

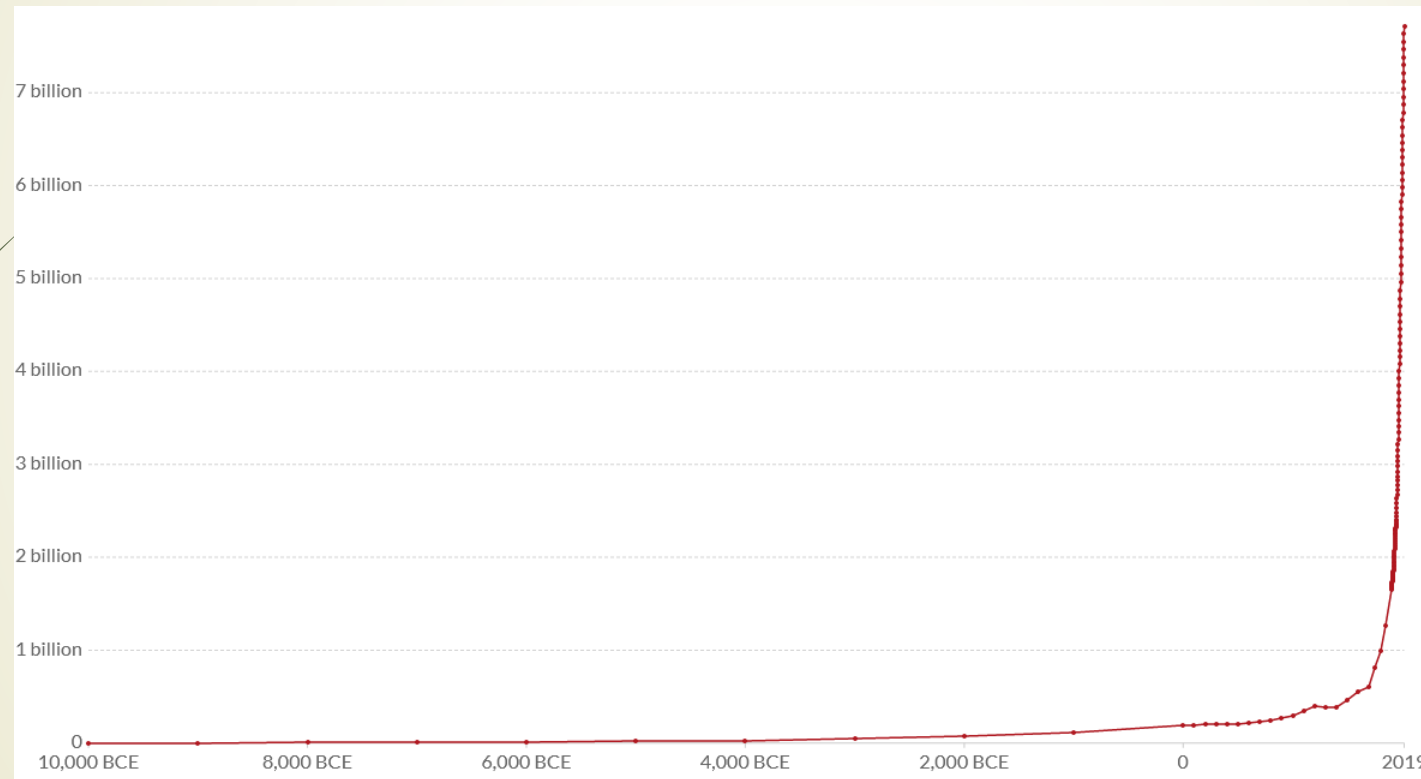
# Las estructuras vegetales para incrementar la sostenibilidad de la agricultura

*Gonzalo González Barberá*

*Departamento de Conservación de Suelos y Agua y Manejo de Residuos Orgánicos*

*CSIC-CEBAS*

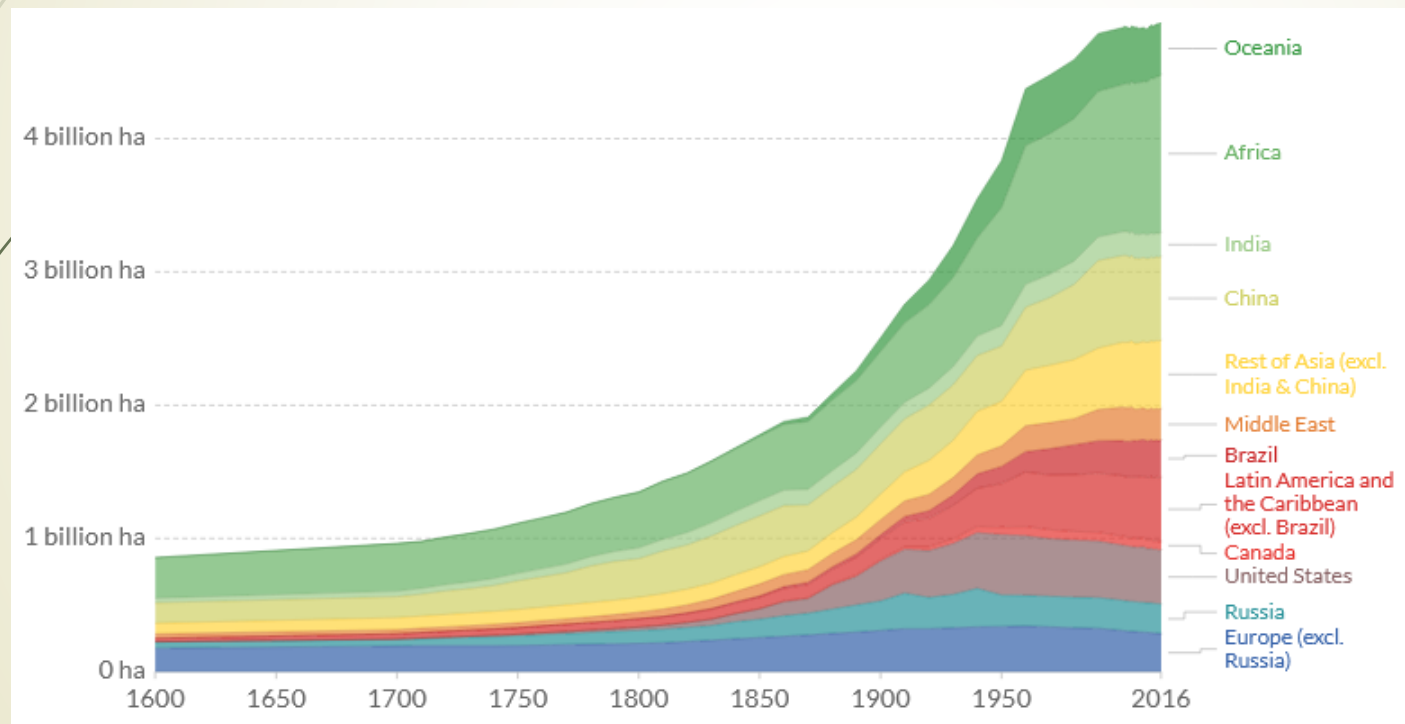
La población humana ha crecido enormemente en los dos últimos siglos



Este crecimiento es consecuencia y causa del incremento en la producción de alimentos

Crecimiento de la población mundial (10000 AC - 2018). Fuente: [ourworldindata.org](http://ourworldindata.org), basado en otras fuentes primarias

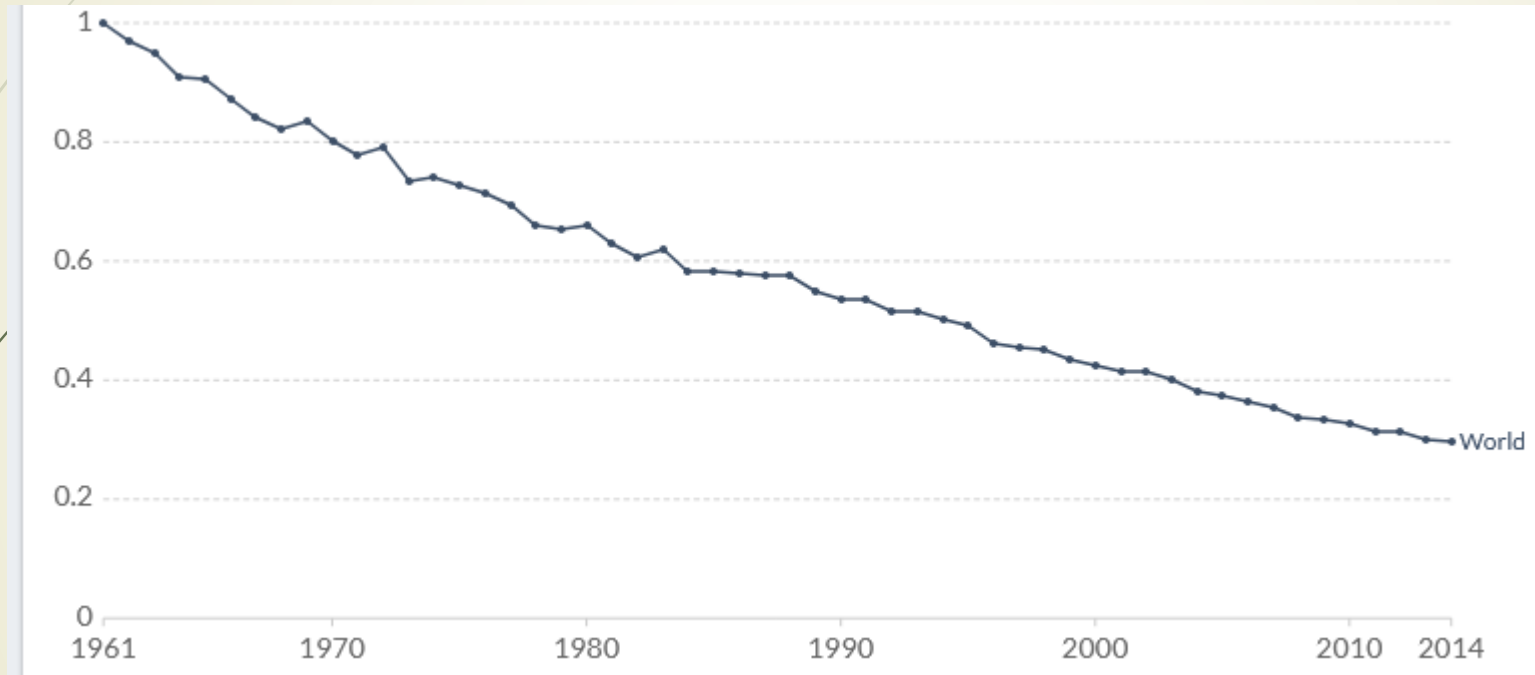
La **expansión de la superficie** cultivada y de pastos ha sido uno de los motores del incremento de la producción de alimentos, aunque a partir de 1950 es claro que esa superficie se mantiene estable o disminuye en algunas regiones del mundo



Superficie cultivada y de pastos en el mundo (1600-2017).

