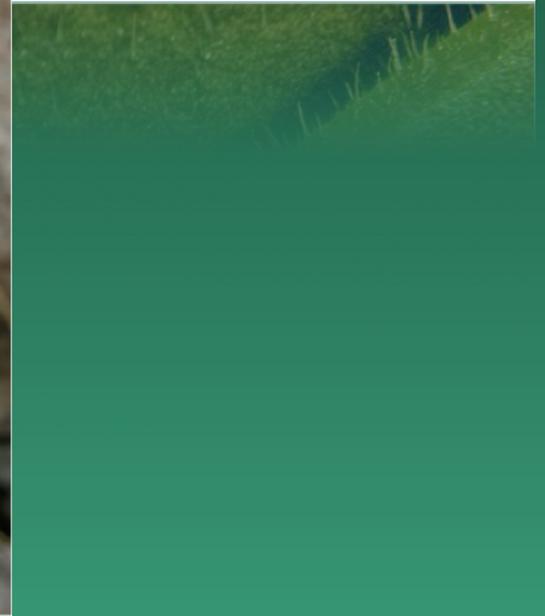


**Problemas digestivos
y mecánicos**

**La dureza de las hojas de plantas tropicales
es mayor que la de zonas templadas**

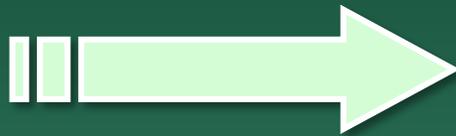


Tricomas



Expansión foliar rápida

En zonas tropicales el mayor daño ocurre
en hojas jóvenes



La expansión foliar rápida
disminuye las probabilidades
de daño



Fenología foliar

- Las producción de hoja puede ser mayor en la época del año cuando hay menos herbívoros
- Producción masiva de hojas



Depredadores de insectos





Se ha sugerido que las plantas dependen de los enemigos naturales de los insectos

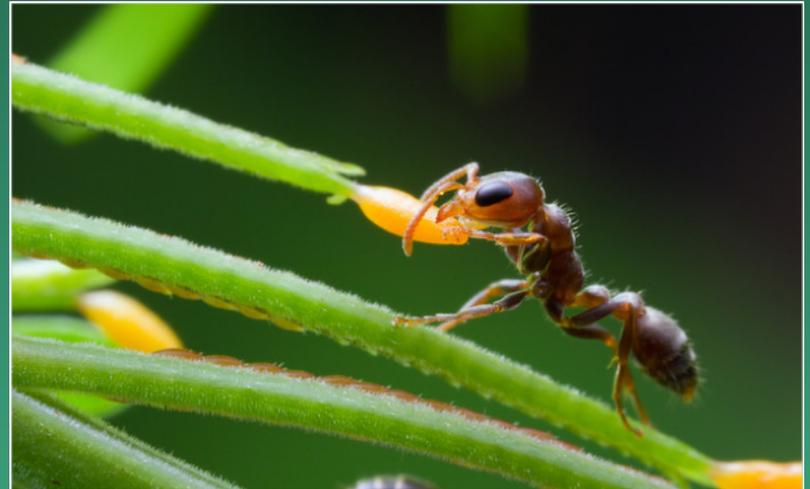


Las plantas han desarrollado mecanismos que les permiten atraer a los enemigos de los insectos





Cuerpos alimenticios





Nectarios extraflorales





**Algunos ácaros se alimentan de las esporas
de hongos patógenos**

Los Metabolitos Secundarios

- Se producen activamente en las plantas
- Pueden proteger contra radiaciones ultravioleta o la desecación
- Podrían ser producto de la detoxificación de venenos ambientales
- Brindan tolerancia a heladas
- Alelopatía, regulación de procesos bioquímicos.

Fenómenos que apoyan el papel defensivo de los MS

En condiciones naturales, algunas plantas portadoras de MS presentan poca evidencia de daño por fitófagos.



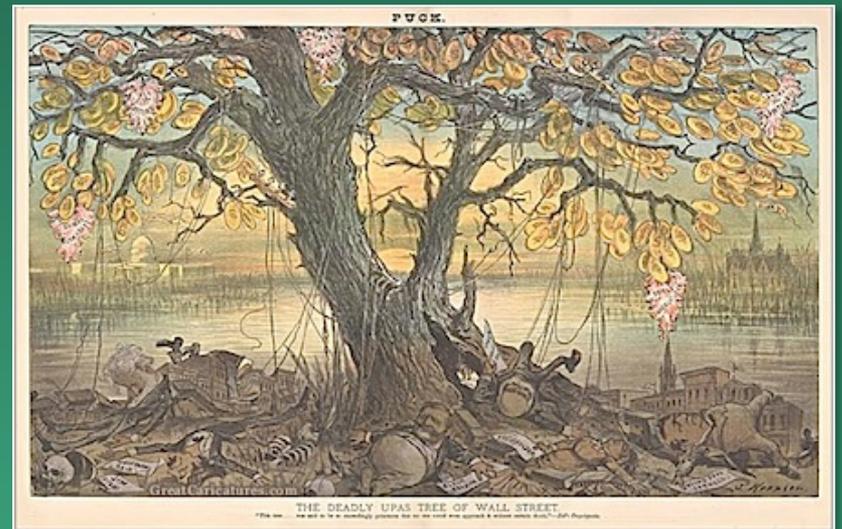
La síntesis de cafeína en hojas jóvenes es mayor



Ilex opaca Las hojas jóvenes
tienen contenidos altos
de saponinas



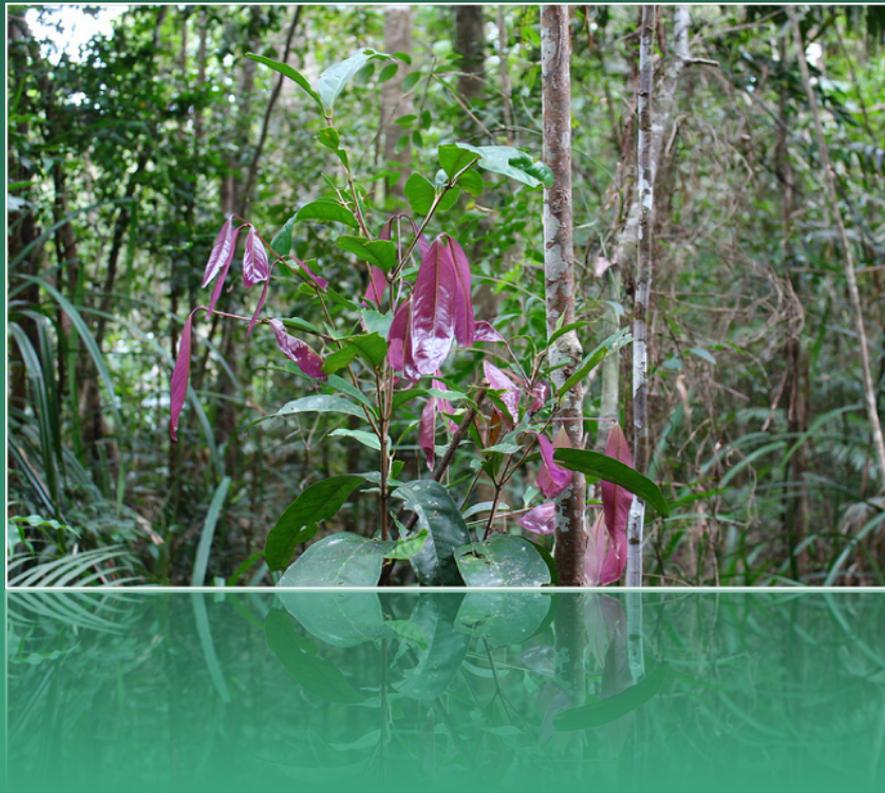
Antiaris toxicaria
Cardenólidos



**Las hojas jóvenes tienen altos contenidos
de antocianinas**

**Algunos autores sugieren que protegen
contra rayos UV**

**Pero solo están presentes en plantas tolerantes
a la sombra y durante las etapas de expansión foliar**





Lindsayomyrtus racemoides

Las antocianinas tienen propiedades antifúngicas

Las hojas en expansión son particularmente susceptibles al ataque por hongos



Amygdalus communis

Amygdalina



Fenómenos que apoyan el papel defensivo de los MS

La fisiología de muchos herbívoros invertebrados y vertebrados se altera negativamente en mayor o menor grado al administrar este tipo de compuestos.



mariposa monarca



Asclepias curassavica



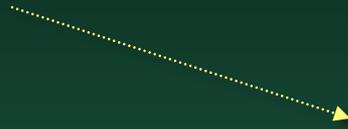
Alto contenido de glucósidos
cardiacos

Las larvas son capaces de incorporar los glucósidos cardiacos de las plantas en sus cuerpos y conservarlos a lo largo de su desarrollo, hasta el estado adulto.