Fuente: ourworldindata.org, basado en otras fuentes primarias.

El otro motor del incremento de la producción de alimentos es la **intensificación**, de tal manera que en la actualidad se produce 3 veces la misma cantidad de alimento por unidad de superficie que hace 60 años



Superficie arable necesaria para producir una unidad de producto agrario (1961 =1; 1961-2014).  
Fuente: ourworldindata.org, basado en otras fuentes primarias.

El incremento de la producción de alimentos ha llevado aparejado un deterioro ambiental causado tanto por la expansión de la superficie cultivada y pastoreada como por la intensificación



### **Expansión agraria**

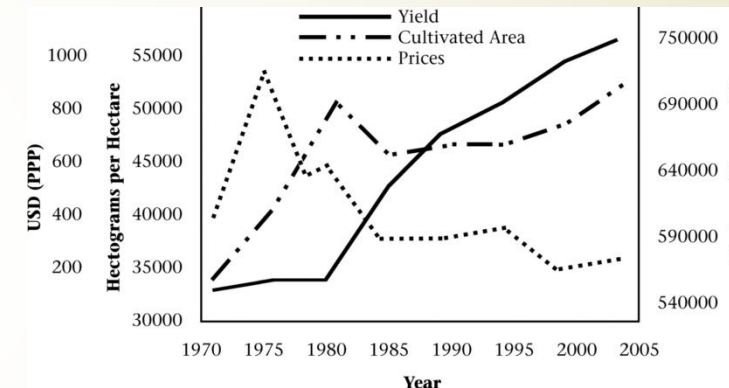
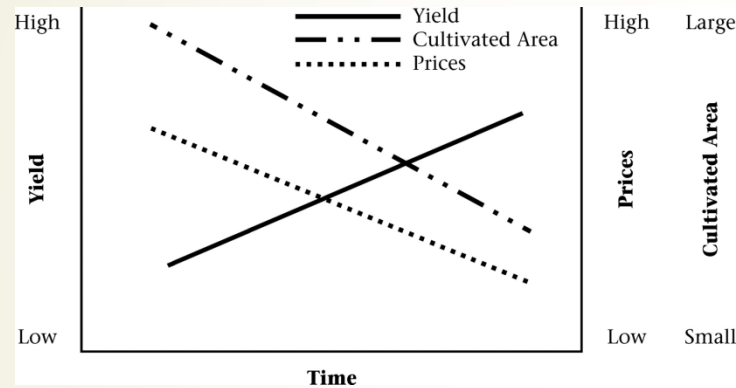
- Pérdida de hábitats naturales
- Deforestación masiva
- Deterioro del suelo, erosión
- Alteración en el régimen hidrológico
- Cambios en los ciclos del carbono
- Aceleración del cambio climático



### **Intensificación**

- Deterioro acelerado del suelo
- Contaminación por pesticidas
- Exceso de nutrientes
- Deterioro de masas de aguas subterráneas
- Eutrofización
- Pérdida de biodiversidad
- Pérdida de calidad del paisaje

El incremento de la población mundial es aún tan rápido que no hay evidencias que el aumento de la intensificación pueda ser ‘compensada’ ambientalmente por un descenso de la superficie cultivada y pastada, al menos a nivel mundial (hipótesis de Borlaug; *Science*, 2007)



Fuente: Rudel et al., PNAS (2009)

La hipótesis de Borlaug (**izquierda**) establece que la intensificación incrementará la producción agraria (*yield*) al tiempo que disminuye la superficie cultivada y disminuyen los precios. Rudel et al., sin embargo muestran (**derecha**) que la superficie cultivada no ha disminuido en los últimos 50 años.



Tanto la expansión como la intensificación agraria impactan en los *servicios ecosistémicos*, es decir, los beneficios que proporcionan directamente a la humanidad los ecosistemas



Fuente: Millenium Ecosystem Assessment.

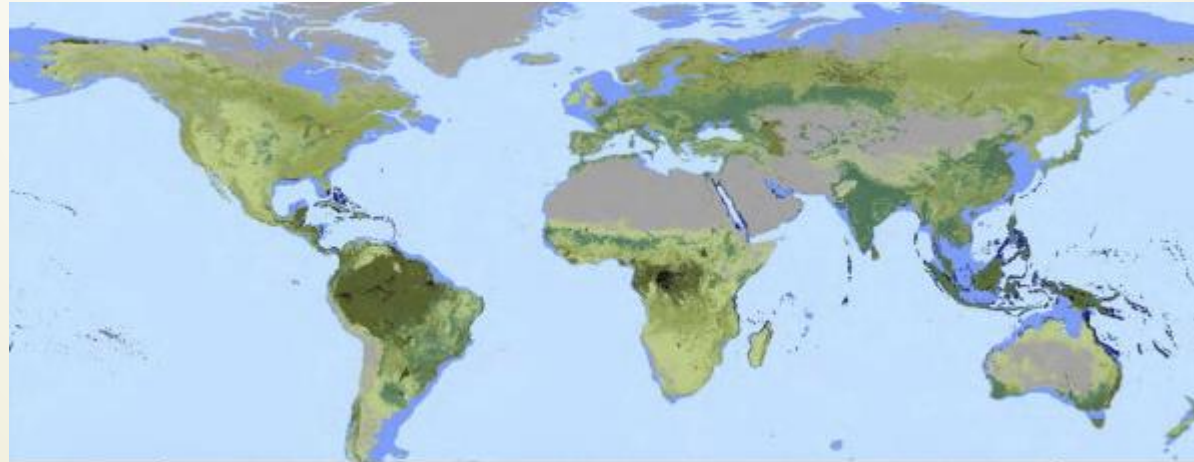
No hay duda que los servicios ecosistémicos están directamente implicados en el buen funcionamiento global del sistema productivo.

Costanza et al. realizaron la primera evaluación del valor monetario global de los servicios ecosistémicos en 1997 (referidos a 1995) y actualizaron los valores en 2014 (referidos a 2011). La estima de 2011 es de un mínimo de

**125 billones de \$**

mientras que el PIB mundial era aproximadamente

**70 billones de \$**



Valor de los servicios ecosistémicos en el mundo (por ha).  
Fuente: Costanza et al., 2014



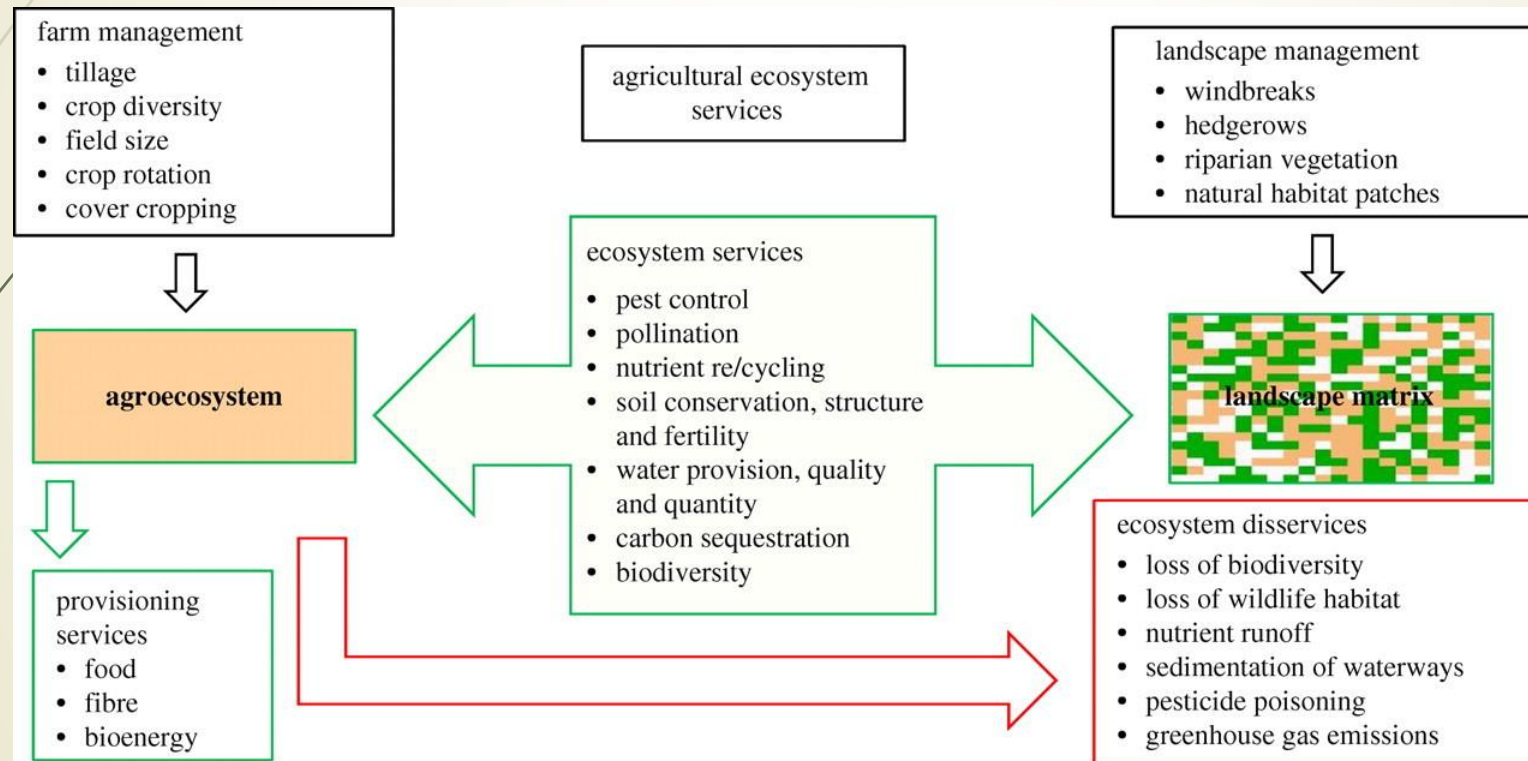
Sin embargo, se tiende a tener la idea de que la afección a los servicios ecosistémicos es una *externalidad* al sector productivo. Es decir, si existen afecciones es hacia otros y no hacia el propio sistema productivo.



Imagen del satélite Sentinel del Mar Menor en la mañana de 13 de septiembre de 2019

Descarga estimada de fosfato disuelto en agua en la DANA de septiembre de 2019 en el Mar Menor 50-60 toneladas, > 100 veces el fosfato disuelto en la laguna antes de la riada. Origen mayoritario del fosfato: fertilización del regadío.

Los servicios ecosistémicos, sin embargo, contribuyen a la productividad agraria. Por ello, el perjuicio sobre los servicios ecosistémicos producido por la intensificación agraria (y también por la expansión agraria) afectan a la propia producción agraria.



Fuente: Power, 2010

Cabe preguntarse qué estrategias deberíamos implementar para reducir el impacto de la agricultura sobre los servicios ecosistémicos.

*Dejando de lado el proceso de expansión agraria surgen dos conceptos:*

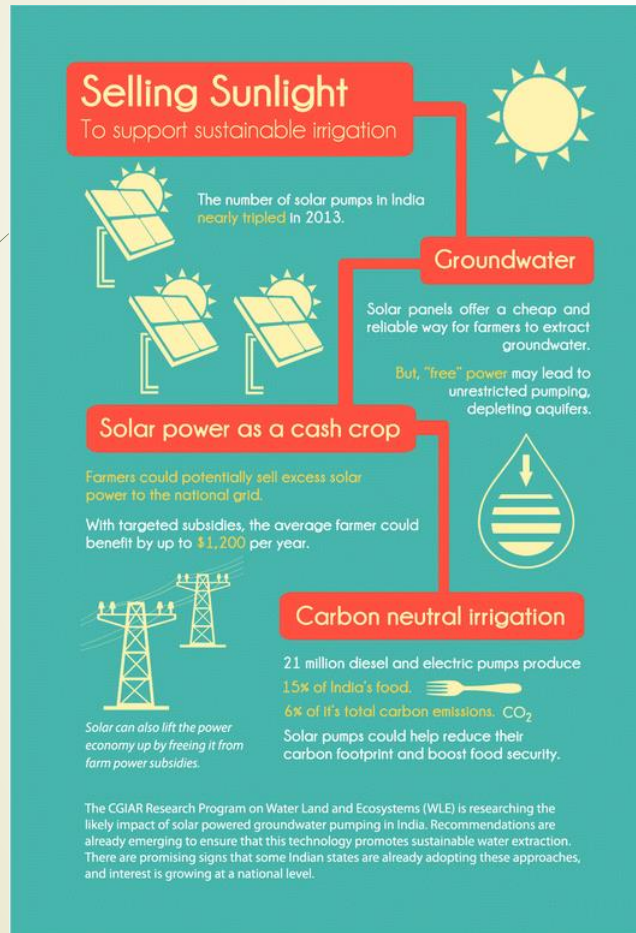
***Intensificación sostenible***

***Intensificación ecológica***

*Pese a su aparente similitud los conceptos **no** son intercambiables*



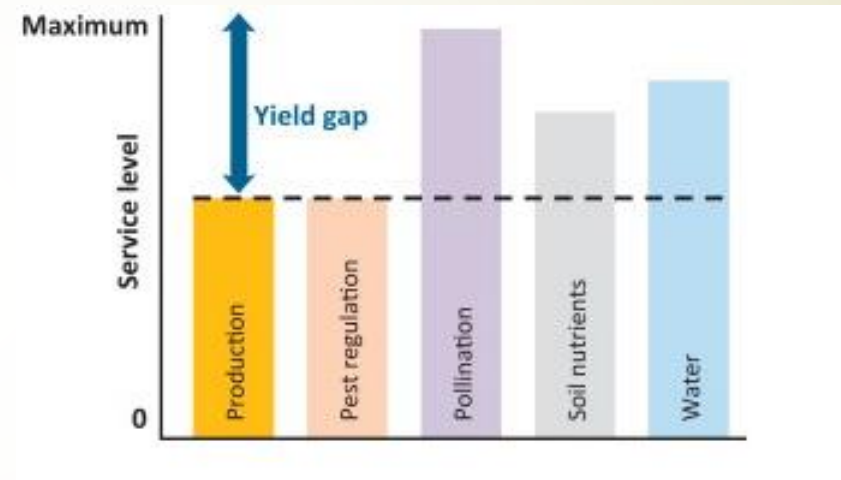
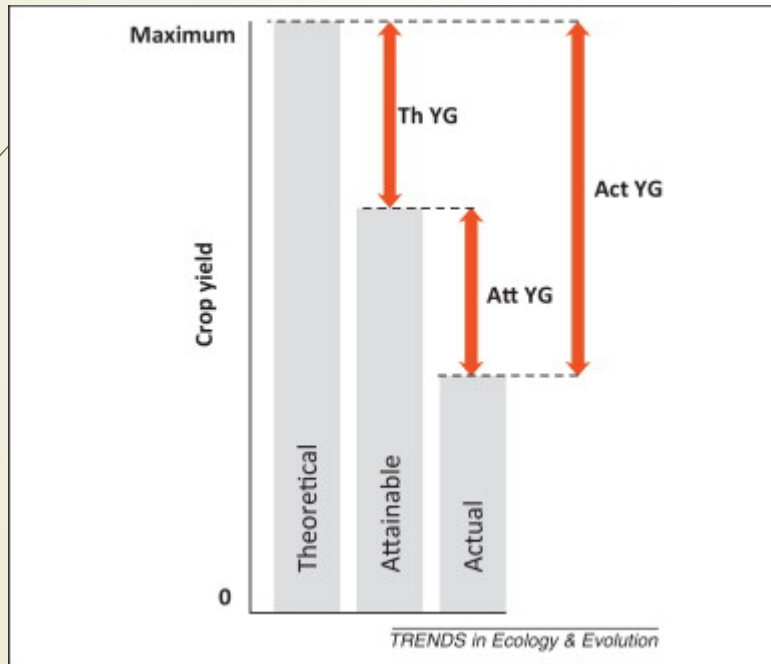
La **intensificación sostenible** consiste en aumentar la producción de alimentos en la misma superficie sin incrementar el impacto en el medio ambiente. **Desacoplar** el crecimiento de la producción de alimentos de su impacto ambiental



Por ejemplo, utilizar energía solar para bombear agua subterránea en la India para irrigación. Para evitar la sobreexplotación parte de la energía se vuelca a la red y la producción de energía se convierte de facto en una cosecha más (fuente de ingresos complementaria) y la irrigación se convierte en neutra en emisiones

Fuente: Rockström et al., 2016.

La *intensificación ecológica*, en cambio, hace énfasis en un aspecto particular reducir los inputs humanos y el impacto ambiental haciendo un uso adecuado de lo servicios de regulación y soporte que proporcionan los ecosistemas (Bonmarco et al., 2013)



La cosecha que se puede obtener es inferior a la máxima teórica. La brecha (*gap*) entre una y otra está determinada por el servicio ecosistémica más limitante (en este caso el control de plagas, *pest regulation*)



Una característica fundamental de los servicios ecosistémicos para la agricultura es que están enormemente influidos por la configuración espacial del territorio, es decir, por la estructura del **paisaje**

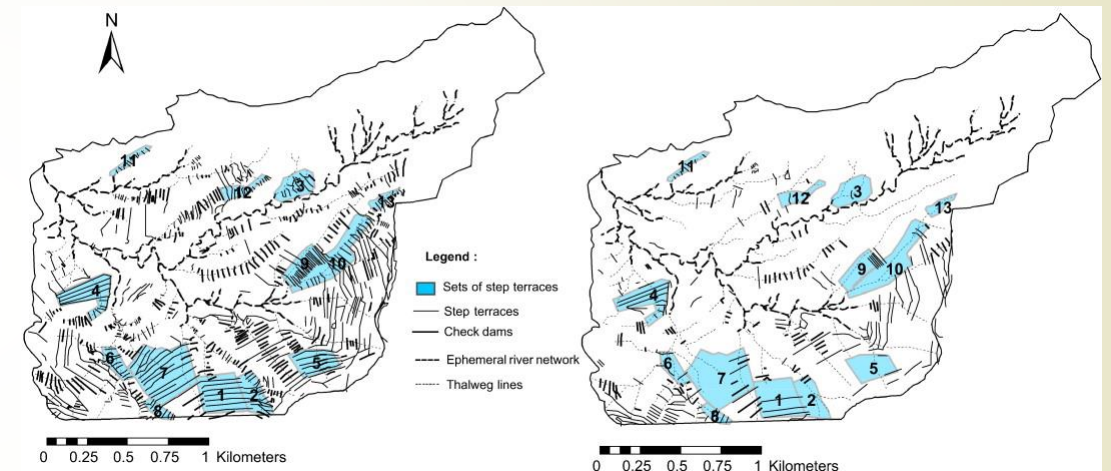


*Paisajes agrarios en Mazarrón*

Nuevos paisajes agrarios.  
Simplificación del paisaje



En la gestión agraria mediterránea tradicional el funcionamiento del paisaje jugaba un papel importante.



*Estructuras de conservación de suelos en la rambla del Cárcavo (Murcia) en 1956 (izquierda) y 2005 (derecha). Fuente: Bellin et al., 2009*

Aterrazamientos: incrementar la infiltración, disminuir la erosión.  
**Importan:** su efectividad depende de su disposición en el paisaje

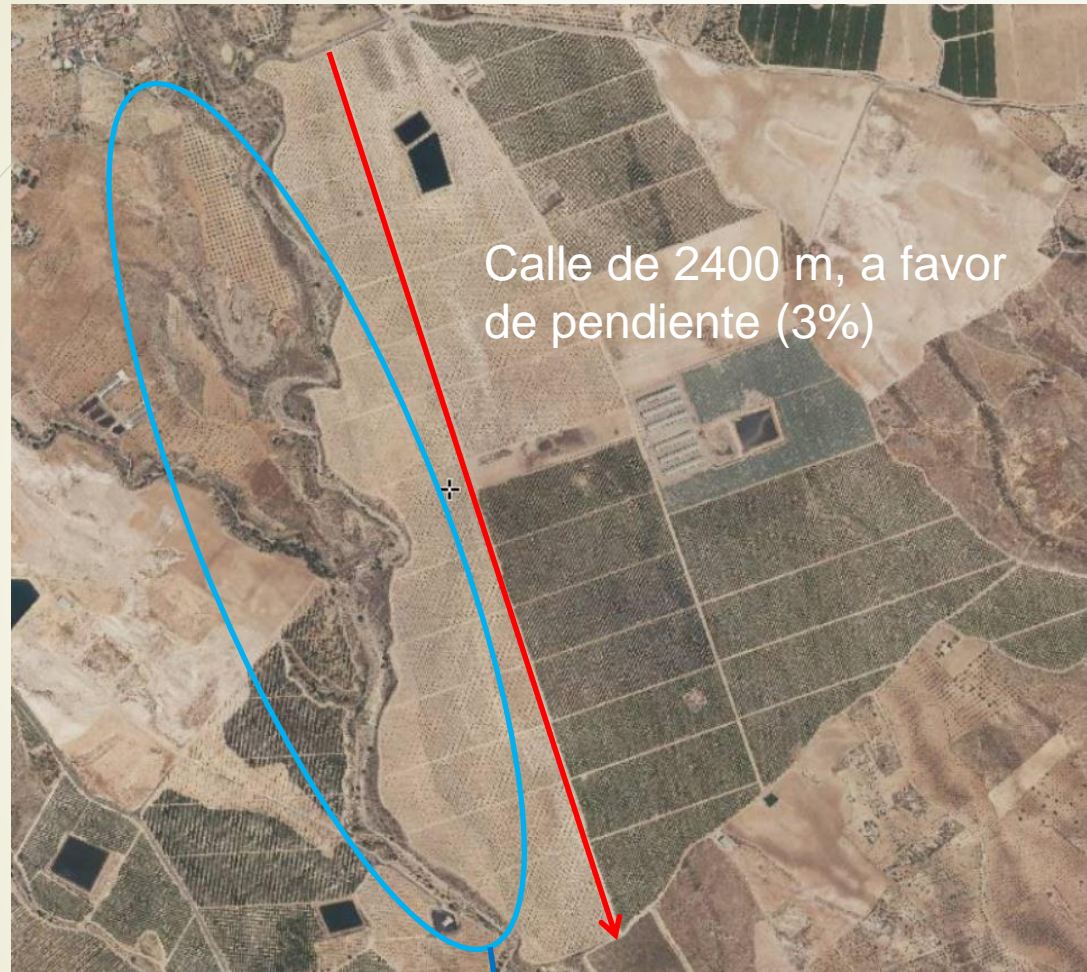
En la agricultura intensiva actual el paisaje no juega ningún papel....