Aves



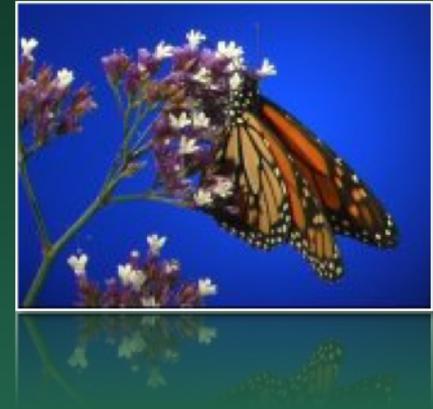
Monarca



Afecta centro nervioso



Vómito



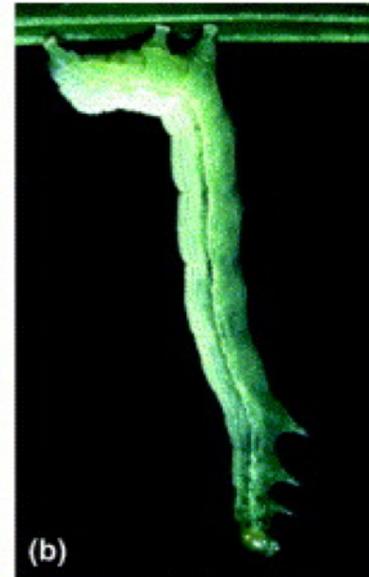
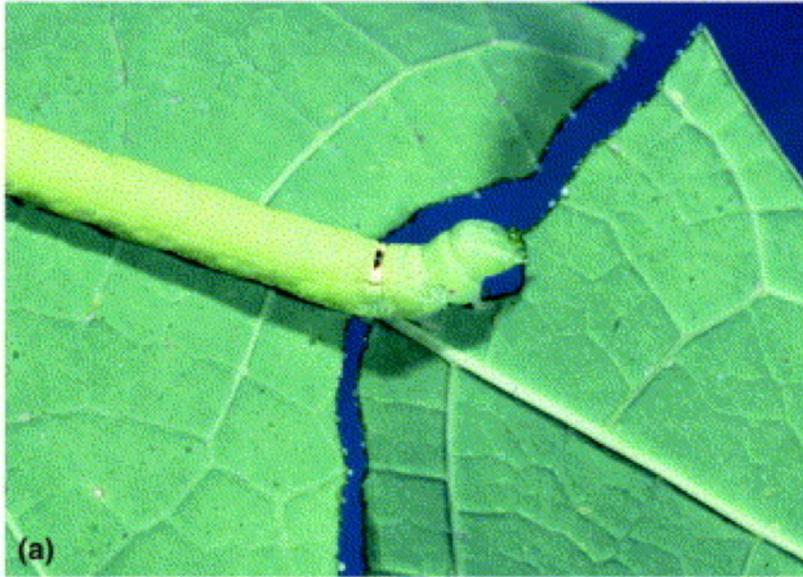
Esta experiencia es aprendida

Existen mariposas que no tienen la capacidad de incorporar el veneno de *Asclepias* y que **coexisten con la monarca**



¿Cómo hacen los insectos para lidiar con los MS de las plantas?

1. El insecto puede moverse a otras partes de su área de residencia en busca de otras plantas
2. Escoger las partes de las plantas que no son tóxicas
3. Combinar varias plantas a fin de obtener una dieta lo menos tóxica posible
4. Consumir el tejido de la planta en el momento en el que sea menos tóxico y mientras tanto alimentarse de otros recursos vegetales



Current Opinion in Plant Biology

Current Opinion in Plant Biology



(a) Larva of *Erinnyis alope* starting to feed after severing a *Carica papaya* leaf.

(b) Larva of *Trichoplusia ni* hanging immobilized and vulnerable to predators after ingesting the cardenolide-containing latex of *Asclepias currassavica*.

Photographs by David Dussourd.

La mayoría de los insectos herbívoros que consumen plantas con MS tienen que enfrentarse con ellos en su ambiente interno y degradarlos metabólicamente para convertirlos en un producto que pueda ser evacuado.

Los MS no son solubles en agua



Se requiere de un proceso que los haga solubles en agua para eliminarlos con el torrente de agua excretada

Al sistema enzimático se le conoce como de Oxidasas de Función Mixta OMF

La eficiencia del sistema OFM se debe a tres características:

- a) Promueven y facilitan numerosas reacciones de oxidación que hacen a los compuestos tóxicos solubles en agua y excretables.**
- b) Atacan a un gran número de sustancias tóxicas sin distinción de la variabilidad química que estas puedan presentar.**
- c) Entran rápidamente en actividad en presencia de sustancias extrañas, mediante un complicado proceso de inducción.**

La distribución del sistema OFM en el reino animal es prácticamente universal

Dentro de una misma especie hay variación en la actividad del sistema OFM, según la edad:

Los estadios más jóvenes del desarrollo de un insecto tienden a tener valores de actividad menores que los estadios más viejos.