*Foto: Transformación a cultivos hortícolas intensivos en el Campo de Cartagena*



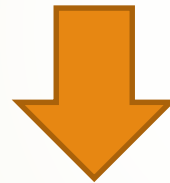
...positivo



Hacia el Mar Menor vía  
rambla del Albujión

Existe un amplio campo para la intensificación sostenible y la intensificación ecológica:

- Diversificación de cultivos.
- Disminución del laboreo
- Uso eficiente de fertilizantes orgánicos
- Triturado de podas in situ
- ...
- **Recuperar complejidad y diversidad del paisaje, renaturalizar**



**Creación y recuperación de estructuras vegetales**

*Foto: Setos implantados en el Campo de Cartagena*





En la agricultura mediterránea tradicional, fruto de la importancia de la sequía intraanual y la energía de las precipitaciones, la manipulación del paisaje estaba muy centrada en la disminución de la escorrentía y la erosión a nivel de parcela y disminuyendo la conectividad de los flujos.

En las zonas de clima oceánico hay mucha mayor tradición de establecimiento de setos, es decir, estructuras vegetales lineales que son retazos del bosque original y que servían para delimitar propiedades.





No obstante las estructuras lineales de vegetación no son completamente ajenas a los paisajes más áridos. Así por ejemplo, en el regadío tradicional de Murcia la red de acequias y azarbes estaba orlada por vegetación de ribera y las delimitaciones entre campos por arboledas lineales con moreras, membrillos, etc.



*Foto: Acequia Mayor  
Aljufía de la Huerta de  
Murcia*

¿Qué funciones y servicios ecosistémicos queremos conseguir con la implantación de estructuras vegetales?

En el proyecto **Setos multifuncionales para agricultura y biodiversidad en la Región de Murcia** pretendíamos cubrir cinco aspectos:

*Barreras vegetales para el control de la erosión y la escorrentía.*

*Mejora de la calidad del suelo bajo los setos.*

*Secuestro de carbono.*

*Incrementar a abundancia y diversidad de los polinizadores.*

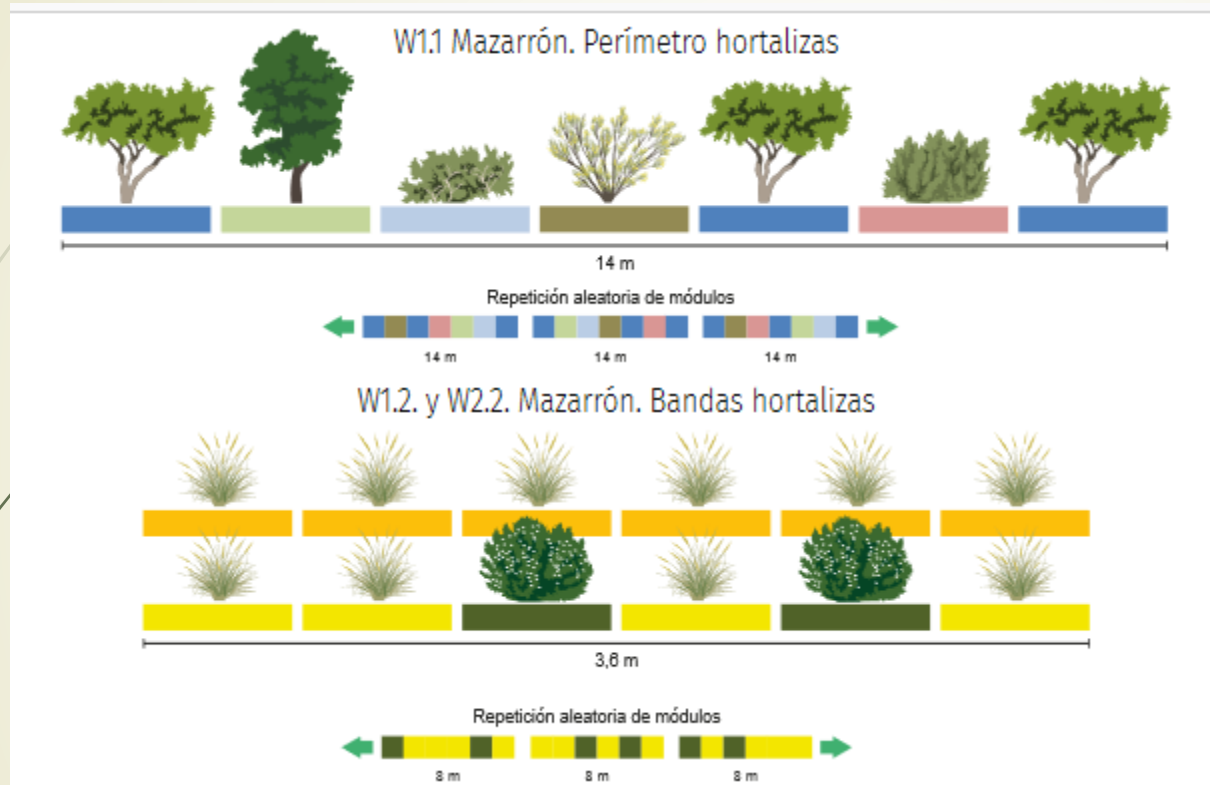
*Ofrecer refugios para enemigos naturales de las plagas.*

....adicionalmente algunos participantes asignaban otras funciones como un efecto barrera para la protección de campos en producción ecológica frente a las derivas de productos químicos

Para cumplir con la multifuncionalidad no es adecuado un diseño-para-todo. Se debe tener en cuenta:

- La orientación productiva de la explotación
- Los problemas ambientales singulares de cada zona
- Necesidades específicas del productor
- El terreno disponible y sus características





Por ejemplo, en una explotación de hortalizas en Mazarrón se planifican dos tipos de setos: (i) perimetral con arbolillos y grandes arbustos que sirve de refugio a enemigos naturales y ofrece recursos florales; y (ii) entre campos de hortalizas y perpendicular a la pendiente compuesto de gramíneas con potente y denso sistema radicular como barrera física frente a la erosión y caméfitos y pequeños arbustos que ofrecen flores en distintas épocas del año.



## Efectividad de las estructuras vegetales. Erosión, escorrentía, suelo.

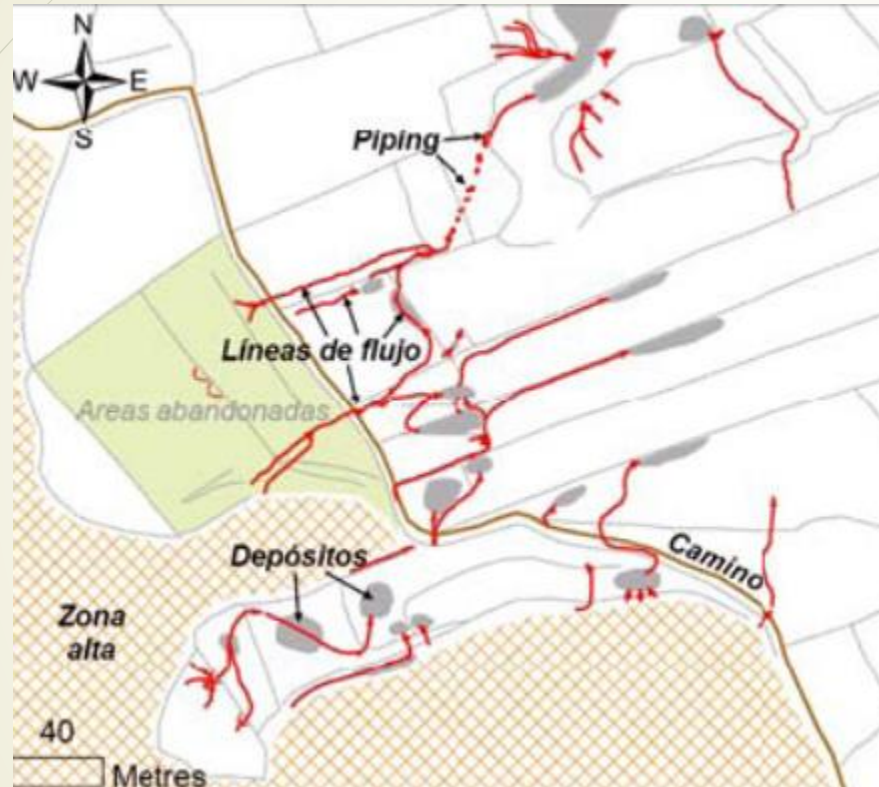


Pequeñas barreras vegetales adecuadamente implementadas son capaces de dispersar la escorrentía evitando los flujos concentrados que inician regueros y forman cárcavas.

**Importante:** disminuir la conectividad del paisaje

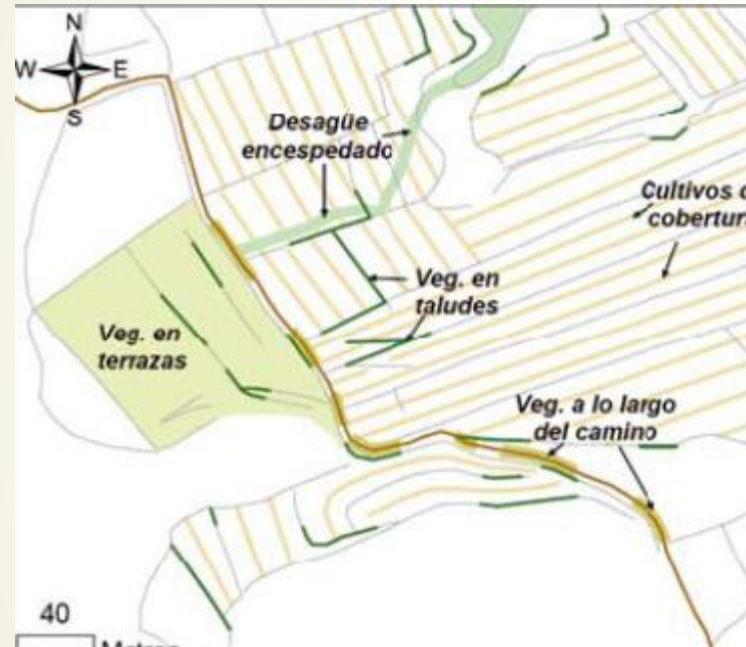


*Fuente: Frankl et al. 2018*



Cuando se produce una precipitación la escorrentía concentrada puede iniciar un reguero que 'muere' a las pocas decenas de metros o conectarse con otros regueros similares generando un enrutado de grandes flujos hacia la red principal de drenaje.

Fuente: Barberá, 2012

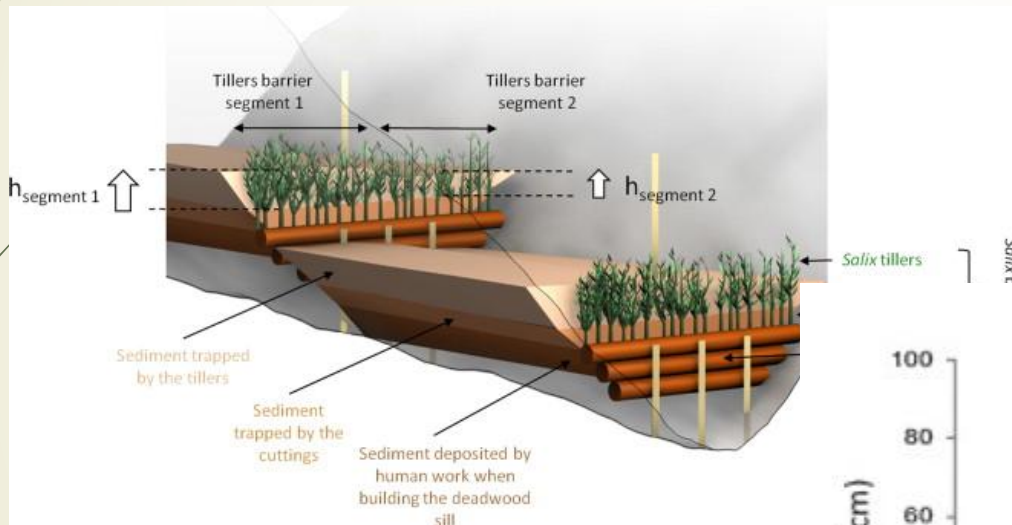


‘Cortocircuitar’ los flujos antes de que se conecten con estructuras vegetales y de otro tipo es esencial para disminuir la severidad del impacto de las lluvias intensas.

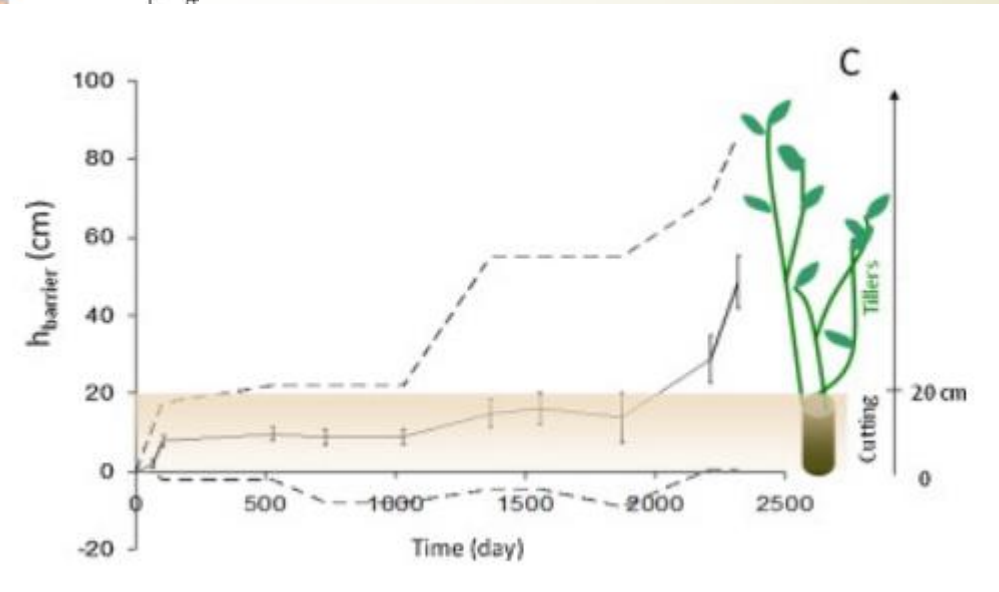
Fuente: Barberá, 2012



En los casos más extremos que se deben corregir cárcavas un diseño adecuado es capaz de funcionar como una competente trampa de sedimentos

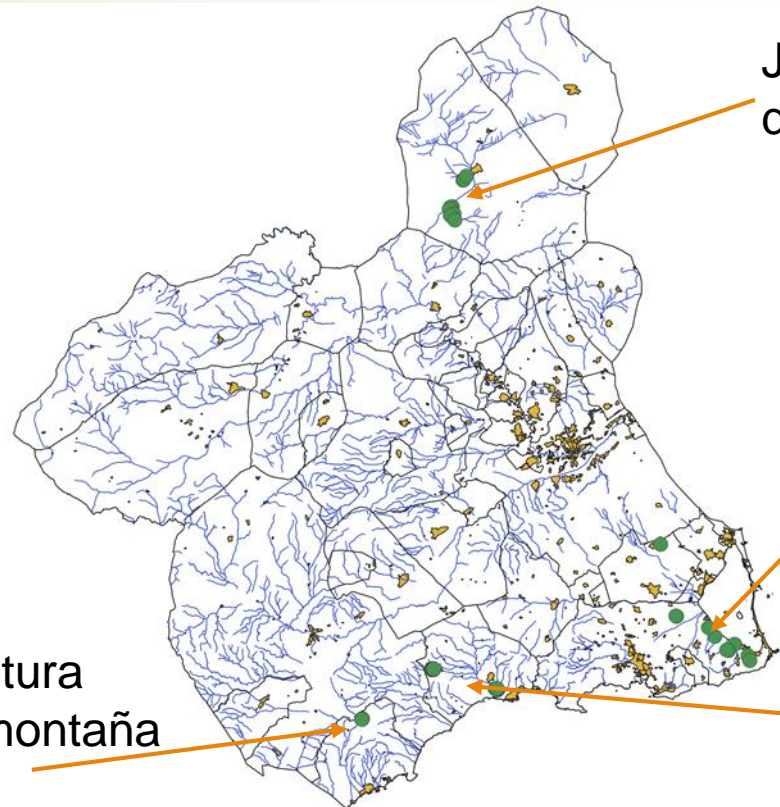


Al cabo de 8 años se han acumulado 50 cm de sedimento



Fuente: Ektan y Rey, 2013

La estructura vegetal contribuye al secuestro de carbono en forma de biomasa y en el suelo. La adición del carbono al suelo mejora su estructura y esto, a su vez, facilita la infiltración del agua de escorrentía. Resultados preliminares en Murcia



Jumilla: olivar y fruta de hueso en regadío

Campo de Cartagena: hortícolas en intensivo

Mazarrón: hortícolas en intensivo, cosechas de verano e invierno

Aguilas: agricultura tradicional en montaña en transición



## Secuestro de carbono en biomasa aérea

Cada tipo de paisaje se caracteriza por una potencialidad para crear estructuras vegetales que es inversamente proporcional a su grado de intensificación



*La cuadrícula blanca es 1 ha. En verde potencial para colocar estructuras vegetales en márgenes. Paisaje de olivar y frutal de hueso en regadío (intensificación media) en Jumilla*

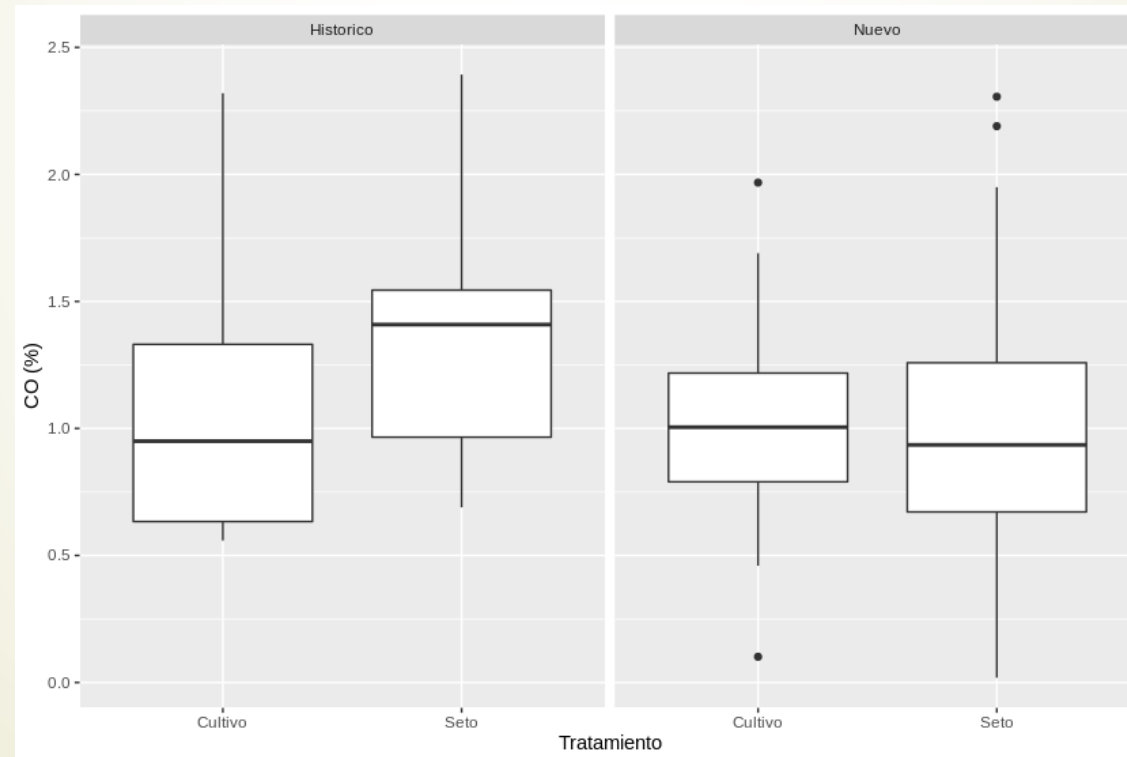
*Resultados potenciales en el año 1-2 de la plantación*

Sector	Longitud potencial de seto (m ha <sup>-1</sup> )	Secuestro potencial de CO <sub>2</sub> en biomasa aérea (kg ha <sup>-1</sup> )
Aguilas (tradicional)	226	115
Jumilla	142	72
Campo de Cartagena	115	59
Mazarrón	108	54