En los organismos en los que hay interrupciones del ciclo de vida (por ejemplo, durante la muda) hay una reducción en la actividad del OFM



Hay un alto costo asociado con la producción y mantenimiento del sistema OFM

Existe cierta presión para no incurrir en el gasto de los recursos y de la energía que su producción y mantenimiento requieren a menos que hacerlo sea necesario y que las ventajas de hacerlo superen los costos.

Mientras más metabolitos tóxicos tienen que ser procesados por el sistema enzimático, mayor es la actividad del OFM.

Entre las larvas de lepidópteros existen algunas que consumen más de 15 especies de plantas

Danaus plexipus (Monarca) que solo se alimenta de *Asclepias* spp
o *Urania fulxens* que sólo se alimenta de *Omphalea oleifera*.



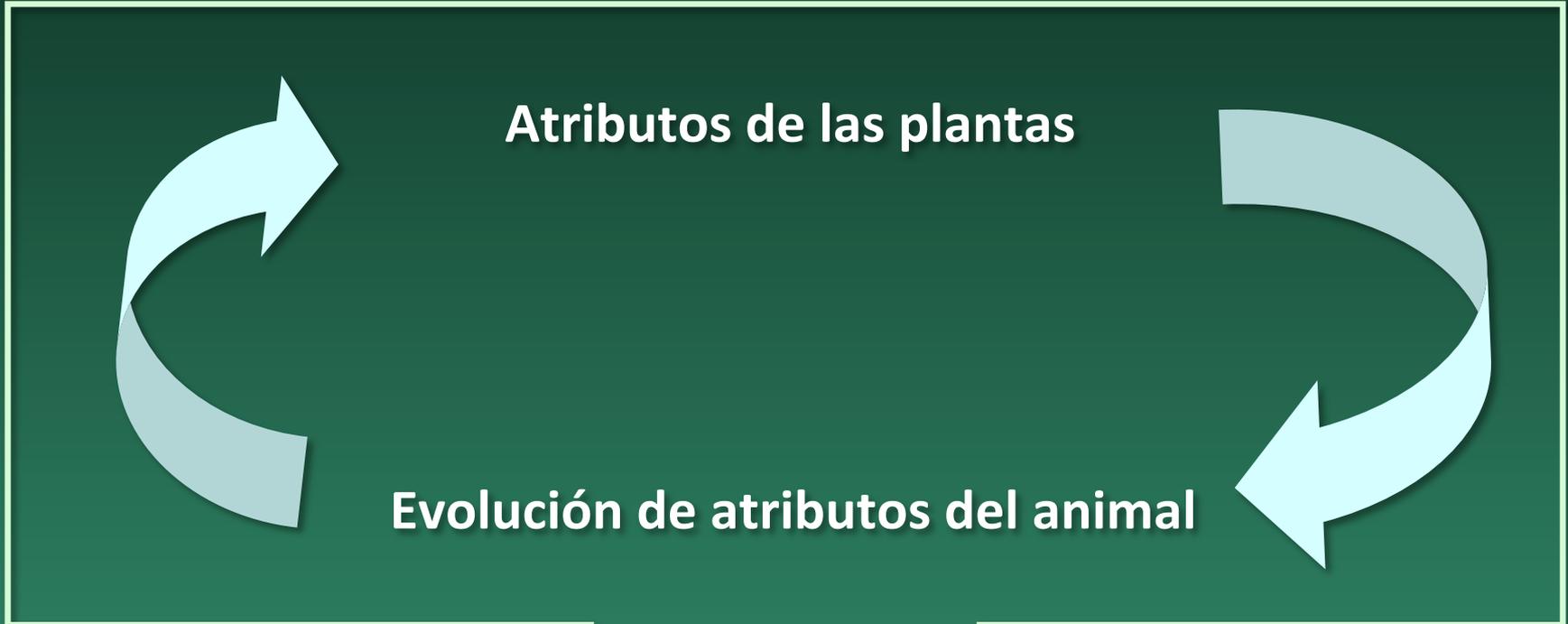
La existencia del sistema OFM es el resultado de una batalla o carrera armamentista a través del tiempo entre los herbívoros y las plantas con sus metabolitos secundarios.

Algunas Compositae producen piretrinas y son consumidas por herbívoros con sistema OFM

Chrysanthemum cinariaefolium



Escenario evolutivo



COEVOLUCION

**Las interacciones entre plantas
y sus enemigos naturales**



**Mayor inversión en defensas
en plantas tropicales**



**Diversidad y estructura
de los bosques
tropicales**