## Secuestro de carbono en el suelo

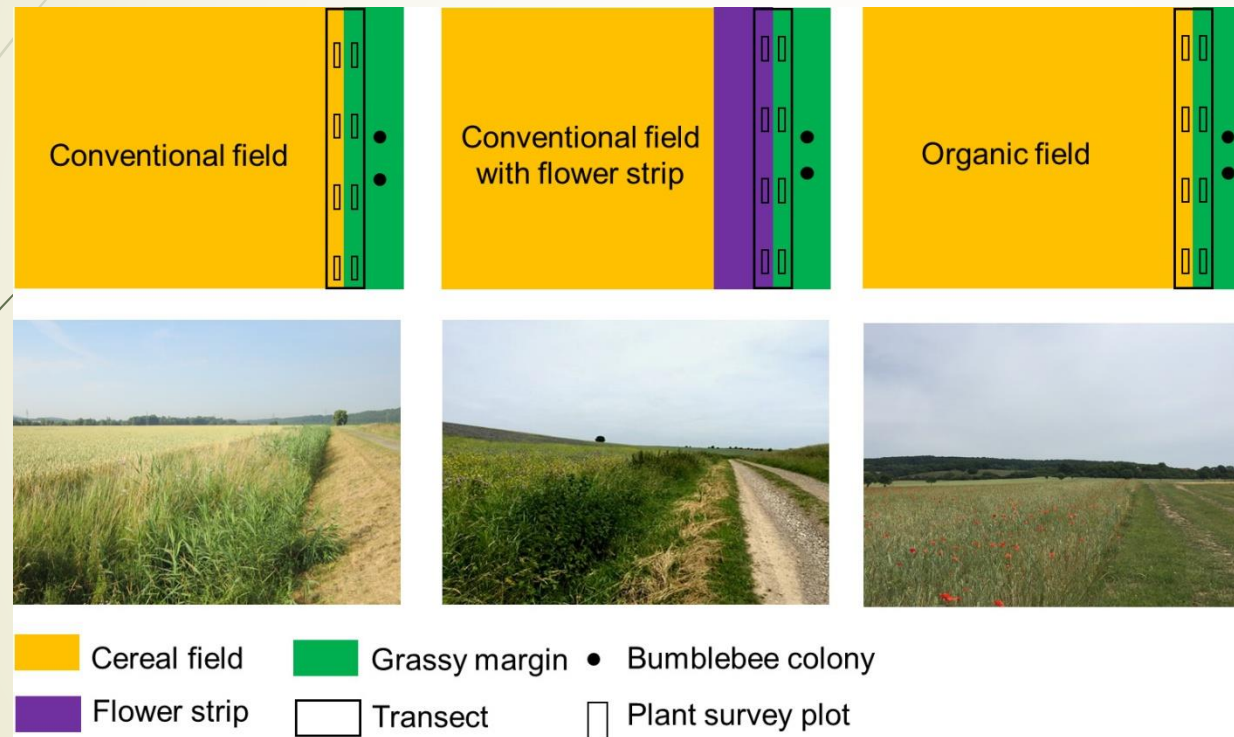
La incorporación del carbono en el suelo es más lenta.

En los dos primeros años no es posible encontrar diferencias con el campo de cultivo (setos 'nuevos'), pero en 5-10 años ya se ve con claridad la señal (setos 'históricos')



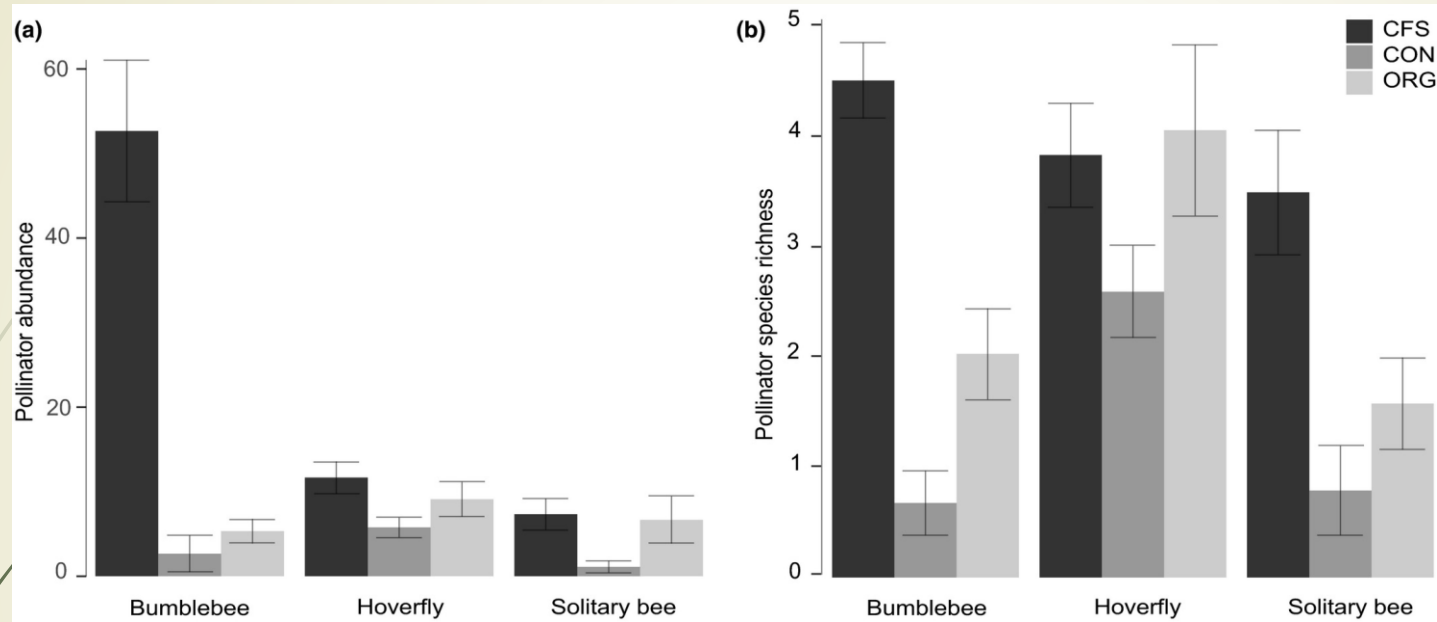
## Efectividad de las estructuras vegetales. Polinizadores.

Pequeñas estructuras lineales incrementan la diversidad y la abundancia de algunas especies



Sembrar plantas con flores en una banda es una medida agroambiental común. En este experimento se compara el efecto de campos con esa banda (CFS) frente a campos sin esa banda, sean en convencional (CON) o en ecológico (ORG)

Fuente: Geppert et al., 2020

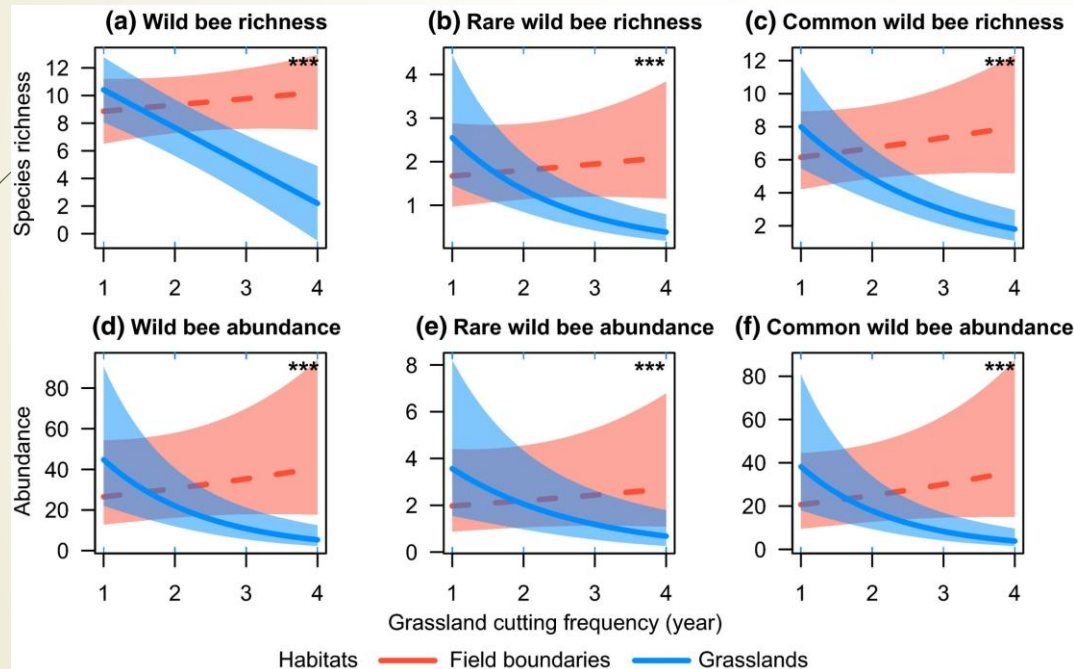


Fuente: Geppert et al., 2020

La abundancia y diversidad de abejorros (*bumble bees*) se dispara donde se establece la banda de plantas con flores. Los efectos en sírfidos (*hoverfly*) y abejas solitarias (*solitary bees*) es más modesto.



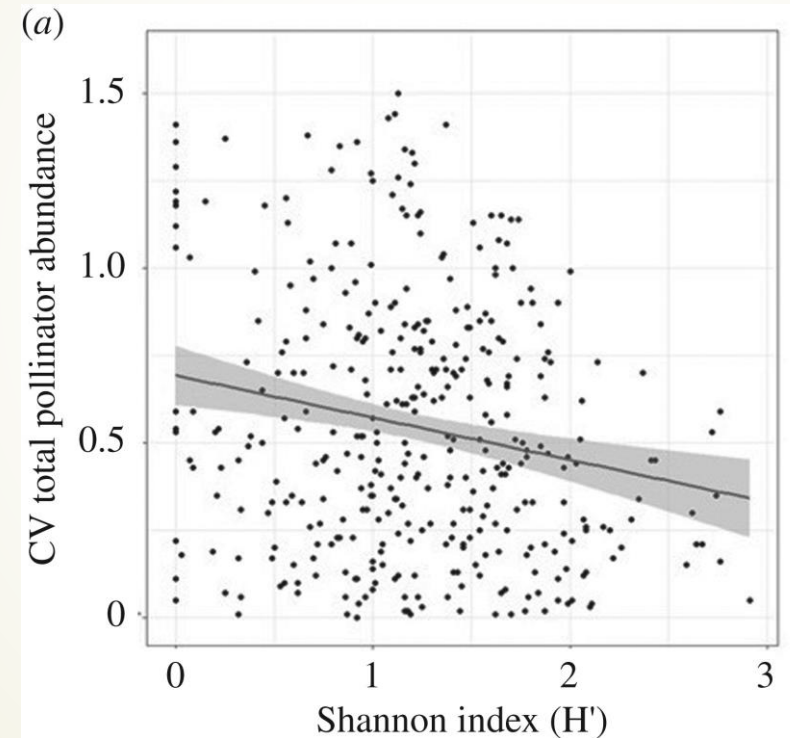
El efecto beneficioso de estas estructuras vegetales es más intenso cuanto mayor es la intensidad de uso del agroecosistema. Esto es importante cuando tratamos de mejorar las condiciones de la agricultura más intensiva.



En prados de siega (**azul**) el número de especies de abejas desciende con la frecuencia de siega. En cambio, el número de especies de abejas aumenta con la frecuencia de siega en los márgenes de los cultivos (**rojo**)

Una mayor diversidad también confiere mayor estabilidad a la comunidad de polinizadores (nótese, sin embargo, la gran dispersión de los puntos)

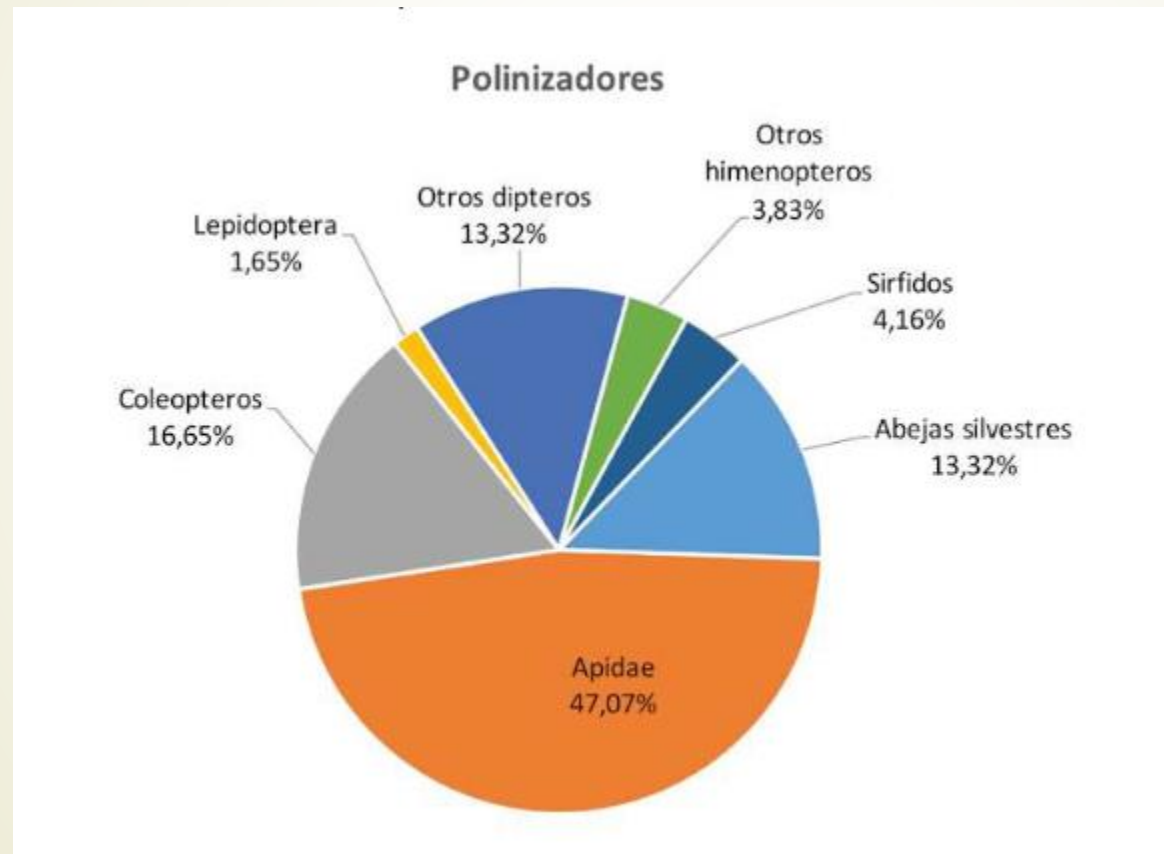
Inestabilidad temporal de la población de polinizadores



*Fuente: Senapathi et al., 2021*

Diversidad de insectos

En setos multifuncionales, diseñados y mantenidos adecuadamente, se encuentra inmediatamente una rica comunidad de polinizadores



*Proporción de especies polinizadoras por grupos taxonómicos encontrados en setos de tan sólo 1-2 años en Murcia.*

*Fuente: J.A. Sánchez*

*Fuente: Li et al., 2020*

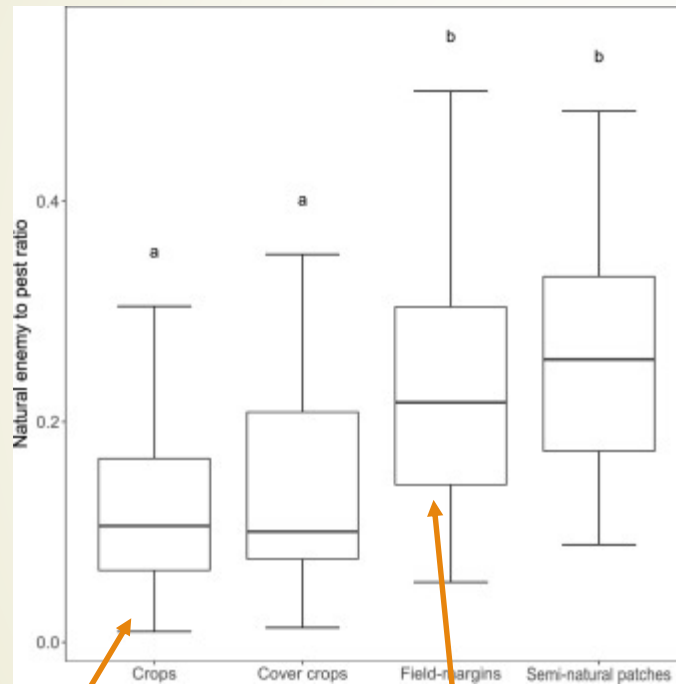


Cada grupo de polinizadores muestra distintas preferencias por las plantas del seto, lo que refuerza la idea del diseño de setos diversos compuestas de especies con distintos atributos funcionales

POSICIÓN	ABEJAS SILVESTRES	<i>Apis mellifera</i>	COLEÓPTEROS	LEPIDÓPTEROS	OTROS DíPTEROS	OTROS HIMENÓPTEROS	SÍRFIDOS
1	<i>Lobularia</i>	<i>Retama</i>	<i>Helichrysum</i>	<i>Dittrichia</i>	<i>Periploca</i>	<i>Dittrichia</i>	<i>Retama</i>
2	<i>Dorycnium</i>	<i>Limonium</i>	<i>Dorycnium</i>	<i>Dorycnium</i>	<i>Lobularia</i>	<i>Lobularia</i>	<i>Dittrichia</i>
3	<i>Limonium</i>	<i>Dorycnium</i>	<i>Rhamnus</i>	<i>Rosmarinus</i>	<i>Dittrichia</i>	<i>Retama</i>	<i>Rhamnus</i>
4	<i>Carlina</i>	<i>Rhamnus</i>	<i>Retama</i>	<i>Withania</i>	<i>Retama</i>	<i>Dorycnium</i>	<i>Lobularia</i>
5	<i>Retama</i>	<i>Rosa</i>	<i>Cistus</i>	<i>Ballota</i>	<i>Rhamnus</i>	<i>Rhamnus</i>	<i>Limonium</i>
6	<i>Cistus</i>	<i>Dittrichia</i>	<i>Carlina</i>	<i>Carlina</i>	<i>Rosa</i>	<i>Rosmarinus</i>	<i>Helianthemum</i>
7	<i>Asteriscus</i>	<i>Lavandula</i>	<i>Lobularia</i>	<i>Limonium</i>	<i>Limonium</i>	<i>Nerium</i>	<i>Carlina</i>
8	<i>Ballota</i>	<i>Rosmarinus</i>	<i>Helianthemum</i>	<i>Nerium</i>	<i>Thymelaea</i>	<i>Lavandula</i>	<i>Coronilla</i>
9	<i>Rhamnus</i>	<i>Withania</i>	<i>Rosmarinus</i>	<i>Lavandula</i>	<i>Teucrium</i>	<i>Cistus</i>	<i>Nerium</i>
10	<i>Rosmarinus</i>	<i>Anthyllis</i>	<i>Launaea</i>	<i>Thymus</i>	<i>Carlina</i>	<i>Asteriscus</i>	<i>Lavandula</i>

Fuente: J.A. Sánchez

## Efectividad de las estructuras vegetales. Enemigos naturales.

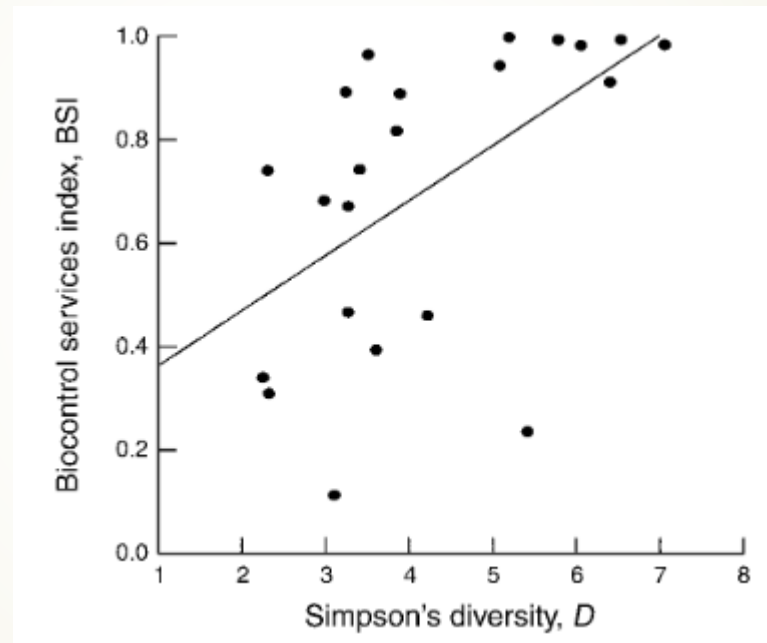


Cultivo

Margen de los campos

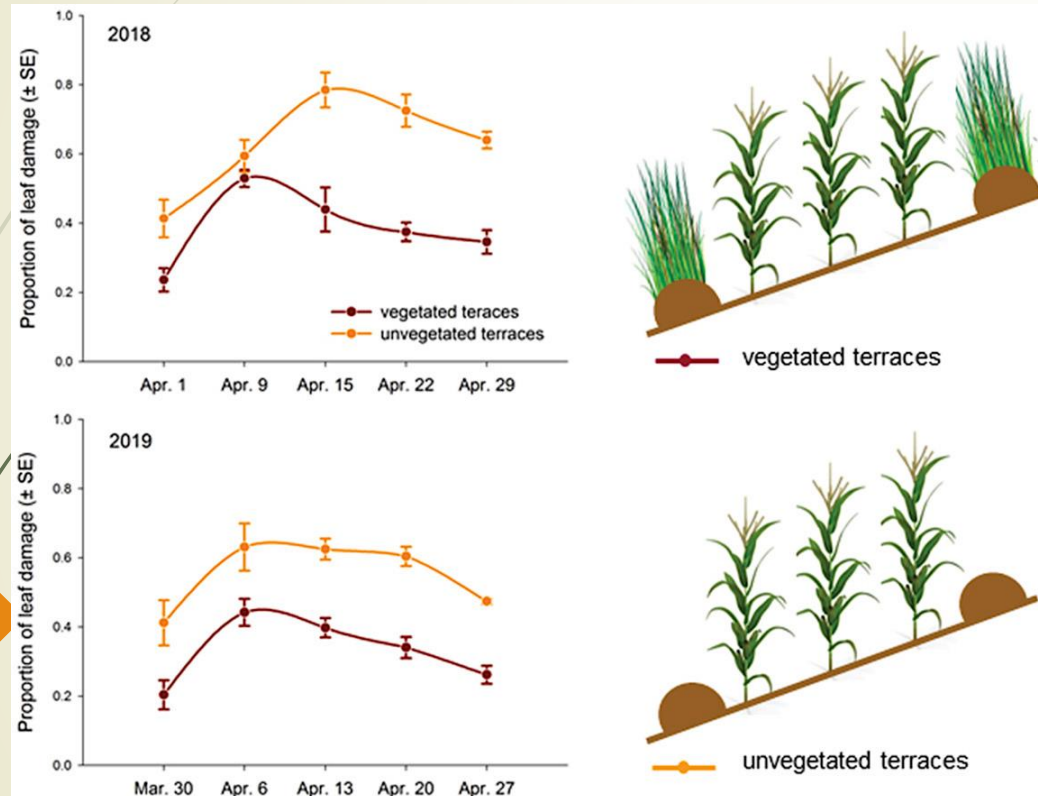
En los linderos de los campos y en las manchas de vegetación seminatural adyacentes se encuentra una razón del número de individuos del enemigo natural al número de individuos de la plaga mucho mayor que en el cultivo o las cosechas de cobertura.

Trasladado a escala de paisaje, una mayor diversidad del paisaje incrementa los servicios de biocontrol, medidos como la diferencia de infestación entre una muestra en la que se impide la entrada de enemigos naturales y una muestra abierta





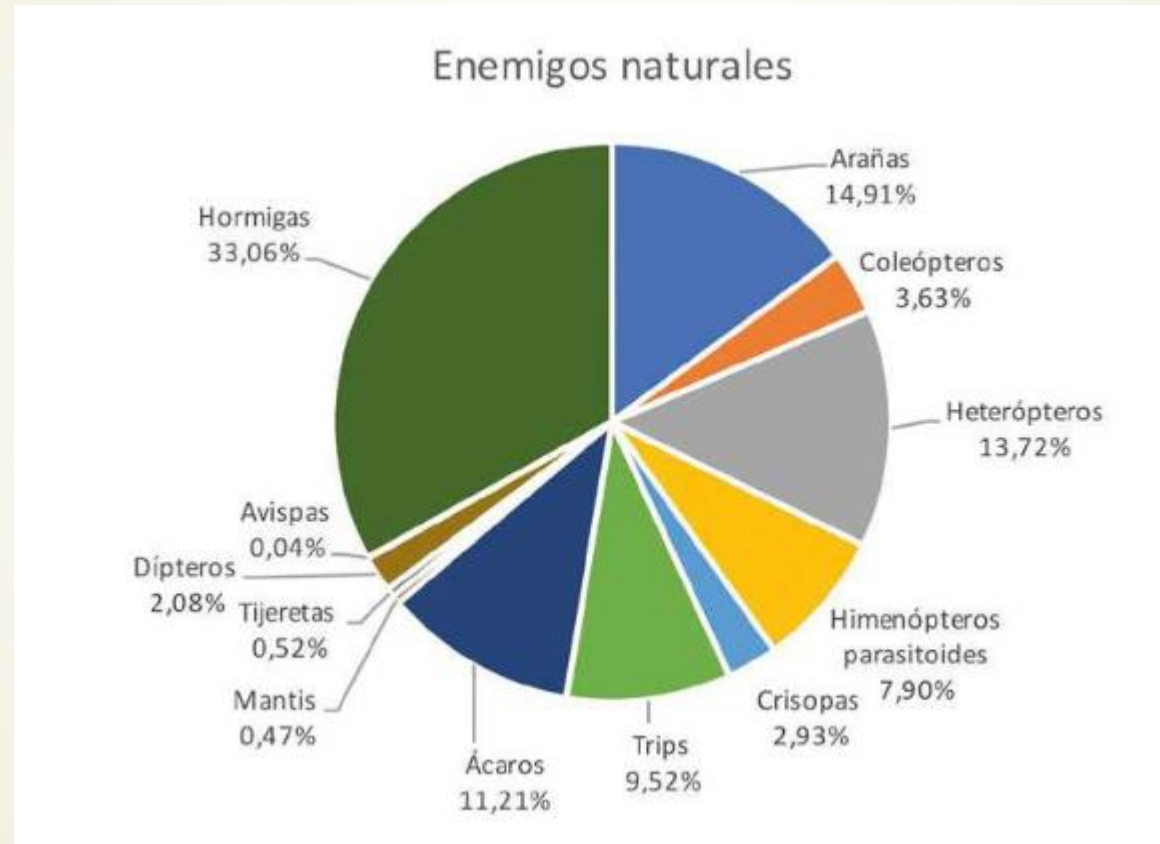
## Entre las acciones de intensificación ecológica hay acciones sinérgicas



Si las terrazas entre campos de maíz se refuerzan con vegetación, lo que refuerza sus estabilidad, se registran menos daños foliares en la cosecha

*Fuente: Fernandes y Gontijo, 2020*

Al igual que con los polinizadores en setos de 1-2 años ya se encuentra una rica comunidad de enemigos naturales



Fuente: J.A. Sánchez

E igualmente, las preferencias por plantas refugio varía bastante entre grupos de enemigos naturales, sustentando la idea de realizar setos diversos

POSICIÓN	ARAÑAS	COCCINÉLIDOS	CHINCHES DEPREDADORAS	PARASITOIDES	CRISOPAS	TRIPS DEPREDADORES
1	<i>Sideritis</i>	<i>Thymelaea</i>	<i>Lobularia</i>	<i>Lobularia</i>	<i>Prunus</i>	<i>Helianthemum</i>
2	<i>Juniperus</i>	<i>Olea</i>	<i>Dittrichia</i>	<i>Ononis</i>	<i>Quercus</i>	<i>Genista</i>
3	<i>Tetraclinis</i>	<i>Helichrysum</i>	<i>Ononis</i>	<i>Lavandula</i>	<i>Punica</i>	<i>Anthyllis</i>
4	<i>Carlina</i>	<i>Artemisia</i>	<i>Withania</i>	<i>Artemisia</i>	<i>Anagyris</i>	<i>Retama</i>
5	<i>Lobularia</i>	<i>Pistacia</i>	<i>Ballota</i>	<i>Limonium</i>	<i>Pistacia</i>	<i>Sideritis</i>
6	<i>Genista</i>	<i>Punica</i>	<i>Thymelaea</i>	<i>Anagyris</i>	<i>Lobularia</i>	<i>Limonium</i>
7	<i>Helichrysum</i>	<i>Rosmarinus</i>	<i>Lavandula</i>	<i>Quercus</i>	<i>Asteriscus</i>	<i>Coronilla</i>
8	<i>Thymelaea</i>	<i>Osyris</i>	<i>Rosmarinus</i>	<i>Asparagus</i>	<i>Arbutus</i>	<i>Asteriscus</i>
9	<i>Prunus</i>	<i>Dorycnium</i>	<i>Asteriscus</i>	<i>Sideritis</i>	<i>Rhamnus</i>	<i>Dorycnium</i>
10	<i>Punica</i>	<i>Periploca</i>	<i>Anthyllis</i>	<i>Anthyllis</i>	<i>Olea</i>	<i>Lobularia</i>


Fuente: J.A. Sánchez



Hay cientos de evidencias de que la intensificación ecológica (por ejemplo, estructuras vegetales) refuerza los servicios ecológicos que sostienen la productividad agraria.

Entonces, ¿por qué no hay mayor aceptación y adopción?. Existe una gran distancia entre el entusiasmo del mundo académico y el escepticismo cuando no animadversión de los productores.

*Klejin et al. (2018) señalan que la causa es que la mayoría de los estudios se realizan a pequeña escala y estudian procesos ecológicos no directamente ligados al proceso productivo*



Para contrarrestar esta situación se necesitan que los estudios tengan en cuenta con mayor énfasis la dimensión económica, medida a la escala operativa de una empresa agraria

Un ejemplo muy claro del tipo de trabajos necesarios lo proporciona Gagic et al. (2021) en cultivos de algodón en Australia

Datos muy detallados:

- 373 campos
- 5 años de seguimiento
- Datos adquiridos cada 2-3 días

Campos grandes con <math><10\%</math> de vegetación natural en su entorno



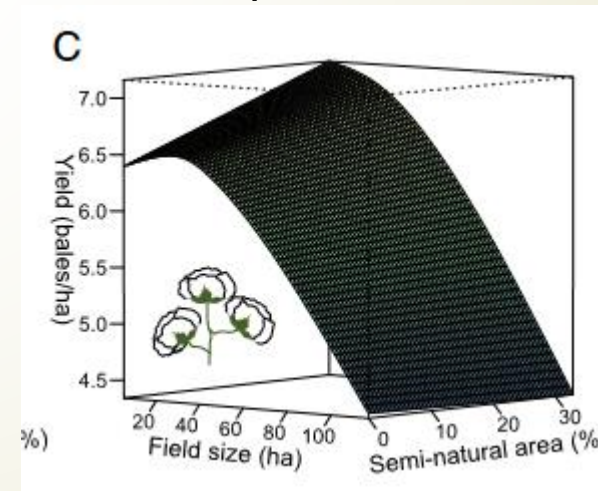
Las especies plaga los colonizan con mayor probabilidad e inmigran antes



Se requiere una fumigación temprana. Los campos con fumigación temprana necesitan mayor número de fumigaciones durante la temporada



La cosecha de estos campos es menor





No obstante la falta de este tipo de estudios es evidente que nos encontramos también frente a una resistencia cultural que ocurre tanto al nivel del agricultor/empresa agraria como de muchos técnicos.

Es importante mostrar que es precisamente en las condiciones de máxima intensificación donde los costes marginales de instalar estructuras vegetales par una intensificación ecológica es proporcionalmente menor que en zonas con una productividad agraria muy inferior. Algunos detalles importantes en la próxima charla.



# Muchas gracias























